



VERSENY A MŰHOLDAS PIACON – ZSÚFOLTSÁG, VITÁK ÉS SZŰKÜLŐ ERŐFORRÁSOK

DACZI DIÁNA* , VÁRI PÉTER** , BARTÓKI-GÖNCZY BALÁZS*** 

* PhD hallgató, Nemzeti Közszerzői Egyetem, Közigazgatás-tudományi Doktori Iskola.

E-mail: daczi.diana@nmhh.hu,

** Egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék; főigazgató-helyettes, Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság. E-mail: varip@sze.hu

*** Tanszékvezető, egyetemi docens, Nemzeti Közszerzői Egyetem, Társadalmi Kommunikáció Tanszék, intézetigazgató, Eötvös József Kutatóközpont, Világűrjog és -Politika Kutatóintézet.

E-mail: bartoki-gonczy.balazs@uni-nke.hu

Absztrakt

A műholdas megakonstellációk felbocsátása a műholdas pályák zsúfoltságával kapcsolatos újabb problémát okozott a műholdak megnövekedett száma miatt. Az ENSZ Űrüggyi Hivatala szerint a Szputnyik-1 fellövése óta 17 263 objektumot bocsátottak fel a világűrbe, ebből 11 330 műhold keringett a Föld körül 2023 júniusában, amely 37,94%-os növekedést jelent 2022 januárjához képest. Hozzászoktunk az űrtávközlés újdonosságaihoz, mivel ez a terület folyamatosan fejlődött, azonban a fejlődés üteme mostanra megváltozott: 1957–2020 között mindössze 10 308, az elmúlt 3 évben viszont 6 995 objektumot indítottak útnak, amely az összes objektum 40,29%-át jelenti. Ezen objektumok többsége kommunikációs műhold, amelyeket jellemzően hálózatokban, konstellációkban helyeznek el alacsony Föld körüli pályán (LEO).

Az űrszemét problematikája, az űrforgalom-szabályozás hiánya, azaz a fenntarthatóság kérdése évek óta a tudományos és szakmai viták középpontjában áll, a rádiófrekvenciás zavarásról, azaz az interferenciáról keveset hallunk, miközben e probléma is veszélyezteti az emberi űrtevékenység fenntartható fejlődését. A LEO pályára állított konstellációk – hasonlóan az ismeretebb geostacionárius műhold-konstellációk jellemzőihez – széles lefedettséggel és óriási műholdszámmal rendelkeznek. Ezen konstellációk megjelenése forradalmi változásokat hozott a globális űripar fejlődésében, ugyanakkor a műholdas távközlés globális piaca nem kezelhető a jelenlegi, az 1990-es évek elején meghatározott nemzetközi kereskedelmi együttműködés keretei között.

Kulcsszavak

frekvencia-koordináció, műholdas rendszerek, zsúfoltság, szabályozási kihívás,
Nemzetközi Távközlési Egyesület, megakonstelláció

Abstract

The rise of the mega-constellations has set a new precedent in orbital congestion, simply as a result of the increased number of satellites. According to the United Nations Office for Outer Space Affairs, since the launch of Sputnik-1, 17,263 objects has been launched to space, of which 11,330 satellites are orbiting the Earth in June 2023, that means 37.94% increase since January 2022. We are used to the novelties of space communication, until now had a steady development, but now its pace changed: until 2020 only 10,308 were launched, but in the last 3 years 6,995 objects, which means 40.29% of all objects in this period. Most of these objects are communication satellites, which are deployed in increasingly connected systems in low Earth orbit (LEO).

While the problems of space debris continue and the lack of space traffic regulation, i.e. the question of sustainability, have been at the centre of scientific and professional debates for years, we hear little about radio frequency interference, while this problem also threatens the sustainable development of human space activities. Constellations placed in LEO orbit – similarly to the characteristics of the better-known geostationary satellite constellations – have wide coverage and an enormous amount of satellites. While the appearance of these constellations brought revolutionary changes in the development of the global space industry, the global market of satellite telecommunications cannot be managed within the framework of the current international commercial cooperation defined in the early 1990s.

Keywords

frequency coordination, satellite systems, congestion, regulatory challenge, International Telecommunication Union, megaconstellation

1. Bevezetés

Bár a Föld körüli pályára állított műholdas konstellációk, vagyis a több műholdból álló műholdas rendszerek rohamos fejlődése számos tevékenységhez előnyös, mint például az elektronikus hírközlés, a navigáció, a távérzékelés, azonban ezen konstellációk telepítése nemcsak a korlátozott természeti erőforrást, a rádiófrekvenciát, de a szűkös erőforrásként rendelkezésre álló műholdas pályákat is csökkenti. A konstellációk megfelelő, zavarás- és ütközésmentes telepítése szabályozás és aprólékos tervezés kérdése.

Az interferencia problémája nem csupán a műholdakra jellemző, minden rádiórendszerben jelen van, azonban a műholdak érzékenyebbek a zavarásra. Az elektromágneses mező két „ablakot” biztosít az űrbe vagy az űrből a Földre: az egyik a fény, a másik a rádióhullámok tartománya. A Föld atmoszféráján csak bizonyos hullámhosszúságú rádióhullámok tudnak áthatolni: 5 MHz-től 300 GHz-ig. Ezt a tartományt a légkör víztartalma felülről erősen korlátozza (30–52 GHz), amely azt eredményezi, hogy csak ez a 22 GHz-nyi, meglehetősen szűk sáv szélesség szolgálja az összes műhold és más, ember által alkotott űrobjektum (azaz űrszondák, rakéták) kommunikációját köztünk és a világűr között.

Jelen tanulmány célja, hogy ismertesse egyrészt azon nemzetközi mechanizmusokat, amelyek a műholdas rendszerek egymás melletti létezését biztosítják, másrészt rávilágítani arra,

hogyan az űrtávközlést forradalmasító LEO pályás¹ műholdak pályára állításával milyen műszaki és szabályozási problémák merültek fel eddig. A problémák kezelése túlmutat az 1990-es években kidolgozott, versenyszabályozásra vonatkozó általános elvek és az elektronikus hírközlési speciális szabályok, valamint a Nemzetközi Távközlési Egyesület (International Telecommunication Union – ITU) szabályozási rendszerében megjelenő, a frekvencia- és műholdas pályák ésszerű, hatékony és gazdaságos használatának alapelvei keretrendszerén.

2. A káros zavartatás elkerülésnek nemzetközi jogi környezete

A tanulmány tárgyát képező problematika megértéséhez érdemes röviden összefoglalni azokat a nemzetközi jogban gyökerező eljárásokat, amelyek a különböző műholdas rendszerek „békés”, azaz zavartatásmentes egymás mellett élését szolgálják: az ITU nemzetközi frekvencia-koordinációjának eljárásait.

