

FREY SÁNDOR*

FEGYVERTESZTEKEL A NAGY MŰHOLDSEREGEK ELLEN

Lehet-e közvetett, tehát nem nyilvánvalóan nyílt támadásnak tűnő módon számottevő károkat okozni az elmúlt évektől kezdve rohamosan kiépülő, alacsony Föld körüli pályákra telepített műholdrendszerekben? E kérdésre nemrég két kanadai szerző, Aaron Boley és Michael Byers kereste a választ. Tanulmányuk egy látszólag nem szorosan a tárgykörhöz tartozó orgánumban, egy vezető csillagászati tudományos folyóirat, a Nature Astronomy hasábjain jelent meg. [1] Mint látni fogjuk, arra a következtetésre jutottak, hogy valóban lehet, s hogy emiatt sürgősen szükség lenne egy többoldalú nemzetközi szerződésre, amely megtiltja a közvetlenül a célra repülő műholdelhárító fegyverteszteket, még ha egy ilyen megállapodásra – különösen a jelenlegi feszült világpolitikai helyzetben – kevés esély is látszik.

MŰHOLDMEGSEMISÍTÉS- TÖRTÉNET

A földi indítású, közvetlenül a célra repülő műholdelhárító (direct-ascent anti-satellite – DA-ASAT) tesztek sorában legutóbb, 2021 novemberében egy Oroszország által végrehajtott kísérlet került be a hírekbe. [2] Egy, az arhangelszki Pleszeck Űrrepülőtér-ről (Космодром Плесецк) indított A-235 PL-19 Nudol típusú rakétával megcélozták és eltalálták a szovjet időkből származó, még 1982-ben felbocsátott Kozmosz-1408 elektronikus felderítő (Electronic intelligence – ELINT) műholdjukat. Az annak idején két éven keresztül működött, azóta inaktívan keringő, közel 2 tonnás űreszköz mint-

ÖSSZEFOGLALÁS: A több mint hat évtizede folyó űrtevékenység során egy sor űrhatalom végzett már olyan műholdelhárítási tesztet, amely alkalmával egy a Földről indított rakéta segítségével eltalálta, és darabokra zúzta (fizikailag megsemmisítette) egy saját, már működésképtelen űreszközét. Az efféle tesztek célja annak demonstrálása, hogy adott esetben képesek lennének akár az ellenséges hatalmak Föld körüli pályán keringő eszközeinek a megsemmisítésére is. Szerencsére ilyen incidensre egyelőre nem került sor. De a közelmúltban telepíteni kezdett, akár több ezer vagy tízezer tagból álló, alacsony pályás műholdseregek, mint például a távközlési célú Starlink számára – közvetett módon – még egy látszólag tesztelési célú kinetikus műholdelhárítási esemény is súlyos következményekkel járhat. Egy ilyen alkalmalmmal ugyanis számtalan kisebb-nagyobb törmelékdarab keletkezik a Föld körüli térségben, és az azokkal történő nagy sebességű ütközés végzetes károkat okozhat a műholdakban.

KULCSSZAVAK: műholdelhárítás, űrszemét, műholdseregek, Starlink

ABSTRACT: During more than six decades of space activities, several space powers have already carried out direct-ascent anti-satellite tests, when they destroyed their own, already inoperable spacecraft with the help of a rocket launched from the Earth. The purpose of such tests is to demonstrate that, if appropriate, they would even be able to destroy other nations' assets in Earth orbit. Fortunately, no such incident has taken place so far. But for the low-orbit satellite megaconstellations whose construction has recently begun, consisting of thousands or even tens of thousands of spacecraft such as Starlink for telecommunication purposes, even an apparently unrelated satellite destruction test can bring serious indirect consequences. On such occasions, countless smaller and larger pieces of debris are created in the area of low-Earth orbits, and a high-speed collision with them can cause fatal damage to satellites.

KEY WORDS: anti-satellite tests, space debris, satellite megaconstellations, Starlink

egy 485 km magasságban, az egyenlítői síkhoz képest 82,6°-os hajlásszögű pályán északról dél felé haladt, amikor a becsapódás érte. Az ilyen ASAT-tesztek alkalmával robbanófejet nem helyeznek el a megsemmisítésre induló rakétán, a destruktív hatást az ütközéskor jórészt a rombolásra fordítódó, másrészt a létrejövő törmelékdaraboknak átadandó mozgási energia váltja ki. Az esemény nyomán amerikai szakértők becslése szerint a becsapódástól keletkezett űrtörmelékek száma akár több százezresre is tehető. [2] A konkrét pályamagasságtól függően a darabok jelentős része évekig vagy évtizedekig a Föld körüli pályán maradhat, mielőtt a légkör sűrű rétegeibe lépve – a légkör aktuális állapo-

tától függően kb. 120 km magasságig lejutva – megsemmisül. [3] Ezzel folyamatos ütközési veszélyt jelentenek az alacsony pályák amúgy is zsúfolt térségében.

