

EDL ANDRÁS

A világűr-tevékenység és a biztonság

Space Activity and Security

Absztrakt

A modern űrtevékenység kialakulásához évszázadokon át tartó fejlődés vezetett. A jelenleg egyedüli, megbízható eszközünk a világűr elérésére a rakéta, amelynek fejlődése már a kezdetektől szorosan összefonódott a hadviseléssel. Az űrkorszak kezdetekor ugyanúgy megfigyelhető ez a kötelék, mivel a hidegháború során a fejlődés igénye elsősorban a nukleáris töltetek célba juttatása miatt jelent meg a rakétatechnikában. Ezután a műholdak térnyerése és köztük a GPS-rendszerek kialakulása hozott nagy változást, amelyekre reakcióként megjelentek a műholdelhárító fegyverek és az új kiberképességek, egyre inkább megbontva ezzel a *status quo*-t. A jövőben várható emellett a magánvállalatok szerepének növekedése, és egyre fontosabb lesz a stabil ellátási láncok biztosítása vagy például a Hold felhasználásának kérdése is.

Kulcsszavak: biztonsági dilemma, rakéta, műhold, GPS, földmegfigyelés, űrszemét

Abstract

Centuries of development have led to the emergence of modern space activity. Our current only reliable means of reaching outer space is the rocket, whose development has been closely intertwined with warfare from the very beginning. This bond can also be observed at the beginning of the space age, as the need for development during the Cold War appeared in rocket technology primarily because of the delivery of nuclear warheads. Then, the rise of satellites, including the development of GPS systems, brought about a major change, in response to which anti-satellite weapons and new cyber capabilities emerged, increasingly disrupting the status quo. In the future, the role of private companies is also expected to increase, and the issue of ensuring stable supply chains or using the moon, for example, will become increasingly important.

Keywords: security dilemma, rocket, satellite, GPS, earth observation, space debris

Az ember alapvető késztetése, hogy a számára értékes dolgot – legyen az az élete, hozzátartozója, vagyontárgya vagy akár egy fontos szokás – biztonságban tudja. Ennek érdekében kész az általa megfelelőnek ítélt módon megvédelmezni ezt az értéket. Ugyanakkor az sem újdonság, hogy egyének és csoportok olyan dolgokra is vágnak, amelyek megszerzése mások javait, érdekeit, identitását vagy biztonságérzetét veszélyezteti. A két törekvés nagyon gyakran konfliktusokat szül az emberek között, amelyek néha nyílt háborúvá fajulnak. Egy másik lehetséges veszélyforrás maga a környezet. Akár mesterséges, akár természetes környezetről beszélünk, mindig érheti olyan hatás a számunkra értékes dolgot, amit meg kell szüntetni vagy legalább csökkenteni.

Nincs ez másképp a világűr-tevékenység esetében sem, a fenti, látszólag egyszerű alapelvek minden részlemében megtalálhatók, még akkor is, ha a vizsgált rendszerek sokszor rendkívül összetettek és nehezen átláthatók. A biztonság kérdése már rögtön az űrkorszak kezdetén markánsan megjelenik. Ezt hagyományosan 1957. október 4-étől számítják, amikor is a Szovjetunió sikeresen pályára állította az első műholdat, a Szputnyik-1-et. Ez kétségtelenül jelentős tett, de mint minden új korszakot elindító esemény, ez sem volt előzmények nélküli, sokkal inkább egy hosszú érési folyamat eredménye.

Ennél a jeles eseménynél nem a műhold maga volt a legfontosabb. A viszonylag egyszerű, alig 83 kg-os Szputnyik-1 csak három hónapig működött, és 1958 januárjában irányítatlanul belépett a Föld légkörébe, ahol megsemmisült. Sokkal fontosabbnak számított az az eszköz, ami képes volt kijuttatni a világűrbe, vagyis maga a rakéta. Ennek az írásnak nem lehet célja, hogy minden találmányt és eszközt leírjon, ami végül lehetővé tette az űrutazást, de kiemelten fontos szerepe és a hadviseléshez fűződő szoros kapcsolata okán érdemes megismernünk a rakéták történetét. Nem melleleg ezzel az olvasó abba is betekintést nyerhet, hogy milyen hosszan tartó, sok tényező által befolyásolt utat kellett bejárniuk ezeknek a még ma is folyamatosan fejlődő eszközöknek.

1. Hosszú fejlődés: a rakéta

A rakéták működésének fizikai elvét már egyes ókori kultúrák egymástól függetlenül is megfigyelték. Mégis, az első rakéta megalkotása jelen tudásunk szerint csak a 11. századi Song-dinasztia uralta Kínában történt. Ez az eszköz hajtóanyagként feketelőport (faszén, kén és salétrom keveréke) használt, amit egészen a 20. századig alkalmaztak. Az ünnepek idején is használt kezdetleges rakétákat 1232-ben már biztosan bevetették egy város védelmében, igaz, ez sem tudta megakadályozni, hogy a mongolok végül elfoglalják a települést. Ezek a korai eszközök még veszélyesek voltak az alkalmazóikra is, mivel burkolatuk selyempapírból vagy kartonból készült, így könnyen megsérülhettek és kiszámíthatatlanná váltak.¹ A mongolok átvették ezt a találmányt, s hódításaik révén eljutott Európába is. Roger Bacon 1250 körül már lejegyzett egy feketelőpor-receptet, s a rákövetkező évtizedekben elterjedt a puskapor használata. 1405-ben Konrad Kyeser német mérnök *Bellifortis* című művéből már kiderült, hogy a rakéták alkalmazása egyáltalán nem volt szokatlan. A lengyel Casimirus Siemienowicz 17. századi rajzain már csőszerű, stabilizáló szárnyakkal ellátott eszközöket láthatunk. A 18. századra a tüzérségi lövegek tökéletesedése miatt a rakéták kissé elavultnak számítottak, ám egy Indiából származó ötlet új lökést adott a fejlődésüknek. Itt merült fel először, hogy a burkolatot fémből készítsék, mivel az nem égett át. Habár a súly nagyobb lett, a hatékonyabb égéstermék-kiáramlás miatt a lőtávolságuk mégis megnövekedett. A britek az 1790-es évek végén zsákmányoltak néhány ilyen rakétát, s feltehetőleg William Congreve ezekből merített ihletet, hogy saját, korszerűbb rakétáit megalkossa. Ő volt az első, aki hasznos terhet helyezett el a rakétaiban a hajtóanyagtól elszeparált lőpor formájában.² 1844-ben William Hale kissé megdöntötte a rakéták fúvókáit, így a rakéta a hossz tengelye körüli forgásba kezdett, ami megnövelte stabilitását.