A frekvenciakoordináció egy olyan eljárás, amelyet az üzemeltetők saját nemzeti igazgatásukon keresztül hajtanak végre az új és a meglévő vezeték nélküli rendszerek, állomások vagy alkalmazások közötti esetleges káros interferencia elkerülése érdekében. Az eljárás minden rádiórendszerre alkalmazható, amennyiben fennáll az országhatárokon túlnyúló hatás lehetősége. A Világűrszerződés² IX. cikke nemzetközi konzultációkat ír elő abban az esetben, ha az állam vagy állampolgárai által tervezett esetleges űrtevékenység vagy kísérlet káros interferenciát okozhat. Meg kell jegyezni, hogy az ITU űreszközökre vonatkozó koordinációs eljárásai megelőzték a Világűrszerződést, mivel ezeket az eljárásokat már 1963-ban bevezették.³

A koordináció célja egyrészt a meglévő rádióállomások vagy -rendszerek, valamint bármely új állomás vagy rendszer hatékony működésének lehetővé tétele, valamint ennek az új állomásnak vagy rendszernek az elismertetése, azaz a jövőben telepítendő állomások vagy rendszerek általi káros interferencia elleni védelme. Az ITU mint az ENSZ szakosított ügynöksége, a tagállamok, valamint az akadémia és a magánszektor képviselőiből áll, így összehangolja a különböző fórumokon megvitatott és elfogadott tanulmányokban és javaslatokban foglaltakat. Az ITU már az emberi űrtevékenység kezdetekor felismerte az űrszektor igényeit, és így 1959-től biztosítja a növekvő űripar spektrumszükségletét.

Az űrtevékenységek közül az űrtávközlés rendelkezik a leginkább kidolgozott és legrészletesebb szabályozással. Az elektronikus hírközlés részeként az űrtávközlést a ITU szabályozza. A szabályozás legfontosabb dokumentuma a Nemzetközi Rádiószabályzat (a továbbiakban: Rádiószabályzat),⁴ amely nemzetközi szerződésként szabályozza – többek között – a rádióspektrum használatát, a rádióspektrumhoz és műholdas pályához mint korlátos erőforrásokhoz való hozzáférési eljárásokat, valamint ezeknek a Nemzetközi Frekvencia Alapnyilvántartásba (Master International Frequency Register – MIFR⁵) történő felvételét. A keretszabályozás célja, hogy meghatározza ezen erőforrásoknak a potenciális felhasználók közötti felosztását, a

¹ A Föld felszínétől 2 000 kilométerig terjedő Föld körüli pályák.

² Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies [1967. évi 41. törvényerejű rendelet]. Online: <https://bit.ly/49jQpLi>

³ Final Acts Of The Extraordinary Radio Conference to Allocate Frequency Bands for Space Radiocommunication Purposes, Geneva, 1963. Annex 5. pp. 87–98.

⁴ ITU Radio Regulations. Online: <https://bit.ly/3vjnZ6b>

⁵ ITU Rules of Procedure. Online: <https://bit.ly/4aop5wN>

felhasználók közötti, a konfliktusok elkerülését szolgáló koordinációs mechanizmusokat, valamint a műholdas pályák védelmét más káros űrtevékenységtől.

A tanulmány tárgya szempontjából fontos tény, hogy a tagállamokat ezekben az eljárásokban az általuk kijelölt közigazgatási szervezet, mint nemzeti igazgatás képviseli. A nemzeti igazgatás lehet minisztérium, kormányzati hivatal vagy nemzeti szabályozó hatóság, amely rendelkezik mindazon hatáskörökkel és eszközökkel, amelyek az ITU dokumentumaiban rögzített kötelezettségek végrehajtásához szükségesek.

A káros zavarás elleni szabályozás ismertetése előtt lényeges kitérni arra, hogy a műholdnak a pályáján elfoglalt pozíciója határozza meg azt a területet, ahol jelei eléri a Földet, és amely befolyásolja a műholdas szolgáltatás technológiai lehetőségeit. A 2000-es évek második feléig a műholdak többnyire geostacionárius pályán, az Egyenlítő síkjában megközelítőleg 35 800 km-es magasságban működtek. Ezen a magasságon minden műhold 24 óránként egyszer megfordul a Föld tengelye körül, ennek köszönhetően a műhold a Földről, egy bizonyos pontból megfigyelve mozdulatlanak tűnik. A geostacionárius pálya továbbra is a legszűkebb pályae erőforrás.

A 2000-es évektől a technológiai fejlődés egy új korszakot nyitott az űripar számára, amelynek következtében a műholdakat alacsony Föld körüli pályára állíthatták, immár alapvetően kereskedelmi szolgáltatási céllal. Ez a LEO pálya – amely jellemzően 500–2000 km magasságban van a Földtől – alacsony késleltetést biztosít a geostacionárius műholdaknál kisebb méretű kommunikációs műholdak számára. Erről a pályáról azonban az egyes műholdak által biztosított lefedettség korlátozott, figyelemmel arra, hogy a Föld forgási sebességénél gyorsabban keringenek a LEO pályán a műholdak, ezért több tíz, vagy akár ezer műholdból álló hálózatra vagy „megakonstellációra” van szükség a szolgáltatás folyamatos biztosításához, különösen akkor, ha a szolgáltató egész kontinenseket, akár az egész bolygót le akarja fedni a szolgáltatásával.

A műholdak pályára állítása a szűkös erőforrás műholdas pálya korlátozását jelenti, hiszen az ITU szabályzatában meghatározott intézményi keretek között van lehetőség a műholdas pályák és a hozzájuk tartozó frekvenciák használati jogának megszerzésére – kizárólag a kérelmező állam javára. Az állam ezt a használati jogot saját nemzeti szabályai szerinti engedélyezési eljárással ruházhatja át egy köz- vagy magánjogi személyre. Ezen engedély jelenti az alapfeltételét annak, hogy e jogi személy űrtevékenységet végezzen, amelyet – a fentiekén túl – az illetékes államnak engedélyeznie és folyamatosan felügyelnie is kell a Világűrszerződés VI. cikke alapján (Bartóki-Gönczy, 2020).

Az űrtevékenység végzője tehát nem szerez tulajdonjogot sem a pályapozíció, sem a rádiófrekvencia felett, mindösszesen időben korlátozott használati jogot kap, amely általában egybeesik a műhold tervezett időtartamával. E használati jogot az eljárást megindító állam kapja meg, amelyet az állam frekvenciagazdálkodásért felelős szervezete engedélyez a nála koordinációs eljárást indító, az űrtevékenységet ténylegesen végző személynek. A koordinációs eljárást az ITU az érintett országok hírközlési igazgatásaival közösen folytatja le.

Mint korábban említettük, a frekvencia és a műholdas pályák értékes, szűkös és korlátos természeti erőforrások, ezért két fő mechanizmust fejlesztettek ki és vezettek be ezen erőforrások megosztására: (i) *a priori* tervezési eljárások és (ii) érkezési sorrendet figyelembe vevő (First come first served) koordinációs eljárások.

Az *a priori* tervekben szereplő műholdrendszerek az egyes országokhoz hozzárendelt geostacionárius pályán lévő pozíciók és megfelelő frekvenciák, amelyek csak az adott állam használatában lehetnek és ezek az államok saját belátásuk szerint állíthatnak műholdat az adott pozícióba, akár saját (nemzeti), vagy más országban bejegyzett üzemeltetővel. Az *a priori*,

azaz a BSS (Broadcast Satellite)⁶ és FSS (Fixed Satellite)⁷ terveket azért hozták létre, hogy a geostacionárius műholdpozíciók minden állam számára elérhetőek legyenek nemzetközi világűrjog alapelveit figyelembe véve (Sulyok, 2022). A műholdak kereskedelmi felhasználásának első módja a műsorszórás, amelyet a BSS rendszerek valósítottak meg, ezeket követték az állandóhelyű, azaz FSS rendszerek (pl. telefon, adattovábbítás). Ezen tervek minden országnak lehetőséget biztosítanak egy adott frekvenciatartományban, hogy a jövőben az adott országot lefedő műholdas szolgáltatást valósítsanak meg anélkül, hogy ehhez más országok hozzájárulását kellene kérniük. A tervezett frekvenciasávok tehát azok, ahol az országok saját műholdakat valósíthatnak meg. Ezek a tervek azonban a geostacionárius pályára fókuszálnak, mivel az 1980-as években készültek és az akkori technológián alapulnak.