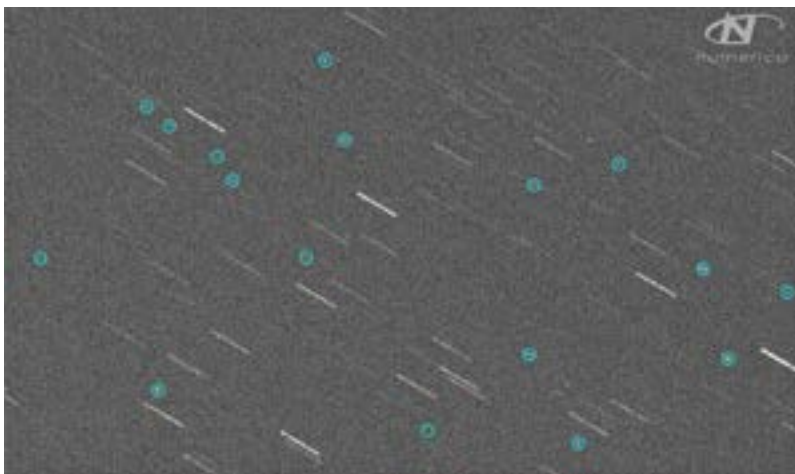
Az említett orosz teszt nyomán újonnan keletkezett nagyobb, a Földről is megfigyelhető és követhető törmelékdarabok (1. ábra) száma csak ennek az egy incidensnek a nyomán bő másfél ezerre volt becsülhető. Az első látványos óvintézkedés már a kísérlet napján szükségessé vált, ugyanis a kb. 400 km-es magasságban keringő Nemzetközi Űrállomás (International Space Station – ISS) akkor éppen hétfős személyzetének tagjai – köztük orosz űrhajósok – elővigyázatosságból menedéket keresve kénytelenek

* PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet. ORCID: 0000-0003-3079-1889



1. ÁBRA.
A Kozmosz-1408 műhold törmelékdarabjai 2021. november 15-én, röviddel a megsemmisítésére irányuló ASAT-teszt után, egy Marokkóból készült, 1 másodperces expozíciós idejű távcsöves felvételen.

A látómező közepén helyezkedne el a műhold, ha egyben maradt volna. A törmelékfelhő nagyobb darabjainak helyét a képen bekarikázták [4]



voltak a mentésük esetére készen álló űrhajóikban – egy orosz Szozjuz és egy amerikai Crew Dragon űrhajóban – várakozni. Az asztronauták akkor kapnak ilyen utasítást, ha az előrejelzések szerint egy nagyobb űrszemétdarab veszélyes közelségben repül el az űrállomás mellett. Az űrszemét nemcsak az ISS, hanem a kínai Tienkung (Tiangong) űrállomás személyzetét is ugyanúgy veszélyeztetheti, illetve az ütközés elkerülésére pályamódosító manővereket tehet szükségessé.

A 2021-es orosz ASAT-teszthez hasonlóan más űrhatalmak – így az Amerikai Egyesült Államok (1985), Kína (2007) és India (2019) – is végrehajtottak már. [4] [5] A 2006-ban felbocsátott, de meghibásodott és emiatt irányítatlanul keringő, a Földhöz fokozatosan egyre közelebb jutó USA-193 amerikai kísérleti radaros felderítő műholdat is ezzel a módszerrel semmisítették meg 2008. február 21-én, a Pearl Harborban (Hawaii) állomáso-

zó, a Burnt Frost nevű művelet végrehajtására a Csendes-óceán északi részére vezényelt Aegis osztályú USS Lake Erie hadihajóról indított Standard Missile-3 (SM-3) rakétával. [7] (2. ábra) Az ütközés erejével megsemmisített űreszköz, fedélzetén kb. 450 kg el nem használt, mérgező hidrazin hajtóanyaggal, akkor már csak 210 km magasságban volt a Földtől. Az előre bejelentett művelettel el szerették volna kerülni, hogy a zuhanást a számítások szerint átvészelő üzemanyagtartály lakott területre essen – és természetesen egyúttal azt is, hogy a műhold alkatrészei netán illetéktelen kezekbe kerüljenek. Bár az USA-193 akkor már kifejezetten alacsonyan repült, és emiatt az ütközésből származó törmelék nagy része hamar elizzott a sűrű légkörben, egy ilyen esemény során keletkeznek olyan darabok is, amelyek az ütközés nyomán magasabb pályákra lökődnek ki. S valóban, a 174 katalogizált nagyobb törmelékdarab közül az utolsó csak bő másfél évvel később, 2009-ben lépett be a légkörbe. [8]