Az évszázadokig tartó, főleg katonai jellegű fejlődés után a 20. század szakértői hozták el a rakétatechnika új korszakát. Az egyik legjelentősebb kutató az orosz Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij (1857–1935) volt. Elméleti munkássága, habár sokáig ismeretlen volt, már több fontos számítás és alapvetet tartalmazott, köztük a többfokozatú rakéták alkalma-

¹ Giles 2009, 12.

² Uo., 13.

zására vonatkozó, később róla elnevezett Ciolkovszkij-egyenletet. Egy másik fontos személy Robert H. Goddard (1882–1945) amerikai tudós volt, aki a nyugati féltekén próbálta átültetni a gyakorlatba Ciolkovszkij elméleteit. 1926-ban sikeresen tesztelte az első folyékony üzemanyagú rakétát. A német tudósok közül kettőt érdemes megemlíteni, Hermann Julius Oberthet (1894–1989) és az elsőként a segédjeként tevékenykedő fiatal Wernher von Braunt (1912–1977). Hosszas munkakapcsolatuk során 1941-től együtt dolgoztak az Aggregat programban, ami megalkotta a V–1 és a V–2 rakétát, amelyeket Hitler nagy számban használt fel „csodafegyverként”. Utólagosan visszatekintve a V–2-es egy 1944. júniusi kísérletét tartják az első alkalomnak, amikor egy ember alkotta tárgy átlépte a 100 km-es magasságban lévő Kármán-vonalat, s ezzel kijutott a világűrbe.³ Hogy mégsem ezt az eseményt tekintik az űrkorszak kezdetének, annak több oka is van. Egyrészt ennek az eseménynek a híre nem jutott el a szélesebb nyilvánossághoz, másrészt a háború után nem létezett olyan motiváció, hogy a legyőzött náci rezsim javára írjanak egyes eredményeket.

A lassan kibontakozó hidegháború két oldalán zajló rakétafejlesztések elsődleges célja nem a világűr elérése volt, hanem az atomtöltetek célba juttatásának szándéka. A szovjet vezetés különösen motivált volt abban, hogy az óceánok által védett Egyesült Államoknak tudtára adja, képes lehet csapást mérni az amerikai városokra. Kevésbé ismert tény, de a Szputnyik indítására szolgáló rakéta eredeti verziója egy interkontinentális ballisztikus rakéta volt, az R–7. Hogy célpontját elérhesse, a rakétának ki kellett lépnie a légkörből, majd a töltetnek vissza is kellett tértie oda. Az első tesztek során épp a töltet hőpajzsával volt gond. A hasznos teher rendre megsemmisült, így az egész részegységet újra kellett tervezni. Ezt a szünetet használta ki Szergej Pavlovics Koroljov (1907–1966), és meggyőzte a szovjet vezetést, hogy juttassanak egy olyan eszközt az űrbe, aminél nem számít, ha a légkörbe lépéskor megsemmisül: egy műholdat. A szovjetek végül megelőzték az amerikaiakat, s ezzel hatalmas propagandagyőzelmet arattak. Nem mellékesen demonstrálták, hogy az Egyesült Államok területét is el tudják érni rakétáikkal.

³ Wade 2019a.

2. A műholdak megjelenése és szerepe

Az elkövetkező években a nukleáris robbanófejek és a rakéták fejlesztése mellett a műholdak elterjedése is gyors ütemben zajlott, és szorosan összefüggött a nukleáris fenyegetettség jelentette problémával. A legkorábbi műholdak méréseket végeztek a világűrben, illetve a hírszerzést szolgálták. Az első amerikai felderítőműhold-programhoz Eisenhower elnök már 1958-ban megadta az engedélyt, és a Corona program keretében 1960-tól működtek is ezek a műholdak. Még olyan kezdetlegesek voltak, hogy a filmtekercseket kapszulákban kellett visszajuttatni a Földre, ahol azokat általában a haditengerészet vagy a légierő egységei gyűjtötték be.⁴ A Szovjetunió Zenit programja – ami koncepcióként már 1956 óta létezett – nem sokkal később, 1961-ben kezdődött.⁵

Ami különösen aktuálissá tette a felderítő műholdak fejlesztését, hogy az Egyesült Államok U–2 kémrepülőgépei már sebezhetőkké váltak: a szovjet légvédelem 1960 májusában le is lőtte Francis Gary Powers gépét, ami véget vetett az amerikai berepüléseknek.⁶ Az Egyesült Államok tehát elesett az információszerzés eme módjától, a Szovjetunió pedig ugyanúgy szükségét érezte, hogy minél többet megtudjon riválisáról.⁷

Ez az információéhség még inkább érthetővé válik, ha belegondolunk, hogy a két ellenfél minden eddiginél nagyobb pusztítóerővel bírt, és természetesen megvolt a lehetősége nemcsak ellenfele, hanem az egész emberiség kipusztítására. Ráadásul egy átlagos interkontinentális ballisztikus rakéta 30 perc alatt képes volt célba juttatni az atomtölteteket, s ez a gyorsaság csábítóvá tehetette egy megelőző csapás indítását. Mivel ez a lehetőség mindkét oldal stratégiáinak fejében megfordult, ráadásul nem is bízhattak a másik fél adott szavában, megoldást kellett találni erre a problémára. Ez vezetett a kölcsönösen garantált megsemmisítés (Mutual Assured Destruction, MAD) katonai doktrínájához. A lényege, hogy hiába indítana az egyik katonai tömb támadást, a másik észlelné ezt, és képes lenne egy olyan válaszcsapásra, ami biztosan a támadó állam pusztulását okozná. A rend-

4 Center for the Study of National Reconnaissance 2013, 37.

5 Wade 2019b.

6 Office of the Historian (é. n.).

7 O'Hare 2022.

szer stabilitását a hiteles és világosan kommunikált elrettentés és a két óriási támadó arzenál egyensúlya biztosította.