A többi műholdpályát – orbitális pozíciókat vagy pályasíkokat – koordinációs eljárás eredményeként osztják ki, ahol a később érkezőknek figyelembe kell venniük a korábban már bejegyzett műholdas hálózatok paramétereit. A koordinációs eljárás egy kötelező egyeztetési eljárás a nemzeti igazgatások között az ITU közreműködésével. A cél a pálya- és frekvenciaerőforrás hatékony használata egy olyan ellenőrzött interferencia-környezeten keresztül, amelyben a műholdas hálózatok képesek megfelelően működni és megfelelni a követelményeknek.

Bár a műholdak frekvenciasávjait globálisan osztják fel, az ITU három régiójában eltérések lehetnek. A Rádiószabályzat IV. cikkének 5. szakasza tartalmazza a frekvenciafelosztási táblázatot, amely minden frekvenciasávra meghatározza, hogy mely rádiótávközlési szolgáltatásokat milyen célra osztják fel mindhárom ITU régióban.⁸ Az ITU-tagországok saját frekvenciafelosztási táblázatai eltérhetnek a Nemzetközi Rádiószabályzat táblázatában szereplőktől, de ezzel nem okozhatnak káros zavarást egy másik ITU-tagállamnak, amely a Rádiószabályzat szerinti felosztást alkalmazza.

A Rádiószabályzat meghatározza az egyes frekvenciasávok használatát, amelyek így nemzetközi elismerésben részesülnek. Az egyes frekvenciasávokon belül a rádiótávközlési szolgáltatásokat globálisan vagy regionálisan „elsődleges” és „másodlagos” jelleggel osztják fel. Értelemszerűen a másodlagos szolgálat állomásai nem okozhatnak káros zavarást az elsődleges szolgálat meglévő vagy jövőbeni állomásai számára, és nem igényelhetnek védelmet az ezen állomások által okozott káros zavarás ellen.⁹

A Rádiószabályzat meghatározza azokat az eljárásokat, amelyekkel a műholdas hálózatok frekvenciakijelöléseit be lehet jegyeztetni a rádiórendszer nemzetközi elismerésének megszerzése érdekében a nemzeti igazgatások által az ITU-hoz benyújtott bejelentések alapján. Ezeken az eljárásokon keresztül az ITU valamennyi nemzeti igazgatása tájékoztatást kap a frekvenciakijelölések használatáról, és arról, hogy a frekvenciakijelöléseket figyelembe veszik a rádiórendszerek jövőbeni tervezése során nemzeti, regionális vagy nemzetközi szinten. Fontos, hogy amikor az ITU bejegyzzi az MIFR-be a rádiórendszer frekvenciakijelölését az állomás pozíciójával együtt – legyen az földi vagy műholdas/űrállomás –, és tájékoztatást nyújt a szolgáltatási terület által érintett igazgatásoknak a műholdas rendszerről, rádiórendszer a későbbi bejelentésekkel szemben előnyt élvez.

⁶ ITU Radio Regulations AP 30.

⁷ ITU Radio Regulations AP 30B.

⁸ A rádiófrekvencia-felosztás céljából a Rádiószabályzat 5.2. pontja három régióra osztja a világot: I. régió: Európa, Afrika és Oroszország; a II. Régió: Amerika; a III. Régió: Irán, Pakisztán, India, Kína és Kelet-Ázsia, Ausztrália, Új-Zéland és a Csendes-óceáni szigetek az Egyenlítőtől délre.

⁹ Rádiószabályzat 5.30. cikk.

Fontos megjegyezni azt is, hogy az ITU nem frekvenciahasználati jogot ad, hanem az interferencia elkerülése érdekében bejegyzi a kijelölt frekvenciákat és a hozzájuk tartozó műholdpályákat. A frekvenciahasználat engedélyezése és az üzemeltető felügyelete a tagállami hatóságok, többnyire a nemzeti igazgatás feladata.

A nemzeti hatóságok hatáskörei eltérőek lehetnek, de abban egységesek, hogy technikai szempontok alapján szabályozzák a frekvenciahasználati jog odaítélésének módját, amely az egyedi engedélytől a versenyeztetésig (pályázat vagy koncesszió) terjedhet (Nodicity, 2010). Az államok saját jogrendszerüknek megfelelő eszközökkel rendelkeznek a jellemzően állami tulajdont (esetenként a király vagy a királynő tulajdonát) képező frekvenciát illetően, és a műholdpályákkal is hasonló elv szerint gazdálkodnak, a használat során elsőbbséget élvez a felhasználókkal való folyamatos együttműködés. A legtöbb ürtevékenységet folytató ország az érkezési sorrendet követve egyedi engedélyezést végez, például az Egyesült Államok, az Egyesült Királyság, Luxemburg vagy Franciaország, míg Brazília és Mexikó pályázattal ítéli oda az engedélyeket.

3. A megakonstellációk hírközlési problémái

3.1. Zavartatás, a tömeges bejelentések, rádiócsillagászat

A jelenlegi műholdrendszerek lehetséges problémáinak egyik fő forrása az, hogy a LEO-konstellációk által használni kívánt rádióspektrumot a meglévő geostacionárius (GEO) műholdak már használják. Következésképpen lehetséges az a helyzet, hogy a konstellációk műholdjai alacsony Föld körüli pályán (LEO) keringenek a Föld körül, áthaladnak egy GEO műhold nyálában, az átvitel ugyanazon a frekvencián történik, és zavart okoz az alatta lévő földi felhasználóknak. A Föld alakját tekintve ez csak akkor jelent problémát, ha a LEO műholdak viszonylag közel vannak az Egyenlítőhöz. Figyelemmel arra, hogy a LEO műholdak keringésenként kétszer is keresztezik az Egyenlítőt, és – a főként a magasságtól függő – keringési periódus 90 és 120 perc között változik (Eves, 2021), ez egy valós probléma. Ráadásul a LEO – és a szintén közepesen magas Föld körüli pályán (MEO)¹⁰ keringő – konstellációk többsége 3–5 műholdból áll, amelyek ugyanazt a pályasíkot használják, így az esetleges zavar gyakrabban fordulhat elő.