Az ASAT-tesztek alkalmával a szárazföldről, tengerről vagy levegőből indított rakétával céloznak és semmisítenek meg egy magának a tesztelő államnak a tulajdonában lévő műholdat vagy elhasznált hordozórakéta-fokozatot, felhasználva a becsapódó test hatalmas mozgási energiáját. Mind a ritka előfordulásuk, mind az ilyenkor keletkező törmelékfelhő nagysága, mind a képesség demonstrált megléte miatt ezek az események nagy nemzetközi figyelmet kapnak, de előfordulnak olyan esetek is, amikor két, már pályán lévő test (szándékos) ütköztetésével kísérleteznek.



2. ÁBRA.
Az USA-193 műhold megsemmisítésére indított SM-3 rakéta [9]

Az utóbbi típusú események nyomán keletkezett űrszemét mennyisége – az ütközés kisebb energiája miatt – mintegy tizedakkora, mint a földi indítású ASAT-tesztekéből származóé.

Az Amerikai Egyesült Államok Űrhadereje (más elterjedt fordításban Űrhadereje; United States Space Force – USSF) 2022 eleji követési adatai szerint két olyan esemény történt, amelyek a műhold-megsemmisítésekéből származó, detektálható űrtörmelék túlnyomó részét adták. [1] Ezek egyike a már említett, akkor még friss, 2021-es orosz teszt volt a Kozmosz-1408 műholddal. A törmelékdarabok sűrűségének csúcса természetes módon a műhold eredeti pályamagasságában, valamivel 500 km alatt volt, de a roncsokból a 250 és 750 km közötti térségbe is jutott. A másik csúcst a 2007-es kínai kísérlet produkálta, amelynek során a Fengjün-1C (Fengyun-1C) nevű, kiszolgált meteorológiai műholdat zúzták darabokra. [5] Az az 1999-ben indított űreszköz azonban lényegesen magasabban, 865 km-es poláris pályán keringett. Mivel a természetes fékezés és a pályamagasság-csökkenés onnan lényegesen lassabban vezet el a végső légköri megsemmisülésig, még másfél évtizeddel az incidens után is bőven akadt a kínai műholdból származó törmelék, nagyjából 400 és 1400 km közötti magasságokban elszórva. [10] (A magasabbra került darabok évszázados időskálán jutnak csak le a légkörig, addig is potenciális veszélyforrást jelentve az aktív műholdak számára.) 2022 elején e két – a kínai és az orosz – ASAT-teszt volt a felelős nagyjából minden ötödik olyan veszélyes közelségért, amelyekre a működő űreszközök üzemeltetőit figyelmeztetni kellett. [11] De 2013-ban olyan eset is előfordult, amikor egy kis méretű, lézertávérési céltárgynak használt, passzív orosz műhold, a BLITS (Ball Lens In The Space) feltehetően egy a Fengjün-1C szétdarabolódásakor keletkezett törmelékkel ütközött a Föld körüli pályán. [12]

A MŰHOLDSEREGEK KORA

Az amerikai Space Exploration Technologies Corporation – SpaceX vállalat 2019-ben fogott hozzá a Starlink

nevű, globális lefedettségű, széles-sávú internetes adatátviteli szolgáltatást nyújtó műholdrendszerének kiépítéséhez. [13] Mostanra már 6000-nél több műholdjuk működik 525 és 570 km közötti magasságokban, a világ több mint 100 országában hárommillió fölötti előfizetőt szolgálva ki. [14] A Starlink rendszer kialakítása korántsem fejeződött még be, ha a tervek megvalósulnak, hamarosan 12 ezer, idővel pedig akár 42 ezer tagot is számlálhat majd. Ez ráadásul távolról sem az egyetlen hasonló műholdkonstelláció, legfeljebb az első, amely már most ilyen sok tagot számlál, és ennyire elterjedt. Cikkünk kereteit jócskán meghaladná, ha minden kiépülő vagy tervezett rendszerről számot szeretnénk adni. Hiszen az Egyesült Államoktól Kínáig egy sor vállalkozás üzleti lehetőséget lát a kis méretű, viszonylag olcsó, sorozatban gyártható műholdakból álló, költséghatékonyan pályára állítható rendszerekben. A tendencia jól érzékelhető a 2020-as évektől megugró műholdindítási számokból. (3. ábra) A 2010-es évtized legvégétől kezdve látványosan megnőtt a távközlési célú űreszközök száma, valamint kisebb mértékben a földmegfi-