A földi komponensekkel is rendelkező, úgynevezett korai előrejelző rendszerek szerves részét képezték azok a szatellitok, amelyeket az Egyesült Államok az 1960-as évektől (MIDAS program), míg a Szovjetunió az 1970-es évektől (Oko program) kezdett telepíteni. Ezek a rakéta indításának kezdeti szakaszában keletkező, 1000 Celsius-foknál is magasabb hőt észlelték az infravörös tartományban. A rendszerek eltérő hatékonysággal működtek, de ettől függetlenül műholdjaik kiemelt védelmet élveztek, mivel ezek megtámadása vagy zavarása egy átfogó nukleáris csapás kezdeti lépcsőjeként is értelmezhető lett volna. A jelenlegi űrarchitektúrának még most is szerves részét képezi a hidegháború elején bevezetett két kategória: a felderítő és a nukleáris korai előrejelző műholdak.

3. A GPS

A világűrbe telepített rendszerek közül kiemelt fontosságú a globális helymeghatározó rendszer, ismertebb nevén a GPS (Global Positioning System). Ez volt az első globális műholdas, navigációs rendszer. A program 1973-ban kapott zöld utat, és 1978-ban felbocsátották az első kísérleti műholdat. A teljes, 24 műholdból álló rendszer 1993-ra készült el. Az amerikai kormányzat már 1983-ban kiadott egy nyilatkozatot, miszerint polgári felhasználásra is elérhetővé teszi majd a rendszer képességeit. Ennek közvetlen oka a Koreai Légitársaság 007-es járatának katasztrófája volt, egy navigációs hiba miatt az Alaszka felől közelítő utasszállító betévedt a Szovjetunió egyik lezárt katonai területe fölé. A hidegháború két hatalma közötti feszültség, szerencsétlen félreértések és emberi hibák sorozata után a szovjet légierő lelőtte a gépet.⁸ 1996-ban a Clinton-kormányzat is folytatta ezt az irányt, de ekkoriban a polgári felhasználók még egy sokkal pontatlanabb helymeghatározáshoz fértek hozzá. Végül ezt feloldották, de ha a helyzet azt kívánja, a jel korlátozható vagy a pontosság csökkenthető.

Itt kereshető annak magyarázata is, hogy miért létezik számos párhuzamosan kiépített kapacitás. Nem meglepő módon egy haderő számára alapvető fontosságú a saját és az ellenfél erőinek elhelyezkedése. Ez szere-

⁸ Grier 2013.

pet játszik a navigációtól kezdve a művelet tervezésen át a csapásmérésig. Ezért jött létre a szovjet-orszós GLONASS, az európai Galileo- vagy a kínai BeiDou-rendszer. India és Japán is üzemeltet hasonló, de inkább a saját régiójukra fókuszáló rendszereket. Az indiai haderő a saját bőrén tapasztalhatta az 1999-ben zajló Kargil-háborúban, milyen is, mikor az Egyesült Államok megtagadja a régióban a GPS-jelek továbbítását, ezért döntöttek a NavIC kiépítése mellett.⁹

Azóta a GPS szorosan integrálódott a polgári életbe, és több kritikus infrastruktúra támaszkodik rá. Kevésbé ismert, hogy a GPS-műholdakról egy időjel is érkezik, ami alapján összetett számítástechnikai architektúrák képesek összehangolni a működésüket. Banki és tőzsdei informatikai hálózatok, a navigációt koordináló géppark, erőművek IT-eszközei és még sok más felhasználó támaszkodik erre az információra. Ezt kihasználhatják azok, akik kárt akarnak okozni, legyen az egy zsarolásra készülő hacker-csoport vagy egy ellenséges állam hadereje. A GPS-jel zavarása vagy megtevesztő jelek küldése (*spoofing*) egy kézenfekvő lépés, és több ország hadereje elkezdett tesztelni és rendszerbe állítani ilyen eszközöket.

Az erre a fenyegetésre adott logikus ellenlépések is kezdenek kibontakozni. Egyrészt igyekeznek nehezebben zavarhatóvá tenni a GPS biztosított szolgáltatásokat, másrészt alternatív megoldások bevezetését is szorgalmazzák. Az egyik módszer, hogy egy biztonságos földi központból száloptikás kábelen továbbítják az időjelet, amit aztán összehangolnak a GPS által továbbított adatokkal. Más cégek olyan eszközöket kínálnak, amelyek elvileg a jel bármiféle zavarását vagy módosítását felfedezik. Emellett a haderőn belül új navigációs metódusokat akarnak bevezetni. Ilyen lehet a Föld mágneses mezőjét felhasználva tájékozódni (az iránytű is voltaképpen ezt teszi egy nagyon egyszerű módon), de a kvantumtechnológiában rejlő lehetőségek is terítéken vannak.¹⁰

⁹ Rana 2022.

¹⁰ Sandia National Laboratory 2022.

4. Biztonsági dilemma

Mint korábban említettem, a hidegháború alatt az elrettentés és a két hatalom nukleáris haderejének egyensúlya kulcsfontosságú volt. A hidegháború első szakasza után elindult egy enyhülési folyamat. Azonban 1979-ben szovjet csapatok vonultak be Afganisztánba, és így a két hatalom ellentéte ismét erősebbé vált. Az Egyesült Államok több válaszlépést fogantatosított. Ezek egyike az úgynevezett Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (Strategic Defense Initiative, SDI) meghirdetése. A lényege egy olyan rendszer kiépítése volt, ami többek között a világűrbe telepített fegyverekkel semmisítette volna meg a szovjet rakétákat, így jelentős mértékben csökkentette volna a szovjet atomfegyverek jelentette fenyegetést.

Ezzel létrejött egy helyzet, amit a biztonsági tanulmányokban az 1951-ben kidolgozott *biztonsági dilemma* fogalommal írnak le. Ekkor egy állam saját biztonságának növelése érdekében fegyverkezni kezd. Azonban a környező (vagy rivális) államok ezt fenyegetésként élik meg, és ők is hasonlóan cselekszenek, ami egy biztonságkereső spirálhoz (más néven fegyverkezési versenyhez) vezet. A folyamat vége leggyakrabban egy új egyensúlyi állapot, csak éppen a résztvevők hadereje már egy magasabb szintre ért.¹¹ A biztonsági dilemma különböző esetei többször megfigyelhetők a történelem folyamán. Az űrhatalmak jelenlegi viselkedése egy még megoldatlan biztonsági dilemma képét tárja elénk, ami érthetővé válik, ha megnézzük, milyen új katonai eszközök jelentek meg.