A meglévő GEO-rendszerek jelenléte azonban nem a viták egyetlen lehetséges forrása. A megakonstellációs műholdas rendszerek számának növekedésével egyre nagyobb a valószínűsége annak, hogy ezen műholdak egymást is zavarják. Meglehetősen egyértelmű az a tény, hogy még a LEO pályán lévő műholdból sem szükséges több száz vagy akár több ezer pusztán ahhoz, hogy a felhasználók részére a Földre rálátást biztosítsanak. A megakonstellációk méretének oka, hogy a műholdakat csak egy viszonylag kis területen való szolgáltatásnyújtásra tervezték, amely közvetlenül a műhold alatti földi ellátási területen valósul csak meg. Ezen műholdas szolgáltatási területek (lábnymok) méretei meghatározzák azt a szögtartományt is, amelyen belül a felhasználói termináloknak működniük kell, hogy fenntartsák a kapcsolatot a konstellációval. Az alábbi táblázat a legnagyobb – működő vagy bejelentett – műhold-konstellációkat mutatja a magassággal és a használt frekvenciasávval.

¹⁰ A Föld felszínétől 2000-36000 kilométer távolságra, többségük 20 000 km magasságban üzemel.

Név	Műholdak száma Jelenleg üzemelő/ Tervezett	Pályamagasság	Sáv
Starlink ¹¹	5399/42 000	340, 550–570 km	Ku, Ka, E
OneWeb ¹²	636/648	1200 km	Ku
Telesat Canada ¹³	3/198	1000 km	Ka
Swarm ¹⁴	189/150	500–550 km	VHF, UHF
Kuiper ¹⁵	2/3 236	590–630 km	Ka
Guowang (Kína) ¹⁶	0/12 992	150–300 km ¹⁷	Q, V, Ka
Cinnamon (Ruanda) ¹⁸	0/337 320	500–700 km	Ku, Ka

Ezen konstellációk műholdjainak hatalmas száma komoly biztonsági és hosszú távú fenntarthatósági kihívásokat jelent az alacsony Föld körüli pálya használatában. Az ITU adatbázisa szerint 2017. január 1. és 2022. december 31. között több mint 300 konstellációt regisztráltak, amelyek együtt több mint egymillió műholdból állnak. A 300 konstelláció közül több mint 90 konstelláció 1000-nél több műholdat foglal magában, a legnagyobb bejelentés a Cinnamon-937 műholdas rendszeré, amely 337 320 műholdat tartalmaz (Falle et al., 2023). A LEO pályán kialakuló torlódások a különböző rendszerek műholdjainak esetleges ütközéséhez vezethetnek, amely nemcsak az űrszemét jelentős növekedését okozhatja, hanem a kommunikáció megszüntetéséhez is vezethet. Mivel az aktív műholdak körülbelül 89%-a a LEO pályán található (Union of Concerned Scientists, 2023), és a legtöbb 1000 km-nél alacsonyabb pályán működik, az ütközés valószínűsége egyre nagyobb. Ez természetesen felveti nem csupán a zavartatás kockázatát, hanem az ütközésekből származó űrszemét keletkezésének problematikáját is, mely téma azonban meghaladja jelen tanulmány kereteit, azzal részletesen nem foglalkozunk.

Feltételezhető azonban, hogy ezek a konstellációk nem, vagy legalábbis nem a bejelentett tervek szerint valósulnak meg. Ezen feltevés alapját a korábban is létező papírműholdak jelensége mellett a fejlesztési és tervezési akadályok, valamint az állami támogatás hiánya képezik. Az ITU-hoz benyújtott bejelentések jelenthetik a gazdasági társaságok vagy kormányok megfontolt lépéseit is, pusztán befektetők vonzására vagy műholdas jogok eladására, vagy egyszerűen a spektrum raktározásra, hogy azt később felhasználhassák, ha megnő a vásárlói igény. A tömeges bejelentések csak az egyik probléma, amellyel az ITU és az igazgatások szembesül-

¹¹ Krebs, G. D. *Starlink Block v2-Mini*. Gunter's Space Page. Online: <https://bit.ly/3TOTWfY>

¹² Krebs, G. D. *OneWeb 1, ..., 900*. Gunter's Space Page. Online: <https://bit.ly/4a73rNm>

¹³ NewSpace Index. *Telesat (Lightspeed)*. Online: <https://bit.ly/4awvbuJ>

¹⁴ NewSpace Index. *Swarm Technologies*. Online: <https://bit.ly/3vrITzS>

¹⁵ Krebs, G. D. *KuiperSat P1, P2*. Gunter's Space Page. Online: <https://bit.ly/3TRB3Ji>

¹⁶ Krebs, G. D. *Hongyan 1*. Gunter's Space Page. Online: <https://bit.ly/3xix3bM>

¹⁷ Ezen műholdas rendszer működése már a „Very Low Earth Orbit - VLEO” pályán tervezett. A VLEO a Föld felszínétől 100-450 közötti Föld körüli pályák.

¹⁸ RSA (2021).

nek, a másik a spektrum „raktározása”. Az űripar már kidolgozott gyakorlatot a spektrum „raktározására” oly módon, hogy az adott műholdas konstellációt több igazgatás és több bejelentés között osztja fel. Például a SpaceX Starlink Gen2 konstellációját körülbelül 22 bejelentésben nyújtotta be három hatóság – Norvégia, Németország, az Egyesült Államok – és ehhez nemrég csatlakozott Tonga (Wright & Falle, 2023).

Tekintettel arra, hogy az államok belső joga a hatósági eljárások vonatkozásában nincs harmonizálva, így megfigyelhető a szolgáltatókért folytatott verseny, amely gyakran tehermentesebb szabályozási környezetben ölt testet. A tengerjogból is ismert kényelmi zászló (flag-of-convenience) elv ugyanis itt is alkalmazható, azaz a kereskedelmi ürtevékenységet végző vállalatok szabadon választhatják meg azt az államot, amely előtt kezdeményezik a koordinációs eljárást. A kisebb, az űriparban még járatlan államok számára ugyanakkor lehetőséget jelent, ha fejlettebb államok vállalatait „magukhoz vonzzák”.

A valós háttér nélküli, spekulatív bejelentések visszaszorítása céljából az ITU már korábban is fogadott el szabályokat. 1997-ben előírásra került, hogy a bejelentő igazgatásoknak többek között olyan információkat is be kell nyújtaniuk az ITU-nak, mint az űreszköz gyártója és felbocsátási szolgáltatója.¹⁹ 2019-ben került elfogadásra a már kifejezetten a megakonstellációkra vonatkozó, ún. „mértékadó alapú” megközelítés, amely szerint az üzemeltetőknek az első bejelentést követően két éven belül konstellációjuk 10%-át, öt éven belül 50%-át és hét éven belül 100%-át fel kell bocsátaniuk. Ha nem tudnak elegendő műholdat felbocsátani e határidők előtt, vagy nem fejezik be a konstellációt hét éven belül, akkor az ITU a telepített műholdak számával arányosan csökkenti a konstelláció műholdjainak számát.²⁰