gyelő műholdaké is. A növekvő trend azóta is töretlen.

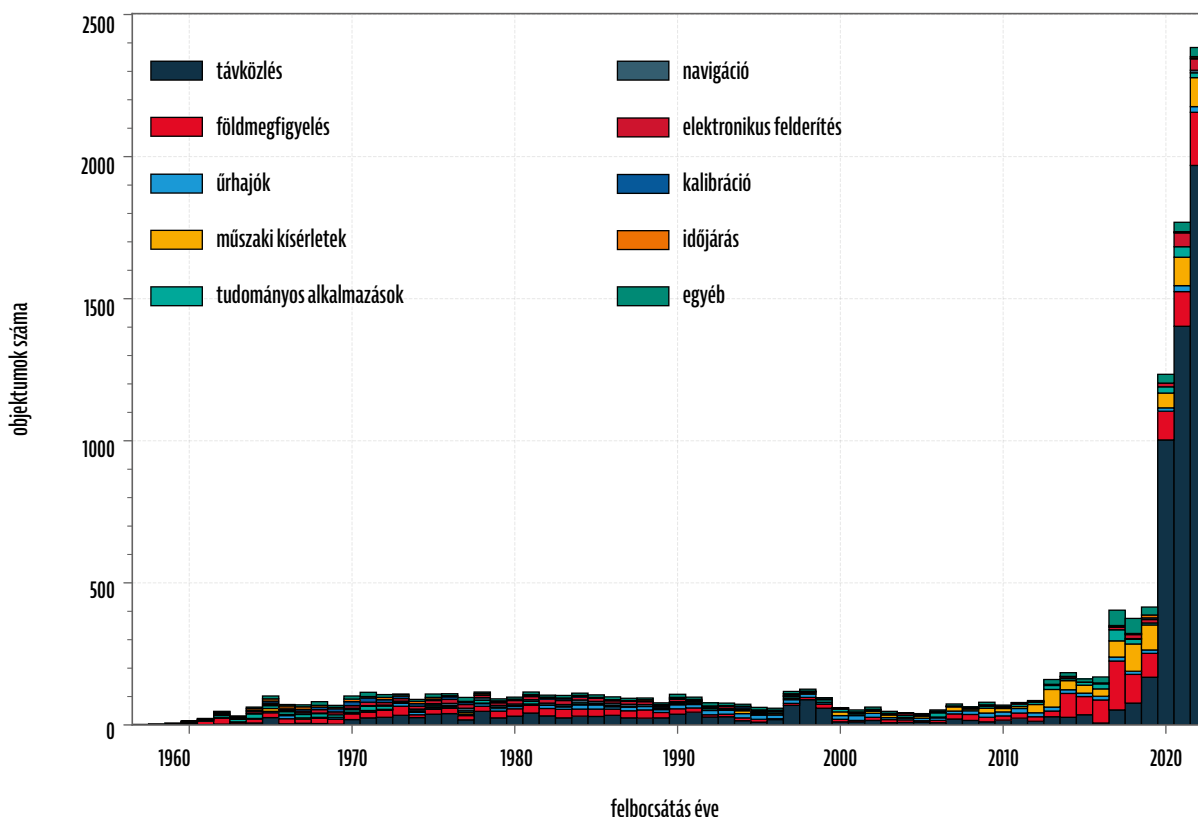
A távközlési űreszközök mellett például földmegfigyelő, vagy az időjárás-előrejelzés pontosságát segítő, légköri adatokkal szolgáló műholdak is keringenek alacsony Föld körüli pályákon. Az ezen rendszerek megnevezésére a magyar nyelvben elterjedő műholdsereg kifejezés egyrészt azért találó, mert némelyikük valóban igen nagy létszámú. Másrészt a meghatározó felhasználóik gyakran a hadseregek. Emiatt az alacsony pályás műholdkonstellációk működése már most biztonsági kérdéseket vet fel. Példaként talán elég azt említeni, hogy az orosz–ukrán háborúban a SpaceX az ukrán fegyveres erők rendelkezésére bocsátotta a Starlink kommunikációs kapacitásait. Valóban, a műholdas alapú távközlés jelentősége felbecsülhetetlen egy konfliktushelyzetben, amikor a földi telepítésű infrastruktúrát lerombolják. Nem meglepő tehát, hogy az orosz fél a kereskedelmi műholdrendszer használatának ukrajnai engedélyezését provokatív lépésként értékelte, és kifejezte azt a fenyegető véleményét, hogy bár a Starlink esetében polgári működ-