5. Új fejlemények – régi és új riválisok

A Szovjetunió utódjaként Oroszország még jó ideig nem lehetett újra rivális, mert belső problémáival volt elfoglalva. A kínai katonai vezetők pedig látták, milyen könnyedén győzte le az Egyesült Államok az iraki haderőt az első Öböl-háborúban (1990–1991), ami az akkori világ ötödik legnagyobb hadereje volt. Ez a győzelem nem kis részben a GPS biztosította képességeknek volt köszönhető. Igaz, ebben a háborúban a precíziós, GPS-jel által vezérelt lövedékek száma még meglehetősen alacsony volt, azokat kulcsfontosságú célpontok ellen vetették be kiemelt hatásokkal. Azonban

¹¹ Gazdag–Remek 2014, 15.

a 2000-es évek eleje óta az Egyesült Államok *relatív előnye* csökkenni látszik. Oroszország és Kína is olyan eszközök fejlesztésébe kezdett, amelyek ellensúlyozhatják az Egyesült Államok fölényét, részben az amerikaiak űrképességeinek fenyegetése révén. Az Egyesült Államok, látva a *status quo* megváltozását, szintén új eszközök fejlesztésébe kezdett, igyekezve megőrizni vagy akár növelni előnyét a riválisaihoz képest.

Az új és hatékony eszközök közé tartoznak a kiberképességek. Kiépítésük és fenntartásuk relatíve olcsó, a létszámigény viszonylag alacsony, azonban magasan képzett személyekről van szó. Időszakosan egyes kormányok, sőt vállalatok független hackercsoportok szolgálatait is igénybe vehetik egy-egy művelet sikerének érdekében. A kiberműveletek megállítása vagy hatásainak felszámolása sokszor időigényes feladat, és sokszor meglehetősen nehéz az attribúció, vagyis annak azonosítása, hogy ki követte el a támadást és milyen céllal. Kiemelten fontos lehet az úgynevezett kritikus infrastruktúra védelme. A kritikus infrastruktúra legegyszerűbb európai meghatározása szerint azon eszközöket és rendszereket soroljuk ide, amelyek elengedhetetlenek a létfontosságú társadalmi feladatok ellátásához. Ezek megsérülése, megsemmisülése vagy működésük zavara különböző okokra vezethető vissza, amelyek lehetnek természeti vagy emberi eredetűek.¹² Az űrinfrastruktúra még nem minden meghatározás szerint tartozik a kritikus kategóriába, azonban – mint az a GPS-ről szóló alfejezetben kiderült – az űrképességektől függ sok más rendszer, így azok kiesése súlyosan megzavarhatja a működésüket. Emellett természetesen a kiberképességek alkalmazásával közvetlenül az űrinfrastruktúrára is hatást lehet gyakorolni. Lehetséges egyes műholdak felett átvenni az irányítást, deaktiválni azokat, vagy ha rendelkeznek hajtóművekkel, akár a Föld légkörébe is beléptethetők, így megsemmisítve az eszközöket. A műholdak elleni kibertámadások természetüknél fogva nem olyan látványosak, mint egy baleset. Bizonyos incidensek soha nem kerülnek nyilvánosságra, nemcsak egyszerűen presztízsokokból, hanem azért, mert a támadó így értékes információkhoz juthatna, ami a későbbiekben előnyére válhatna.

Az első műholdellenes kibertámadást 1986-ra datálják, és azóta az akciók egyre kifinomultabbak és összetettebbek. Az első, a szervezett bűnözés által elkövetett támadás 2016-ra tehető, melyet egy orosz csoport hajtott végre. Természetesen egyes államok is igyekeznek kiépíteni ké-

¹² European Commission 2023.

pességeiket, és esetenként azokat tesztelik is. Kína, Oroszország, illetve az Egyesült Államok és európai szövetségesei rendszeresen vádolják egymást ilyen cselekmények elkövetésével.¹³

A kiberfenyegetés növekedése mellett a műholdelhárító fegyverek (anti-satellite, ASAT) megjelenése és gyors ütemű fejlesztése is az úrtevékenység új korszakának egyik jellemzője. A hidegháború alatt ugyan a két szemben álló szuperhatalom végrehajtott néhány tesztet, de végül beszüntették a fejlesztést. A fejlesztések új hullámát jelző látványos tesztet 2007-ben végeztek, mikor Kína egy földi indítású rakétával megsemmisítette egy régebbi műholdját. A rakétát kinetikus elven működő robbanófejjel szerelték fel, a keletkező nagy sebességű repeszfelhő mozgási energiáját használva semmisítette meg a célpontot.¹⁴ A teszt nemzetközi felháborodást keltett, mivel több ezer darabból álló törmelékfelhőt eredményezett, ami sokáig veszélyezteti még a többi űreszköz épségét. Ezt a tesztet követte egy 2008-as amerikai erődemonstráció, majd 2019-ben India, 2021-ben pedig Oroszország tesztelt hasonló műholdelhárító rakétát. Részben a törmelékfelhők, részben egy diplomáciai manőverezés részeként az Egyesült Államok kezdeményezte a kinetikus tesztek betiltását. A javaslat az ENSZ Közgyűlése elé került, és a nyolc nemmel szavazó ország között találjuk Kínát, Iránt és Oroszországot, míg India tartózkodott.¹⁵

Más fegyverrendszerek fejlesztése is zajlik. Kína és Oroszország a feltevések szerint már rendelkezik bevethető műholdelhárító lézerrel, fejlett zavaró berendezésekkel és talán már működőképes elfogó műholdakkal is.¹⁶ Ez utóbbiakra válaszul jelent meg a testőr műholdak koncepciója, amelyek védik majd a sokkal értékesebb, nagyobb műholdakat. Franciaország pedig 2019-ben bejelentette, hogy védelmi céllal fedélzeti lézereket fog telepíteni egyes műholdjaira.¹⁷ A védekezés egy másik lehetséges módja, hogy bizonyos feladatok ellátására alacsony Föld körüli pályákon (max. 2000 km-es magasságban) több száz vagy több ezer műholdból álló konstellációkat hoznak létre, amelyek egységei gyorsan pótolhatók. Ha egy ellenfél sikeresen meg tudna semmisíteni akár száz műholdat, a rendszer

13 Pavur–Martinovic 2020.

14 Horváth 2019, 35–38.

15 Smith 2022.

16 Secure World Foundation 2022.

17 Trevithick 2019.

akkor is működőképes maradna. Itt kell visszautalnunk a kiberképességek veszélyeire. Egy, a teljes konstellációt érintő, sikeres kibertámadás esetlegesen sokkal nagyobb kárt tud okozni, mint akár száz műholdelhárító rakéta.