A megakonstellációknak a rádiócsillagászatra gyakorolt hatása a tudományos szektort is erősen érinti. A rádiószabályozás hatálya alá tartozó, passzív antennaként működő rádióteleszkópok védelmére különféle eszközöket alkalmaznak. Az ITU 2019-ben megtartott rádiótáv-
közlési világszabványtervezési határozatot fogadtak el, amely szerint a megakonstellációs műholdakat olyan szűrőkkel kell felszerelni, amelyek kifejezetten a 10,6 és 10,7 GHz között működő rádióteleszkópok védelmét szolgálják.²¹ Kétségtelenül reményt keltő, hogy a műholdakról érkező aktív adásokat ily módon kezelni lehet, de sokkal vitatottabb kérdés, hogy a Föld körüli pályán megnövekedett mennyiségű megakonstellációs eszköz szándékolatlanul is interferenciát okoz-e majd pusztán a pályára állításuk által. Az ausztrál Murchison rádióteleszkóp által végzett kísérlet bebizonyította, hogy a földi rádiójelek (beleértve az FM rádióállomásokat is) érzékelhetők a LEO pályán lévő űreszközökről való visszaverődés következtében (Tingay et al., 2020). Igaz, az ausztrál kísérlet célja a Nemzetközi Űrállomás (ISS) volt, amely messze a legnagyobb ember alkotta objektum az űrben, de a kísérlet eredményei így is jelentősek, hiszen bizonyították, hogy nemcsak a műholdas rendszerek okozhatnak egymásnak zavart, hanem a földi rendszerek által kibocsátott jelek is okozhatnak zavart a műholdaknak. Az ISS másik anomália során is a köztudatba került: 2023 márciusában egy argentin taxis zavarta meg a Földdel való kommunikációt (Martinage, 2023). Ez felvet egy további kérdést, nevezetesen, van-e egyáltalán olyan hely a Földön, ahol rádiócsend van még?

A rádiófrekvencia tartományának lehetséges problémái mellett a megakonstellációk optikai hullámhosszokon is problémákat okoznak. Az egyik olyan probléma, amely széles szakmai érdeklődést keltett, az a tény, hogy a Starlink műholdjai „csillagászati megfigyelések során

¹⁹ ITU RR RES 49. Online: <https://bit.ly/496qoPr>

²⁰ ITU RES 739 (Rev. WRC19). Online: <https://bit.ly/4czswSs>

²¹ ITU RES 740 (Rev. WRC-15). Online: <https://bit.ly/43AEKXd>

nemlétező műtárgyakat hoznak létre” (Rawls, 2023). Ezen problémának a megoldására törekednek azzal, hogy kísérleteket végeznek az antennák visszaverő képességének csökkentésére, napellenzőket szereltek fel a műholdak nagymértékben visszaverő komponensei árnyékolására, és megváltoztatták a műholdak helyzetét a küldetés pályára állítási szakaszában. Paradox módon az egyik leghatékonyabb intézkedés a pályamagasság csökkentése, mivel ez lerövidíti azt az időt, amelyet a műholdak szürkületben töltenek (ahol a Föld sötétben van, de a műholdakat még megvilágítja a Nap). Hasonló probléma merül fel a Föld-közeli objektumok keresésénél is, mivel a megakonstellációk hatékonyabb keresést tesznek lehetővé ezeknél a célpontoknál.

Egy másik komoly aggodalomra ad okot a megakonstellációk hatása a globális űrtevékenységekre. Mivel a LEO pályán elhelyezett megakonstellációk nagy sűrűségű „hálót” alkotnak a Föld-közeli űrben, amely szorosan, több rétegben veszi körbe a Földet, így ez a pálya még zsúfoltabbá válik. Mivel a LEO műholdak száma drámaian megnőtt, ez nagyobb ütközési kockázatot jelent, lényegesen csökkentve a biztonságos felbocsátásra rendelkezésre álló ablakokat. A lehetséges ütközések katasztrofális következményekkel járhatnak, amely a Föld-közeli űr, mint tér összeomlásához vezethet.

3.2. A LEO-pályás rendszerek dilemmája

Felmerül a kérdés, hogy miért olyan fontos a LEO pálya, miért választja ezt a pályát annyi új műhold üzemeltető? A válasz a műholdas hálózatok hatékonyságában rejlik, amely miatt ezek a pályák olyan értékesek. Mivel a műholdas hálózat teljesítménye attól függ, hogy a műhold milyen pályán van, a Földtől való távolság nagymértékben befolyásolja a műhold képességeit. Bár a LEO pályán lévő műholdas hálózatoknak igénylik a legtöbb műholdat a konstelláció kiépítéséhez, és az egyetlen műhold által lefedett terület viszonylag kicsi, a rendszer azonban nagyon alacsony késleltetést biztosít (~50 m/s), szemben a GEO-val (~700 m/s) vagy a MEO-val (~150 m/s). A LEO-pályás műholdas hálózatok lefedettséget biztosítanak a sarki területeken is, amelyekre a GEO-pályás műholdaknak korlátozottan vagy egyáltalán nincsen rálátása.²²

A műholdas pálya távolsága meghatározza a műhold egyik legfontosabb tényezőjét is: a felbocsátás költségét. A GEO-pályás műholdak esetében a felbocsátás a műhold összköltségének több mint egyharmadát teszi ki, míg a LEO-pályás műholdak kisebbek, könnyebbek és így műholdanként kedvezőbb a felbocsátási költség. Hosszabb távon ez nem biztos, hogy az egész konstellációra igaz, ahol több száz vagy akár több ezer műhold is lehet a folyamatos szolgáltatás biztosítása érdekében. Mivel a LEO-pályás műholdak működési élettartama rövidebb (három-öt év), mint a GEO-pályás műholdaké ezért gyakoribb cserére is van szükségük, és bonyolultabb nyomkövető és vezérlőrendszereket is igényelnek, összességében e konstellációk előnyei kevésbé tűnhetnek vonzónak. Egy 20 éves aktív üzemidővel rendelkező GEO-pályás műholdhoz képest a LEO-pályás műholdas rendszer telepítési költsége lényegesen magasabb, csaknem tízszeres lehet.

Ami a frekvenciasávokat illeti, a LEO-pályás műholdas rendszerek nagy része a Ka- (12–18 GHz), a K- (18–26,5 GHz) és Ku-sávot (26,5–40 GHz) használja, mivel ezek a sávok jelenleg a legfejlettebb technológiát képviselik. A nagyon alacsony késleltetés a LEO konstellációk egyedi jellemzői, amelyek támogatják a valós idejű kommunikációt, nemcsak a hang- és adat-szolgáltatásokban, hanem a távoli vagy vidéki területeken a szélessávú internet-hozzáféréshez is, vagyis globális lefedettséget kínálnak.

²² Regulation of NGSO Satellite Constellations 2.5. Online: <https://bit.ly/3IVfnpw>

A Föld-megfigyelő alkalmazások számára az adatok a legfontosabbak, amelyek szintén a LEO pályán működő műholdaktól származnak. Ezen műholdak által szolgáltatott nagy felbontású képek és részletes adatok felbecsülhetetlen értékűek az időjárás előrejelzése és az éghajlatváltozás, valamint a katasztrófaelhárítás, de a kármentesítés szempontjából is. A LEO-pályás műholdak ezen képességei felbecsülhetetlen értéket jelentenek a műholdas navigációval és helymeghatározással együtt a katonai megfigyelésben és a felderítésben, de a mezőgazdaságban, az erdőgazdálkodásban is segítséget nyújtanak.

3.3. Az üzemeltetők gazdasági szempontjai

Az űrtechnológiák folyamatos fejlődése lehetővé tette az űrtávközlés megjelenését, és az 1980-as évek végére az első magánműhold-üzemeltetők, köztük a PanAmSat és a SES, már felvették a versenyt a kormányközi szervezetek formájában működő szolgáltatókkal. A hírközlési piac liberalizációja az 1990-es évek végére a legtöbb kormányközi műholdas szervezet privatizációjához vezetett, amely a világűr kereskedelmi hasznosításának kezdetét jelentette.