tetésű rendszerről van szó, azt akár egy megtorló csapás célpontjának is tekinthetik. [16]

Amikor biztonsági kérdésekről beszélünk, érdemes kitérni arra is, hogy az angol nyelvben erre két különböző, jelentéstartalmában eltérő kifejezést használnak, és a témánk szempontjából mindkettő releváns lehet. A security esetében ártó célú, szándékosan előállított veszélyforrás elleni védekezésről van szó. Tipikusan ilyenek lehetnek a műholdseregek ellen végrehajtott közvetlen, vagy a cikkünkben is említett – egyelőre feltételezett – burkolt, de mindenképpen szándékos támadások. A safety fogalma ezzel szemben olyan hatások elkerülését jelenti, amelyek természetes eredetű külső veszélyforrások, vagy nem szándékos hibák következményei. Mindenesetre akár szándékosan kiváltott, akár véletlen esemény csökkenti egy műholdrendszer képességeit, a végeredmény hasonló. Ugyanakkor az incidens politikai és katonai szempontból történő megítélése jelentősen eltérhet.

MIT LEHET TENNI EGY MŰHOLDSEREG ELLEN?

Felmerül a kérdés, hogy miféle csapás jöhetne szóba egy ilyen műholdsereg



3. ÁBRA. Az alacsony Föld körüli pályákra évente felbocsátott műholdak száma az űrkorszak kezdetétől 2022-ig. Az oszlopdiagram színei a műholdak különféle alkalmazási területeit kódolják [15]

fizikai megsemmisítése érdekében? A korábban említett módszerekkel, vagyis akár földi indítású rakétákkal, akár támadó jellegű más műholdakkal elvileg működésképtelenné lehetne ugyan tenni egy népes műholdsereg egy-egy tagját, netán azok kisebb csoportjait is, de könnyen belátható, hogy az egész – adott esetben több ezer tagú – rendszer működésére ez vajmi kevés érdemi hatással lenne. Ezeknek a műholdseregeknek ugyanis az egyik működési alapelve, hogy tagjaik a feladatokat elosztva látják el. A beépített redundanciával egyébként nemcsak a szándékos károkozás, de a szükségképpen előforduló műszaki meghibásodások ellen is védve vannak. Úgy tűnik, ma már nemcsak a magánvállalkozások gondolkodnak műholdseregekben, az Egyesült Államok Űrerejében is észrevehető a szemléltetváltás. A korábban egyeduralgoló, kevés, nagy, összetett és drága műholdakon alapuló védelmi rendszerek mellett viszonylag kis költséggel megépített darabokból felépülő, nagy elemszámú és robusztus – egy-két tag meghibásodására és kiesésére nem különösebben érzékeny – rendszerekben is gondolkodnak, amelyek kiépítése már megkezdődött. [17] [18]

A 2021-es orosz ASAT-teszt valójában egyfajta „főpróbaként” is felfogható annak demonstrálására, hogy milyen típusú gondokat okozhat egy efféle esemény az alacsony pályás műholdseregek számára. Hiába repült a 2021 novemberében szétzúzott Kozmosz-1408 műhold valamivel a Starlink holdak jellemző pályamagassága alatt, a SpaceX közlése szerint az utána következő fél év során a műholdjaikkal végzett, összesen közel 7000 ütközésselkerülő manőverből több mint 1700-at a megsemmisített orosz űreszköz darabjai kényszerítették ki. Az idézett tanulmány [1] szerzői modellszámításokat végeztek egy olyan elképzelt, de a valós lehetőségektől egyáltalán nem elrugaszkodó helyzetre, amelyben egy műholdelhárító ASAT-tesztet csak kicsivel magasabban, a Starlink által használt egyik, 548 km-es pályamagasságban, egy a Kozmosz-1408 tömegével megegyező (1750 kg-os) műholdon végeznének el. Az eredmény szerint csupán a magasság megnövelésével

egy nagyságrenddel nőne az ütközések kockázata a „valódi” 2021-es orosz ASAT-teszt után tapasztaltakhoz képest. Ez fél év leforgása alatt több tízezer ütközésselkerülő manővert feltételezne, ami feladná a leckét a Starlink irányítóinak, és óhatatlanul hibákhoz, egyes műholdak kieséséhez vezethetne.