Ezzel párhuzamosan zajlik a világon új doktrínák és eljárások kidolgozása, valamint a haderők szervezeti átalakítása, hogy megfeleljenek az új kihívásoknak. Eltérő elképzelések vannak, így a légielő kötelékébe tartozó űralakulatok jöhetnek létre (Oroszország, Franciaország), esetleg támogató szerepben összevonják őket a kiber- és elektronikus hadviselés alakulataival (Kína), vagy egyenesen új haderőnemként jelennek meg (Egyesült Államok).

6. A polgári szereplők és az ellátási láncok

Az új űrkorszak egyik jellemzője, hogy sokkal nagyobb mértékben vesznek részt benne a magánvállalatok és a tudományos intézmények. Természetesen a világűr polgári és tudományos felhasználása nem a közelmúltban kezdődött. A SCORE nevű első távközlési műholdat már 1958-ban pályára állították. Az első meteorológiai műhold, a TIROS-1, 1960-ban kezdte meg működését. A Telstar-1 nevű távközlési műholdat 1962-ben, az első geostacionárius pályán elhelyezkedő rokonát, az Early Birdöt pedig 1965-ben juttatták a világűrbe.¹⁸ Azóta a polgári szektor egyre nagyobb mértékben képviselteti magát az űrtevékenységben, ami nagyban köszönhető az egyre kisebb indítási költségeknek. A vállalatok versenyképessége és nyereséges működése a nekik otthont adó országoknak is érdeke. Egyrészt hozzájárulnak az adóbevételekhez, munkahelyeket biztosítanak, másrészt a gazdaság egészére ösztönzőleg hatnak, és a technológiatranszfer révén elősegítik az innovációt. A cégek hajtotta haszon következtében – illetve az üzleti, katonai és politikai elit kapcsolatai miatt – a kormányzatok a cégek érdekeit is figyelembe veszik. Ahogy súlyuk növekszik az űrtevékenységben, a kormányzatok részéről annál inkább várhatók olyan intézkedések, amelyek a vállalatokat támogatják és védik.

A vállalatok és általában a polgári társadalom jelentős részére van szükség egy másik vonatkozásban is. Ez pedig az űrtevékenység gazdasági és

¹⁸ Bartolits 2020, 23–31.

ipari bázisának biztosítása. A problémát az okozza – mint az több iparágban is tapasztalható volt 2019 óta –, hogy a teljes ellátási lánc annak minden szintjével együtt globalizálódott. Egy kizárólag saját vállalatokra és nyersanyaglelőhelyekre alapozó űrszektor fenntartása túl költséges lenne, és sokszor nem is lehetséges.¹⁹ Biztonsági szempontból többször felmerül a ritkaföldfém-, illetve a félvezető- és a mikrochipellátás biztosítása. A ritkaföldfémek esetében Kína évekig domináns helyzetben volt, amelyet tudatos stratégiával ért el. Ezt a helyzetét aztán fel is használta gazdasági nyomásgyakorlásra, amelyre válaszul a nyugati államok megkezdték a ritkaföldfémforrásaik diverzifikálását, saját bányák és feldolgozóüzemek létrehozását.²⁰ A csúcstechnológiájú mikrochipek gyártása terén épp fordított volt a helyzet. Ebben Kína igyekezett erősíteni a saját pozícióit, de az Egyesült Államok és szövetségesei mindent megtesznek, hogy ezt a folyamatot blokkolják vagy legalább lassítsák.²¹

Az ellátás biztonságának fokozása érdekében több ország bizonyos termelőkapacitásokat igyekszik hazá- vagy legalább közelebbi, barátinak vélt országokba telepíteni. Az Egyesült Államok és Kína tekintetében megindult egy olyan szétválás (*decoupling*), ami a két hatalom ellátási láncainak szétválasztását célozza. A költségek ellenére a csúcstechnológiai ágazatok védelme s így az űriparé is elsőbbséget élvez. Ez a folyamat részben magától is végbemegy, mivel Kínában is nőnek a termelés költségei. Ennek okán több cég önként máshova helyezi át a nagy munkaerő-igényű termelési fázisokat, például Délkelet-Ázsiába. Európa űripara bizonyos értelemben speciális helyzetben van, mivel sokkal kevésbé védte vámokkal, állami megrendelésekkel és egyéb eszközökkel a saját vállalatait. Emiatt a globális piac szereplőivel kellett versenyezniük, így életben maradásuk nehezebb volt, de amelyiknek sikerült, az valóban versenyképesnek számított. Ám nem kizrészt az ukrajnai háború megindulása miatt az európai vezetők is nagyobb hangsúlyt helyeznek az önállóságra, és megerősödtek azok a hangok, amelyek a saját űripar fokozott védelmét szorgalmazzák.²²

19 Bowen 2020, 139–148.

20 Hui 2022.

21 Miller 2022, 295–305.

22 ESPI 2022.

7. A megfigyelés elterjedése

A magánvállalatok által biztosított szolgáltatások nem csak az ellátási láncokra korlátozódnak, egyre inkább részt vesznek a földmegfigyelésben is, ami egy sajátos problémát idéz elő. Korábban az álcázás, a megtévesztő másolatok készítése, nagy föld alatti létesítmények használata vagy az ismert műholdak mozgásához igazított csapatmozgás hatékonynak számított.²³ Azonban az elektromágneses spektrum több tartományában (látható fény, radar, infravörös stb.) operáló műholdak és a folyamatos lefedettséget ígérő, nagy méretű műhold-konstellációk korszakában ezek a régi módszerek alig érnek valamit. Például az úgynevezett hiperspektrális érzékelők képesek a visszavert fény alapján megkülönböztetni a tárgyak anyagösszetételét, így egy, a látható fényben jól funkcionáló álcahaló anyagánál fogva kitűnne az őt körülvevő természetes környezetből.