Ez azonban nem eredményezte azt, hogy megszűnt volna az állam szerepe a űr felhasználásában, a súlypont azonban többnyire eltolódott: míg korábban az állami szereplők határozták meg az űrkutatás és -felhasználás irányát és módját, addig a 90-es évektől erős állami ellenőrzés mellett a kereskedelmi felhasználás a világ nagy részén szabaddá vált, amely a globális szolgáltatók megjelenéséhez vezetett, azonban az űrkutatás egyes területei, illetve egyes – inkább nem polgári – felhasználások továbbra is az államok kezében maradtak.

Az állami szerepvállalás háttérbe kerülésének következményei igen súlyosak lehetnek az állam szuverenitásra nézve. Egyrészt a megszerzett technológiai tudás monopolhelyzetbe hoz egy-egy céget vagy cégcsoportot, és ezzel a védelmi beruházások teljesen kiszolgáltatottá válnak ezen cégeknek. A mesterséges intelligencia előretörése mutatja, hogy a tőkeerős fejlesztővállalatok már most meghatározzák a piac alakulását, termékeik és fejlesztéseik árára és terjesztésére egyetlen állam sincs befolyással, az állami megrendelők pedig kiszolgáltatott helyzetbe kerülnek. Másrészt a vállalatok alapérdeke a profitmaximalizálás, nem a lojalitás, tehát könnyen előfordulhat, hogy ugyanaz a haditechnika áll az ellenfelek rendelkezésére. A harmadik, utolsóként említendő következmény a globális piacot uraló multinacionális vállalatok jelenléte. Méretük és befolyásuk nagyobb, mint egy-egy kis vagy közepes méretű ország képességei, és érdekeiket is hatékonyabban képviselik. Jelenleg a multinacionális vállalatok érdekeiket inkább egyes országokon keresztül érvényesítik, de várhatóan ezen vállalatok ráébrednek a pénzügyi képességeikkel összefüggő politikai befolyásukban rejlő lehetőségekre, és csak az időpont kérdéses, hogy mikor lépnek fel érdekeik nyílt érvényesítésének igényével.

Tovább árnyalja a helyzetet az, hogy a multinacionális vállalatok a *forum shopping* gyakorlatát alkalmazva olyan államok területére települnek, amely államokban a piacra lépés kiszámítható feltételekhez kötött, a befektetésük kockázata nem túl nagy, és az adott állam szabályozással sem von el túl sok jövedelmet. A műholdas szektorban az 1990-es évek távközlési liberalizációját követően ez a folyamat csak felgyorsult.

Ugyan a multinacionális vállalatok nem teljesen globálisak és nem is értelmezhetők a székhelyországuk nélkül, mindemellett jelentős erőt képviselhetnek az adott országon belül. A multinacionális vállalatok tevékenységét a székhelyállam szerinti belső jogi normák határozzák meg, ugyanakkor méretük és tevékenységük miatt gyakorlatban nem lehetséges a gyors helyzetváltoztatás, azaz a székhelyállam megváltoztatása. Már a méretükből is adódóan a multinacionális vállalatok nyilvánvaló pénzügyi, gazdasági és akár politikai befolyással rendelkeznek azon államokra, amelyben a székhelyük van vagy akár leányvállalataik, kirendeltségeik működ-

nek. Ez feltételezi, hogy a székhelyállam beleegyezése előzte meg a multinacionális vállalatnak az adott államba települését, illetve a multinacionális vállalat az adott állam felségjogát ismeri el maga felett. Ez nem abszolút kontrollt jelent a multinacionális vállalat teljes tevékenysége felett, inkább egyes, csak az adott államhoz köthető tevékenységek feletti kontroll lehetséges.

Mindazonáltal az államok a szuverenitásuk megőrzése és a biztonságpolitikai céljaik érvényesítése érdekében olyan politikát folytatnak és fognak is folytatni, amely a multinacionális vállalatok igényeit is kielégíti, ha azok számukra fontos termékekkel és szolgáltatásokkal bírnak. Az űrverseny kapcsán megállapítható, hogy a műholdas szektorban leginkább olyan multinacionális vállalatok léteznek, amelyek szinte alapításuk óta valamely állam biztonságpolitikai érdekeit szolgálják és az e feletti kapacitásaikat értékesítik a globális piacon. Mivel az űrversenyben nincsenek kötelező érvényű működési normák, az űrverseny a technológia gyors fejlődésének is köszönhetően fokozódik. A világűr meghódításában és használatában részt vevő államok pedig a szuverenitásuk védelmében az ősi és mindent felülíró államérdek (*raison d'état*) szerint cselekszenek.

4. Szabályozási kihívások

A távközlési szektor legfiatalabb részén, a műholdas kommunikáció területén tehát létrejött már a globális piac, amelyen a technológiához való hozzáférés, a fejlesztések és az innováció jelentősen befolyásolja a versenyt.

A műholdas távközlés globális piaca nem kezelhető a jelenleg hatályos, az 1990-es évek elején meghatározott nemzetközi kereskedelmi együttműködés keretei között. A versenyszabályozásra vonatkozó általános elvek és az elektronikus hírközlésre kidolgozott speciális szabályok, valamint az ITU rendszerében megjelenő frekvencia- és műholdas pályák ésszerű, hatékony és gazdaságos használatának alapelve határozza meg azokat a kereteket, amelyeket a szabályozásban is követni kell. Az űrtávközlés terén azonban ez nem lehetséges megfelelő hatáskörrel rendelkező nemzetközi szervezet nélkül.

A műholdas kommunikáció olyan nemzetközi piacon működik, amelynek célja, hogy a végfelhasználók számára alacsony költségű, egységesített kommunikációs lehetőséget biztosítson, amely képes egy régiót vagy akár az egész Földet lefedni. A földi hálózatokkal ellentétben a műholdak szinte mindenhol szolgáltatást tudnak nyújtani: városi és vidéki, zsúfolt vagy ritkán lakott területeken egyaránt.

Számos, az engedélyező állam vagy az ügyfelek érdekeit garantáló és védő funkció a globális szolgáltatók esetében nehezen vagy egyáltalán nem valósítható meg. Az engedélyező államnak ugyan területi hozzájárulást kell kérnie az ellátási területtel érintett államtól a frekvenciakoordináció során, ez nem jelenti azonban azt, hogy a műholdas szolgáltatás a hozzájáruló államban ténylegesen elérhető lesz. Az EU területén az elektronikus hírközlési szolgáltatások nyújtása bejelentéshez kötött, ehhez számos fogyasztóvédelmi és adatvédelmi szabály kapcsolódik. Bejelentés hiányában az ellátási területtel érintett állam szolgáltatást felügyelő hatósága nem tudja érvényesíteni a saját állampolgárai védelmére megállapított rendelkezéseket, még akkor sem, ha tudomással bír arról, hogy globális szolgáltatás elérhető az államban, a nemzeti szabályok érvényesítéséhez a szolgáltató magas szintű együttműködése szükséges.