Az eredmény felveti annak a lehetőségét, hogy egy szofisztikált támadó taktika alkalmazására hajlamos állam látszólag „ártatlan” – hiszen ténylegesen csak a saját műholdjának megsemmisítésére irányuló – tesztet végezzen azzal a hátsó szándékkal, hogy megzavarja egy vállalat vagy egy másik állam űrben végzett tevékenységét. Egy ilyen jól megtervezett, zavaró célú művelet módot adna mások űrkapacitásainak csökkentésére anélkül, hogy az fegyveres támadásnak minősülne, kiprovokálva egy jogos önvédelmi célú katonai válaszlépést. A nagyobb űrhatalmaknak még megfelelő tesztcélpontot sem volna nehéz találni, hiszen számos, már nem működő műholdjuk vagy kiszolgált rakétafokozatuk kering a Föld körül.

Mindazonáltal egy ilyen hipotetikus, ártó szándékú ASAT-teszt sem kínálna feltétlenül nagy előnyt, hiszen a szükségessé váló sok ütközésselkerülő manőver révén leginkább a műholdak hajtóanyag-felhasználását és így élettartam-csökkenését, a szolgáltatás esetleges romlását okozná, valamint tovább növelné a hibázás, és így a tényleges műholdütközések esélyét. Az igazán nagy fizikai romboló hatás kiváltásához arra is szükség lehet, hogy az újabb és újabb szét-darabolódott űreszközök törmelékei láncreakció-szerűen tovább növeljék az adott pályamagasságban az űrszemét sűrűségét, ezáltal az ütközési kockázatot. (Ezt a jelenséget első írójáról Kessler-hatásnak nevezték el. [19]) Másrészt az űrszemétdarabok nem válogatnak, adott esetben nem kímélik más országoknak, így magának a tesztet végrehajtó államnak az űreszközeit sem.

Természetesen más elképzések is szóba jöhetnek egy műholdkonstelláció tönkretételére vagy rendeltetészerű működésének súlyos meg-

zavarására. Ilyenek lehetnek például az irányított energiájú fegyverek, bár nagy számú űreszköz ellen történő bevetésük kevésbé tűnik hatékony alternatívának. Ugyanez igaz egy célzott elektromágneses csapás esetére. A műholdfedélzeti rendszerek vagy a földi kiszolgáló infrastruktúra elleni kibertámadással ugyanakkor a konstelláció számottevő részének működése vagy egy-egy térségben történő használatának az ellehetetlenítése is elképzelhető. A törmelékfelhő létrehozásának fent említett lehetőségéhez képest ezekkel a módszerekkel közvetlenebb és gyorsabb eredményt lehetne ugyan elérni, ugyanakkor szándékos támadó jellegükhöz kevés kétség férne.