Az egyre nagyobb lefedettség, a megfigyelőtechnológiák fejlődése és a mesterséges intelligenciák várható hatása elhozhatja a GEOINT szingularitást. Ez a kifejezés a geo és az intelligencia (az angolban egyszersmind hírszerzést is jelent) összetételéből keletkezett. Ha ez az állapot bekövetkezik, akkor gyakorlatilag a Föld teljes felszíne állandó megfigyelés alatt áll majd. Mint említettük, ebben már vállalatok is részt vesznek. Példa erre a 2022 februárjában kitört orosz–ukrán háború során a Maxar Inc. vagy a Planet Labs által végzett földmegfigyelés, ami hasznára vált az ukrán hadvezetésnek. Úgy tűnik, az álcázás és a megtévesztés új eszközeire lesz szükség.²⁴ Fontos kiegészítés, hogy a stratégiai meglepetés válik lehetlenné, mivel nem lehet elrejtetni a csapatmozgásokat, az erők összevonását, a felhalmozott készleteket. De az operatív/műveleti és a taktikai szinten még érhetik meglepetések a szemben álló feleket. Például az űrbázisú felderítés önmagában nem tudja megmondani, mikor lesz a támadás, mik a főbb célok, vagy milyen taktika szerint harcolnak az ellenfél csapatai a városokban.

²³ Campbell 1997.

²⁴ Koller 2019.

8. Űrszemét és a bolygót fenyegető veszélyek

A világtűr-tevékenység számára egy másik fontos, megoldandó probléma az űrszemét kérdése. Az űrszemét mesterséges eredetű, az emberiség eddigi űrbéli tevékenységének terméke. A legrégebbi űrszemétdarab tudomásunk szerint az 1958-ban pályára állított amerikai Vanguard–1. Csak 1964-ig működött, de a számítások szerint összesen 240 év is eltelhet, mire megsemmisül. Ennek oka, hogy meglehetősen nagy magasságban kering a Föld körül, ezért az egyre ritkább légkör fékező hatása alig érvényesül. Az orbitális mozgások törvényei szerint, ha lassulna a keringési sebessége, úgy a Föld gravitációja egyre alacsonyabb pályára kényszerítené, végül elégne a Föld légkörében. A Vanguard–1 jelenlegi sebessége kb. 8,2 km/s (29 520 km/h), ami nem számít rendkívülinek.²⁵

Épp ez a sebesség az, ami még a relatíve apró űrszemétdarabokat is nagyon veszélyessé teheti. Nem is beszélve régebbi, sokkal nagyobb műholdakról vagy rakétafokozatokról. Az Európai Űrkutatási Ügynökség adatbázisa szerint 1957 óta 6370 rakétaindítás történt 2022. december 22-éig. A 15 070 pályára állított műholdból 9790 még mindig a világtűrben van, de ebből kb. 2600 már nem működik. Ha ehhez hozzávesszük még az elhasznált rakétafokozatokat, a balesetek és fegyverkísérletek során keletkezett darabokat vagy akár csak a festékdarabkákat, meglehetősen magas számokat kapunk. A 10 cm-nél nagyobb darabok száma 36 500, az 1 és 10 cm közé eső darabok száma 1 millió körüli, míg az 1 cm-nél kisebbekből a becslések szerint 130 millió kering.²⁶ Érdekességként megemlíthető, hogy léteznek úgynevezett zombi műholdak is. Ezek még képesek valamilyen limitált működésre, és akár évekig tartó teljes inaktivitás után kezdenek el valamilyen „életjelet” generálni. A LES–1 műhold az eddigi rekordtartó, 46 évnyi csend után fogtak tőle rádiójeleket.²⁷

Azonban az űrszeméttel kapcsolatban nem ezek a kuriózumok jelentik a fő problémát. Az időnkénti balesetek okozta károk mellett – és részben azok miatt – felmerül annak a veszélye is, hogy beindulhat egy megállíthatatlan láncreakció, amit Kessler-szindrómának hívnak. Feltételezett lefolyása szerint egy törmelékdarab összeütközik egy másik űrobjektummal,

²⁵ Betz 2020.

²⁶ ESA 2023.

²⁷ McFadden 2022.

amitől az több ezer darabra robban szét, majd ezek a darabok újabb objektumokkal ütközve több új törmelékfelhőt generálnak, és így tovább. Ha ez bekövetkezne, az űrtevékenység akár évtizedekre ellehetetlenülne.

Az űrszemét elleni védekezés hatékonysága még hogy kívánivalót maga után. Aktív űreszközök – már ha képesek rá – rendszeresen végeznek kitérő manővereket, köztük a Nemzetközi Űrállomás is. Ez utóbbi rétegelt pajzsokkal is rendelkezik, amelyek képesek a kisebb daraboktól megvédeni az űrállomást. A pajzsok fejlesztése folyamatos, de az űrszemétdarabok már említett nagy sebessége miatt a becsapódás energiája óriási, így más módszerekre is szükség van. Főleg, ha figyelembe vesszük, hogy mind az űrszemét, mind az aktív eszközök száma folyamatosan növekszik. A további űrszemét keletkezését limitáló szigorú szabályok betartása mellett az aktív eltávolítás lehet a megoldás. Erre vállalkozik például az ESA által is támogatott ClearSpace vállalat 2026-ra tervezett küldetése, amely egyben a gazdaságilag nyereséges eltávolítás felé is egy nagy lépés. Más vállalatok megjelenése egy egészséges verseny kialakulását is eredményezheti.²⁸ Azonban, ha a küldetés sikeres lesz, ugyanez a technológia alkalmas lesz arra is, hogy még működő ellenséges műholdakat befogjon és megsemmisítsen. Ez a duális felhasználás lehetősége az űrtechnológiák gyakori jellemzője.