Az egységesség jelenti a legfőbb szabályozási kihívást is, hiszen a műholdas szolgáltatóknak egységes szabályokat kell alkalmazniuk a műhold által lefedett területen, de a szolgáltatások az egyes államok által kiadott engedélyeken és az azokban biztosított frekvencián alapulnak. Bár regionális szabályozási fórumok léteznek, mint a Postai és Távközlési Igazgatások Európai

Konferenciája (CEPT), amely a harmonizált politikák, stratégiák és szabványok előmozdítását segíti, vagy az Amerika-közi Távközlési Bizottság (CITEL), amely keretszabályozást javasol bizonyos technológiákra, ezen eszközök végrehajtása még mindig e regionális szervezetek tag-államainak kezében van.

Közismert, hogy a műholdas ipar az egyik legdinamikusabban fejlődő, innovatív technológiát és új szolgáltatásokat nyújtó ágazat manapság, azonban a piacra jutást a szabályozási környezet befolyásolja. Mivel az államok maguk állapíthatják meg a nemzeti frekvenciahasználati szabályaikat, emellett kötelesek a spektrumot ésszerűen, gazdaságosan és méltányosan²³ kezelni, nemzeti érdekeiket szolgálva számos intézkedéssel.

A meglévő engedélyezési folyamatokat hagyományos műholdas szolgáltatásokra tervezték, amelyek kevésbé alkalmasak az innovatív szolgáltatások rövid időn belüli bevezetésére. Ahogy korábban említettük, a frekvenciafelosztási folyamatok nem globálisan harmonizáltak, így egy új, globálisan elérhető műholdas rendszer kiépítését megnehezítik az eltérő regionális szabályozások. A spektrumhasználat hatékony kezelése a zavarás elkerülése mellett szintén kulcsfontosságú, nemcsak a műholdas hálózatok között, hanem a műhold és a földi hálózatok között is, mivel alacsonyabb frekvenciákon a használat átfedheti egymást.

5. Jövőbeli trendek

A feltörekvő technológiák és trendek egyértelműen meghatározzák a globális kommunikáció jövőjét, és ez különösen igaz a műholdas szektorra. Ahogy az 5G, AI, kvantumtechnológiák átformálták a kommunikációt, valósággá vált a földi és a műholdas hálózatok közötti zökkenőmentes integráció. Az integrált hibrid rendszerek mindkét rendszer előnyeit hordozzák: nagy kapacitást és alacsony késleltetést a földi rendszer oldaláról, míg a műholdas rendszer a globális lefedettséget kínálja. Ez a technológiai változás átalakítja a mai földi kommunikációs hálózatokat.

A *multi-orbit* (több műholdas pályán) keringő műholdakkal és földi hálózatokkal megvalósuló komplex hírközlési rendszerek szinergiája biztosíthatja a megváltozott fogyasztói szokások kielégítését, amelyek a folyamatos online jelenlét és *on-demand* igény erősödésével a távközlési ipar szektorainak konvergenciája irányába hatnak.

A *multi-orbit* műholdas rendszerek megváltoztatják a globális műholdas piacot, mivel a GEO-pályán lévő műholdas szolgáltatók a MEO- vagy LEO-szolgáltatókkal együttműködve kínálnak változatosabb szolgáltatásokat. A többféle pálya használata lehetővé teszi az üzemeltetők számára, hogy a különböző hálózataik teljesítményét optimalizálják. Mivel a GEO-pályán lévő műholdak nagy kapacitást, a MEO- és LEO-pályán lévő műholdak pedig alacsony késleltetést és globális lefedettséget biztosítanak, ily módon lehetséges az ügyfelek legfontosabb igényeit – a megbízható szolgáltatást, a költséghatékonyságot és a nagy sebességet – a legjobban kielégíteni. A globális piacon megvalósuló összeolvadások és együttműködések azt mutatják, hogy a hagyományos szolgáltatók *multi-orbit* műholdas rendszerek kiépítése mellett döntenek, akár saját konstellációjuk kiépítésével (például Telesat²⁴ vagy SES²⁵), míg mások

²³ ITU Alapokmány 44.2 Cikk (196). Online: <https://bit.ly/4awwGsr>

²⁴ Dalvi (2023).

²⁵ Digital Ship (2023).

kapacitások egyesítését (például az Eutelsat-OneWeb²⁶ vagy a Viasat-Inmarsat²⁷) választják. A műholdas szolgáltatók összeolvadásán vagy együttműködésén túl megjelennek a műholdas piacon a hagyományos földi rendszereket üzemeltető távközlési cégek (Wood, 2023), hogy műholdas hálózatokat alkalmazzanak rendszereik kiegészítéseként, hiszen az üvegszál technológia a sűrűn lakott területeken – ahol a műholdas szolgáltatások kapacitása és lefedettsége nem elégséges – széles körben elérhető, a legtöbb vidéki vagy erősen szegmentált terület számára viszont nem elérhető az optika.

A műholdas szolgáltatók összeolvadása összetett folyamat, amely különféle jogi, szabályozási, pénzügyi és üzemeltetési megfontolásokat foglal magában. A hírközlési ágazatban általánosan, a műholdas szektorban különösen igaz, hogy az összeolvadásokhoz szükség van az illetékes hatóságok jóváhagyására annak biztosítására, hogy az összeolvadás ne eredményezzen versenyellenes magatartást, továbbá megfeleljen a nemzeti és nemzetközi előírásoknak. A hatóságok vizsgálhatják az összeolvadás hatását a piaci versenyre, az árakra és az iparág általános működésére. Ha a műholdas szolgáltatások kritikusak a nemzeti infrastruktúra vagy a honvédelem szempontjából, a nemzeti hatóságok a jóváhagyás megadása előtt vizsgálhatják a nemzetbiztonságra gyakorolt lehetséges hatásokat is.

Az összeolvadások és egyesülések gyakran magukkal hozzák az üzemeltetés egyszerűsítését, a redundanciák megszüntetését és a vállalat hatékonyságának általános javítását, amely tevékenyebb és költséghatékonyabb szervezetet eredményezhet, és ezáltal a szervezet hatékonyabban lesz képes reagálni a piaci változásokra is. Mivel az ily módon egyesült vállalatoknak jelentősebb források állnak rendelkezésre a kutatási és fejlesztési beruházásokhoz, ez elősegíti az innovációt és a fejlett technológiák integrációját, amely hatékonyabb és versenyképesebb műholdas rendszerek kifejlesztését eredményezi.

A műholdas ágazatban az összeolvadások további előnye, hogy ily módon a műholdas szolgáltatók optimalizálhatják a spektrum-, valamint a műholdas pálya-használatot, amely potenciálisan az erőforrások hatékonyabb felhasználását eredményezheti. Ez az optimalizálás fontos lehet a műholdas szolgáltatások iránti növekvő kereslet kezelésében és az űrszeméttel kapcsolatos problémák enyhítésében.

A gyors technológiai fejlődés csökkentette a műhold üzemeltetési költségeit, és szélesebb körben elérhetővé tette a műholdas kommunikációt, azonban a rövid távú jövedelmezőség elérése továbbra is kihívást jelent, hiszen a műholdas hálózat telepítése és működtetése rendkívül tőkeigényes beruházás. Mivel a piac a nagy sáv szélességű, alacsony késleltetésű hálózatokat igényel, a vevői elvárásokat a *multi-orbit* hálózatok által biztosított többféle megoldások elégíthetik ki. A technológiailag gyorsan fejlődő kisvállalkozások többnyire forráshiányban szenvednek, míg a nagy múltú visszatekintő piaci szereplők új módszereket és piacokat keresnek a jövedelmezőségük fenntartása érdekében. Mindezek a körülmények előrevetítik a műholdas kommunikációs szektor elkerülhetetlen konszolidációját.