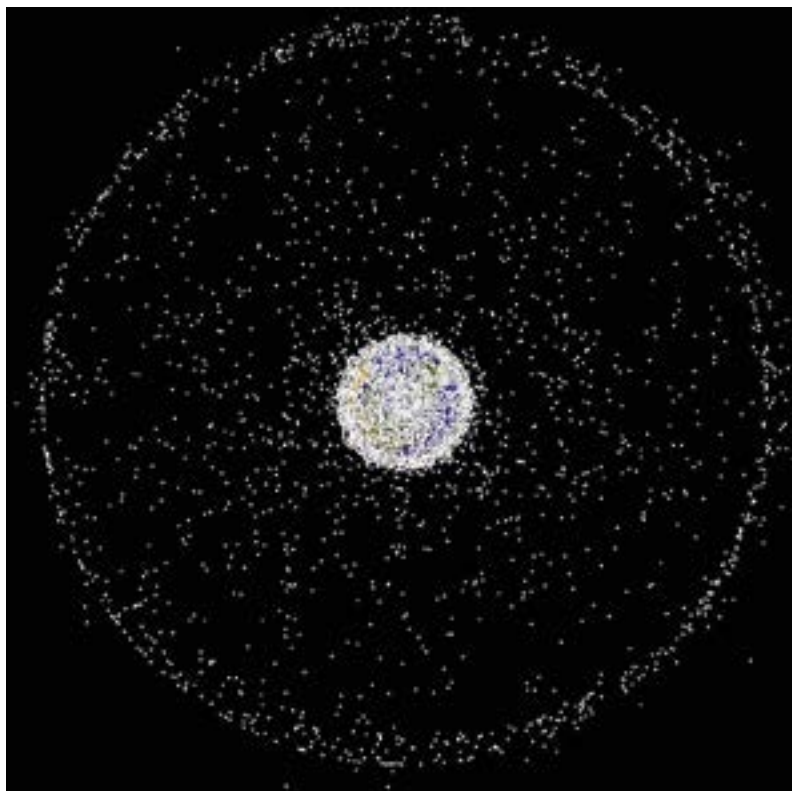
MEGOLDÁS LEHETNE A KORLÁTOZÁS

Ha csak nincs egyértelmű bizonyíték arra, hogy egy állam saját űreszköze megsemmisítésére irányuló ASAT-tesztje valójában más műhold-rendszereinek megzavarását célozza, az nem minősülne fegyveres támadásnak. A nemzetközi jog azonban még sincs eszközök híján ebben a kérdésben. Az egyik lehetőséget az 1967. évi Alapelszereződés (vagy Világűr-szerződés) [20] IX. cikkében megfogalmazottak kínálják. Eszerint a szerződésben részes államokat a világűr kutatásában és felhasználásában az együttműködés és kölcsönös segítségnyújtás elvei, valamint a többi állam megfelelő érdekeinek kellő figyelembevétele vezérlik. Hogy pontosan mit jelent a „kellő”, az természetesen vita tárgya lehet, az általános szabályok tényleges tartalmát csak a szerződő felek gyakorlatának elemzésével lehet meghatározni. Ahogy egyre több állam mond le egyoldalúan a kinetikus ASAT-tesztekről – a listán jelenleg az Amerikai Egyesült Államok, Kanada, Új-Zéland, Japán, Németország, Dél-Korea, az Egyesült Királyság, Ausztrália, Svájc, Franciaország, Hollandia, Ausztria és Olaszország szerepel –, úgy válik egyre inkább nemzetközi normává, hogy ilyesmit többé ne lehessen végrehajtani.

Az ENSZ Közgyűlésének 2022 decemberében elfogadott 77/41. számú határozata ugyanakkor felszólítja a tagállamokat, hogy mellőzzék

a műholdelhárító rakétatesztek végrehajtását. [21]

A leginkább megnyugtató megoldás természetesen a releváns őrhatalmak részvételével megkötött olyan nemzetközi egyezmény volna, amely megtilt mindenféle műhold-megsemmisítésre irányuló tevékenységet. Bár egy ilyen konszenzusos megállapodás tető alá hozása nem tűnik egyszerűnek, a történelemben volt már rá példa, hogy a nagyhatalmak kölcsönös fegyverzet-ellenőrzésről és korlátozásról állapodtak meg, még fokozott nemzetközi feszültség idején is. A világűrben például, az Amerikai Egyesült Államok és a Szovjetunió szerződése alapján 1963 óta tilos a nukleáris fegyverek tesztelése. A kulcs, hogy a tilalom minden résztvevő érdekeit szolgálja, és ez végső soron ugyanúgy igaz lehet a Föld környezetének az aggasztó mértékben elszaporodó űrszeméttől (4. ábra) való megkímélésére is. ■



4. ÁBRA. A Föld körüli térségben található űrszemét, vagyis a használaton kívüli űreszközök és azok darabjai eloszlásának szemléltetése. A fantáziakép az egyik pólus irányából nézve mutatja bolygónkat (középen), amelyet különösen az alacsony (néhány 100 vagy 1000 km magas) pályák térségében vesz körbe egy zsúfolt burok. A külső, kör alakban koncentrálódó pontok a 36 ezer km magasan, az egyenlítői síkban húzódo geostacionárius pálya térségét rajzolják ki. Itt főleg távközlési, meteorológiai és katonai megfigyelő műholdak működnek. Ekkora távolságból évmilliókra volna szükség, hogy az űreszközök természetes úton visszajussanak a földi légkörig [22]