Az űrszemét mellett több más veszélyforrás található a világűrben, ami nagymértékben veszélyezteti nemcsak az űrinfrastruktúrát, hanem akár az egész emberiséget. A földtörténet során több tömeges kihalásról tudunk. A 66 millió évvel ezelőtti esemény – amely a dinoszauruszok eltűnését is okozta – feltehetőleg egy aszteroida becsapódása miatt következett be. A *Föld-közeli objektumok* (Near-Earth Object, NEO) kutatása és szemmel tartása épp azt célozza, hogy megismerjük a Naprendszerben keringő veszélyes aszteroidákat.

Az észlelés a szükséges feltétele a következő lépésnek, ami az elhárítás. Itt is többféle változatot javasoltak a kutatók, de az eddigi egyetlen letesztelt koncepció a NASA és az ESA közös projektje, a DART küldetés volt. Ez az űreszköz szándékosan becsapódott a Dimorphos nevű aszteroidába, amely a nála jóval nagyobb Didymos aszteroida körül kering. Mostanra igazoltá vált, hogy a becsapódás a terveknek megfelelően megváltoztatta a kisebbik aszteroida keringési pályáját és idejét, így a tömegvonzás tör-

28 Rainbow 2023.

vényeinek köszönhetően a nagyobb aszteroida pályája is kismértékben módosult, így végeredményként az aszteroidapár Naprendszerben leírt pályája is megváltozott. Ez a kis különbség azonban egyre nagyobb és nagyobb eltérést fog eredményezni, ahogy nő a megtett távolság.²⁹ Jelen ismereteink szerint nincs olyan Föld-közeli objektum, ami a közeljövőben veszélyeztetné a bolygót, azonban még messze nem ismerjük az összeset, mivel észlelésük sokszor nagyon nehéz.

Az aszteroidákon kívül az űridőjárás hatásaira is fel kell készülnie az országoknak. A naptevékenység egyes fajtái, például a koronakilökdések okán nemcsak a műholdak jelentős része, hanem akár az elektromos hálózat és az arra csatlakozó eszközök is komoly károkat szenvedhetnek el. A történelem folyamán többet ismerünk. Az egyik legnagyobb az 1859-es Carrington-esemény volt, de ez a mágneses vihar akkoriban csak a távíró-hálózatot rongálta meg. Ma egy ilyen nagyságrendű esemény hatásai alig felmérhetőek, de a helyreállítás akár évekig is eltarthatna, a várható költségekről nem is beszélve. A 19. század óta több hasonló, de kisebb esemény is bekövetkezett. Például 1989-ben Québecben, 2003-ban pedig Svédországban okozott károkat egy geomágneses vihar. A jelenlegi technológiai szintünkön a Földet elérő hatás előtt kb. 15-60 perccel tudjuk észlelni az ilyen napaktivitást.³⁰ Más típusú hatások fénysebességgel érkeznek a Naptól. Előrejelzésük nagyon nehéz, ezért különösen fontos a Nap kutatása.

9. A jövő megragadása

Mint láthattuk, az életünk szerves részét jelentő űrinfrastruktúra egyre bővül. Több eleme nélkül elképzelhetetlen lenne számos modern szolgáltatás, illetve jelenkorunk problémáinak sikeres kezelése is nagymértékben csökkenne. Modern civilizációnk egyszerre kedvezményezettje az űrképességeknek, ugyanakkor kiszolgáltatottak is vagyunk. A jelen helyzet értelmezése mellett a szakértők megpróbálnak olyan jövőbeli problémákra is megoldást találni, amelyek egyelőre csak a horizont szélén láthatók.

Ez az írás részben a biztonsági tanulmányok terén jól bevált, Barry Buzan nevéhez fűződő szektorális rendszert vette alapul. Buzan ezeken ke-

²⁹ NASA 2022.

³⁰ NOAA Space Weather Prediction Center 2023.

resztül értelmezi, milyen téren jelenhet meg egy fenyegetés az állam számára. A katonai, gazdasági, politikai, társadalmi és környezeti szektorok voltak az eredeti felosztás részei.³¹ Később kiegészítették a kiber- és a humánbiztonság szektorával. A világűr több szektort érinthet, azonban ez a rendszer nem elegendő, sajátosságai miatt fel lehetne állítani egy külön szektort a világűr részére. Több szakértő próbálja tágítani az értelmezési kereteket. Például Bleddyn E. Bowen azt állítja, a világűr jelenleg a sekély és nagy forgalmú part menti vizekhez hasonlít. Ezt a forgalmat kell szabályozni és konfliktus nélkül fejleszteni. Ha ennél a hasonlatnál maradunk, akkor viszont figyelembe kell venni, hogy a földrajzi felfedezések idején a szükség és az új technikai lehetőségek ötvözete végül lehetővé tette, hogy a hajósok az óceánokat is bejárják. Az űrtevékenység tekintetében az űrjárművek, különösen a hajtóművek fejlesztése teszi majd lehetővé, hogy elhagyjuk a „parti vizeket”.³² Az újrafelhasználható rakéták fejlesztése az egyik legfontosabb irány, mivel ez csökkenti az indítási költségeket. De hasonlóan fontos irány nukleáris hajtóművek fejlesztése, ami sokkal gyorsabbá és gazdaságosabbá teheti akár a bolygók közötti utazást is. Például a NASA és a DARPA közös fejlesztése a remények szerint harmadára csökkentheti az utazási időt.³³ Ennek fontosságát remekül mutatja, hogy több jelentős űrhatalom és vállalat folytat hasonló irányba mutató kutatásokat.

Ugyanígy megoldásra vár majd az egyre zsúfoltabb orbitális pályák forgalmának szabályozása, az űrfegyverkezés dilemmája, az űridőjárás jelentette fenyegetés, az űrszemét növekvő száma, de akár a holdi bázisok és az űrbányászat kérdései is. Utóbbira egy példa, amely egyben az olvasó elgondolkodtatására is szolgál: a jelenlegi szabályozás alapján minden égitest az emberiség közös tulajdona, de ha egy cég vagy állam bázisokat létesít, illetve kitermelésbe kezd, akkor garantálni akarja annak biztonságát. Az amerikai elképzelések szerint egy biztonsági zóna létrehozása megengedhető. Ám ennek nagysága, a kialakítás feltételei, a zóna megsértésének következményei, az erőszak alkalmazásának lehetősége vagy mikéntje már most heves viták tárgya. A jövő kihívásainak megoldásában a biztonsági szempontok elsődleges szerepet töltenek majd be.