A műholdas szolgáltatók piaci konszolidációja mellett a technológia fejlődése is hozzájárul a termelés és a terminálok használatának változásaihoz. A felhasználói terminálok technológiai fejlesztése hozzájárul a költségek csökkentéséhez, valamint a miniatürizálás kisebb, hatékonyabb, nagyobb teljesítményű eszközökhöz vezet. Mivel a fejlesztés a felhasználóbarát és ügyfélorientált megoldásokat célozza meg, így az öntelepítő eszközök és terminálok nagyobb teret nyernek, tovább csökkentve a költségeket a szakember általi telepítés és karbantartás ki-

²⁶ Rainbow (2023).

²⁷ Jewett (2023).

küszöbölésével. Ez a jövőkép azonban befolyásolja a meglévő szabályozási keretet és annak végrehajtását, mivel az eszközök és terminálok számának növekedése a spektrumigények bővülését hozza magával, tovább szűkítve a használható frekvenciasávokat és növelve az interferencia lehetőségét. Mivel a műholdas kommunikációt szolgáló eszközök és terminálok nem minden esetben mentesülnek az engedélyezés alól abban az államban, ahol használják őket, ezen eszközök pusztán száma elhúzódó engedélyezési eljárásokhoz vezethet, amely magával hozhatja azt is, hogy a szabályozó hatóságoknak át kell alakítaniuk engedélyezési eljárásaikat.

6. Következtetések

Hangsúlyozandó, hogy a műholdas rádiófrekvenciák kezelése nem különíthető el az elektronikus hírközlő hálózatoktól, hiszen azok része, azonban globális jellegéből adódóan egyes vonatkozásai szuverén államtól független szabályozást igényelnek. Az önálló szabályozási igények új, speciális követelményként jelennek meg a hírközlési szektorral szemben, amely nem a telefon- és műsorszolgáltatáshoz kapcsolódik, és nem feltétlenül a nemzeti vállalatok versenypiacát, hanem a globális szolgáltatók komplex rendszerét jelenti. Ezek a rendszerek az ICT (Information and Communication Technology) szolgáltatások teljes rendszerét lefedik, amellyel, hogy infrastruktúrát, eszközt vagy terminált is biztosítanak a felhasználó számára.

Több érdekelt fél, köztük a nemzetközi szolgáltatók feszegetik a jelenlegi szabályozási kereteket, és a szabályozó hatóságoknak kényes egyensúlyt kell fenntartaniuk az inkumbens szolgáltatások és szolgáltatók védelme, valamint a technológiai fejlesztések támogatása között. A technológiasemleges politikák és célok megtartása, az élvonalbeli fejlesztésekre tekintettel a regionális harmonizáció bizonyos szintjének elérése, és ezzel párhuzamosan a hatékony spektrumhasználat biztosítása gondolatébresztő és egyedülálló lehetőséget ad a szabályozóknak új szempontú szabályozás kidolgozására.

Minél zsúfoltabbak a Föld körüli pályák, annál jövőbetekintőbb szabályozásra van szükség a zökkenőmentes, zavartalan szolgáltatásnyújtás érdekében. A számtalan LEO-pályás műhold elérhetősége és az általuk képviselt technológiai innováció a szabályozási kereteket tágítja azáltal, hogy már nemcsak a technológiai kérdéseket kell vizsgálni, hanem olyan új kérdésekre is választ kell találni, mint a védelem és közbiztonság, a magánélet védelme és a regionális harmonizáció. Ezen összetett szabályozási kihívással a szabályozók egyedül nem tudnak szembenézni, az érintettek összehangolt működését fenn kell tartani, hiszen a világűr *res communis omnium usus* státuszú terület. A különböző országok és régiók szabályozásának kidolgozása és harmonizálása kihívást jelent az űr felelős használatának, a különböző felek érdekeinek egyensúlyozásának, a méltányos hozzáférés és a káros zavarás elkerülésének biztosítása érdekében.

Hivatkozások

- Bartóki-Gönczy B. (2020). Az űrtevékenységek nemzeti szintű szabályozása. A nemzetközi jogi környezet, valamint az ESA tagállamok gyakorlatának elemzése. *Iustum Aequum Salutare*, 16(4), 93–114. Online: <https://bit.ly/3TOK0my>
- Dalvi, A. (2023). *The Right Way to Introduce LEO Services*. Telesat. Online: <https://bit.ly/49b9EGv>
- Digital Ship. (2023). *SES introduces cruise industry's first integrated MEO-LEO service with Starlink*. Online: <https://bit.ly/49b3eHu>

- Eves, S. (2021). Congested, contested... under-regulated and unplanned. *ROOM – Space Journal of Asgardia*, 3(29). Online: <https://bit.ly/3TAvzkD>
- Falle, A., Wright, E., Boley, A., & Byers, M. (2023). One million (paper) satellites. *Science*, 382(6667), 150–152. <https://doi.org/10.1126/science.adi4639>
- Jewett, R. (2023). *Viasat Closes Inmarsat Acquisition*. Via Satellite. Online: <https://bit.ly/4a-90An0>
- Martínage, X. (2023). *Comment une sortie de l'ISS a été perturbée par un taxi argentin*. Capital. Online: <https://bit.ly/3TScvQj>
- Nodicity Group Ltd. (2010). *Study on the Global Practices for Assigning Satellite Licences and Other Elements*. Online: <https://bit.ly/4czMAUQ>
- Pixalytics Ltd. (2023). *How many satellites are orbiting the Earth in 2023?* Online: <https://bit.ly/4ar2qzi>
- Rainbow, J. (2023). *Eutelsat completes multi-orbit OneWeb merger after shareholder vote*. SpaceNews. Online: <https://bit.ly/3Vyd17e>
- Rawls, M. (2023). *Megaconstellations are changing the night sky forever, forcing astronomers to adapt*. Astronomy. Online: <https://bit.ly/3x7HAql>
- Rwanda's Space Agency (RSA). (2021). *Rwanda files at ITU for nearly 330,000 satellites*. SpaceWatch.Global. Online: <https://bit.ly/43waXPI>
- Sulyok G. (2022). Nemzetközi jogi szabályozás. In Bartóki-Gönczy B., & Sulyok G. (Szerk.), *Világűrjog* (pp. 79–115). Ludovika.
- Tingay, S., Sokolowski, M., Wayth, R., & Ung, D. (2020). A survey of spatially and temporally resolved radio frequency interference in the FM band at the Murchison Radio-astronomy Observatory. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 37(e039). <https://doi.org/10.1017/pasa.2020.32>
- Union of Concerned Scientists. (2023). *UCS Satellite Database*. Online: <https://bit.ly/4cAzsiv>
- Wood, P. (2023). *Satellite Mergers, Acquisitions, and Market Consolidation*. TeleGeography. Online: <https://bit.ly/3IRiFd4>
- Wright, E., & Falle, A. (2023). *Over the past six years, governments proposed launching over one million satellites, but where will they all go?* The Conversation. Online: <https://bit.ly/3xiDM5w>