HIVATKOZÁSOK

- [1] Boley, A., Byers, M. (2024) Anti-satellite weapon tests to disrupt large satellite constellations. *Nature Astronomy*, Vol. 8, pp. 10–12. <https://doi.org/10.1038/s41550-023-02173-9>;
- [2] U.S. Space Command Public Affairs Office. (2021) Russian direct-ascent anti-satellite missile test creates significant, long-lasting space debris. <https://www.spaceforce.mil/News/Article/2842957/russian-direct-ascent-anti-satellite-missile-test-creates-significant-long-last/> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [3] Yue, J., Yu, W., Pedatella, N., Bruinsma, S., Wang, N., Liu, H. (2023) Contribution of the lower atmosphere to the day-to-day variation of thermospheric density. *Advances in Space Research*, Vol. 72, pp. 5460–5475. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.06.011>;
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Kosmos_1408 (Letöltve: 2024.2.17.);
- [5] Pardini, C., Anselmo, L. (2009) Assessment of the consequences of the Fengyun-1C breakup in low Earth orbit. *Advances in Space Research*, Vol. 44, pp. 545–557. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2009.04.014>;
- [6] Akhmetov V., Savanevych V., Dikov E. (2019) Analysis of the Indian ASAT test on 27 March 2019. arXiv e-print 1905.09659. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.09659>;
- [7] Space.com (2008) Navy Hits Satellite With Heat-Seeking Missile. <https://www.space.com/5006-navy-hits-satellite-heat-seeking-missile.html> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [8] Pardini, C., Anselmo, L. (2009) USA-193 decay predictions using public domain trajectory data and assessment of the post-intercept orbital debris cloud. *Acta Astronautica*, Vol. 64, pp. 787–795. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.12.007>;
- [9] Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/USA-193#/media/File:SM-3_launch_to_destroy_the_NRO-L_21_satellite.jpg Forrás: U.S. Navy (Letöltve: 2024.2.17.);
- [10] Low Earth Orbit Visualization. LeoLabs Inc. <https://platform.leolabs.space/visualizations/leo> (Letöltve: 2024.2.17.);
- [11] Hitchens, T. (2023) Debris from ASAT tests creating ‘bad neighborhood’ in low Earth orbit: Analyst. *Breaking Defense*. <https://breakingdefense.com/2023/06/debris-from-asat-tests-creating-bad-neighborhood-in-low-earth-orbit-analyst/> (Letöltve: 2024.2.17.);
- [12] David, L. (2013) Russian Satellite Hit by Debris from Chinese Anti-Satellite Test. *Space.com*. <https://www.space.com/20138-russian-satellite-chinese-space-junk.html> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [13] Starlink honlap. <https://www.starlink.com/> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [14] McDowell, J. C. (2024) Starlink Statistics. <https://planet4589.org/space/con/star/stats.html> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [15] Forrás: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2023/08/Space_Environment_Report_2023_-_Figure_1 (Letöltve: 2024.2.17.);
- [16] Russia warns West: We can target your commercial satellites. *Reuters*. <https://www.reuters.com/world/russia-says-vests-commercial-satellites-could-be-targets-2022-10-27/> (Letöltve: 2024.2.17.);
- [17] Erwin, S. (2023) SpaceX launches 10 satellites for U.S. Space Development Agency. *Space News*. <https://spacenews.com/spacex-launches-10-satellites-for-u-s-space-development-agency/> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [18] Erwin, S. (2023) SpaceX launches 13 satellites for U.S. Space Development Agency. *Space News*. <https://spacenews.com/spacex-launches-13-satellites-for-u-s-space-development-agency/> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [19] Kessler, D. J., Cour-Palais, B. G. (1978) *Journal of Geophysical Research – Space Physics*, Vol. 83, pp. 2637–2646. <https://doi.org/10.1029/JA083iA06p02637>;
- [20] 1967. évi 41. törvényerejű rendelet a „Szerződés az államok tevékenységét szabályozó elvekről a világűr kutatása és felhasználása terén, beleértve a Holdat és más égitesteket” című, Moszkvában, Londonban és Washingtonban 1967. január 27-én aláírt szerződés kihirdetéséről. Hatályos jogszabályok gyűjteménye, Wolters Kluwer Kft. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=96700041.TVR> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [21] United Nations. (2022) Prevention of an arms race in outer space. Resolution adopted by the General Assembly on 7 December 2022. <https://www.undocs.org/A/RES/77/41> (Letöltve: 2024.3.8.);
- [22] Forrás: https://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2017/12/GEO1280_p.jpg (Letöltve: 2024.2.17.).