31 Buzan 1991, 431–451.

32 Bowen 2020, 37.

33 NASA 2023.

Irodalom

- Bartolits, István 2020: Az űrtávközlés hajnala. In Vári, Péter (szerk.): *Ég és föld közötti kapcsolatok*. Budapest, Wolters Kluwer. 23–31.
- Betz, Eric 2020: *Vanguard 1: Earth's oldest artificial satellite that's still in orbit*. <https://astronomy.com/news/2020/07/vanguard-1-earths-oldest-artificial-satellite-thats-still-in-orbit> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Bowen, Bledlyn E. 2020: *War in Space. Strategy, Spacepower, Geopolitics*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Buzan, Barry 1991: New Patterns of Global Security in the Twenty-First Century. *International Affairs*, 1991 (67) 3. 431–451.
- Campbell, Duncan 1997: *Hiding from the spies in the sky*. <https://www.duncancampbell.org/menu/journalism/guardian/Hidingfromthespiesinthesky.pdf> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Center for the Study of National Reconnaissance 2013: *The Corona Story*. https://www.nro.gov/Portals/65/documents/history/csnr/corona/The%20CORONA%20Story.pdf?ver=BgSn5n-PYz45EZ9O_ZF570w%3d%3d (letöltés ideje: 2023. április 21.).
- ESA, European Space Agency 2023: *Space Debris by the Numbers*. https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- ESPI, European Space Policy Institute 2022: *The War in Ukraine and the European Space Sector*. <https://www.espi.or.at/briefs/the-war-in-ukraine-and-the-european-space-sector/> (letöltés ideje: 2023. január 30.).
- European Commission 2023: *Critical Infrastructure*. https://home-affairs.ec.europa.eu/pages/page/critical-infrastructure_en (letöltés ideje: 2023. január 30.).
- Gazdag, Ferenc–Remek, Éva 2014: *A biztonsági tanulmányok alapjai*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó.
- Giles, Sparrow 2009: *Az űrrepülés teljes története a Szputnyik–1-től az űrrepülőgép utánig*. Budapest, M-Érték Kiadó Kft.
- Grier, Peter 2013: *The Death of Korean Air Lines Flight 007*. <https://www.airandspaceforces.com/article/0113korean/> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Horváth, Attila 2019: Kína űrfegyverkezési kísérletei I. *Haditechnika*, 2019 (53) 6. 35–38.
- Hui, Mary 2022: *The West is rebuilding its rare earths supply chain – but China still looms large*. <https://qz.com/the-west-is-rebuilding-its-rare-earths-supply-chain-but-1849815677> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Koller, Josef S. 2019: *The Future of Ubiquitous, Realtime Intelligence: A GEOINT Singularity*. https://aerospace.org/sites/default/files/2019-09/Koller_FutureUbiquitous_08082019_2_0.pdf (letöltés ideje: 2023. február 20.).
- McFadden, Christopher 2022: *Meet some of the oldest „undead” spacecraft that are still going strong*. <https://interestingengineering.com/science/oldest-undead-spacecraft> (letöltés ideje: 2023. február 20.).
- Miller, Chris 2022: *Chip War. The Fight for the World's Most Critical Technology*. New York, Scribner.
- NASA 2022: *NASA Confirms DART Mission Impact Changed Asteroid's Motion in Space*. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroid-s-motion-in-space> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- NASA 2023: *NASA, DARPA Will Test Nuclear Engine for Future Mars Missions*. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-darpa-will-test-nuclear-engine-for-future-mars-missions/> (letöltés ideje: 2023. január 30.).

- NOAA Space Weather Prediction Center 2023: *Electric Power Transmission*. <https://www.spaceweather.gov/impacts/electric-power-transmission> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- O'Hare, Mick 2022: *The Cold War spy satellite race between the US and the USSR gave each side intel that 'prevented World War III'*. <https://www.scmp.com/magazines/post-magazine/long-reads/article/3187795/cold-war-spy-satellite-race-between-us-and-ussr> (letöltés ideje: 2023. április 8.).
- Office of the Historian (é. n.): *U-2 Overflights and the Capture of Francis Gary Powers, 1960*. <https://history.state.gov/milestones/1953-1960/u2-incident> (letöltés ideje: 2023. április 8.).
- Pavur, James–Martinovic, Ivan 2020: *SOK: Building a Launchpad for Impactful Satellite Cyber-Security Research*. <https://arxiv.org/abs/2010.10872> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Rainbow, Jason 2023: *ClearSpace raises \$29 million ahead of first debris removal mission*. <https://spacenews.com/clearspace-raises-29-million-ahead-of-first-debris-removal-mission/> (letöltés ideje: 2023. március 25.).
- Rana, Ratika 2022: *India's Mega Projects: Denied GPS During Kargil War By US, ISRO Developed NavIC*. <https://thelogicalindian.com/trending/navic-isro-33649> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Sandia National Laboratory 2022: *High-Tech Quantum Sensors: Navigating When GPS Goes Dark*. <https://scitechdaily.com/high-tech-quantum-sensors-navigating-when-gps-goes-dark/> (letöltés ideje: 2023. január 10.).
- Secure World Foundation 2022: *Global Counterspace Capabilities*. https://swfound.org/media/207350/swf_global_counterspace_capabilities_2022_rev2.pdf (letöltés ideje: 2023. március 25.).
- Smith, Marcia 2022: *U.S.-led ASAT Test Moratorium Gains Ground*. <https://spacepolicyonline.com/news/u-s-led-asat-test-moratorium-gains-ground/> (letöltés ideje: 2023. március 25.).
- Trevithick, Joseph 2019: *The French Have Plans For A Constellation of Laser-Armed Miniature Satellites*. <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29152/the-french-have-plans-for-a-constellation-of-laser-armed-miniature-satellites> (letöltés ideje: 2023. március 25.).
- Wade, Mark 2019a: *V-2*. <http://www.astronautix.com/v/v-2.html> (letöltés ideje: 2023. február 20.).
- Wade, Mark 2019b: *Zenit satellite*. <http://www.astronautix.com/z/zenitsatellite.html> (letöltés ideje: 2023. február 20.).