

# Csúcsforgalom a geostacionárius pályán

ALMÁR IVÁN, csillagász-úrkutató,  
az Úrkutatási Tudományos Tanács elnöke

*almar@konkoly.hu*

**Kulcsszavak:** távközlési holdak, űrszemét, pályamódosítás, interferencia

*A világűr bizonyos értelemben a világóceánokhoz hasonló közeg. Jogilag mindenki számára egyformán biztosítja a használatot (bár a partmenti vizek ugyanúgy nemzeti szuverenitás alá tartoznak, mint a légkör alsó rétegei, a troposzféra és a sztratoszféra), és az óceánokon haladó járművek ugyanúgy nemzeti zászló alatt hajóznak, mint az űrhajók és űrállomások a világűrben. Közismert, hogy a világóceánokon használt útvonalak közül néhány különlegesen zsúfolt, továbbá stratégiai jelentősége miatt kiemelt fontosságú. Kezdetben senki sem gondolta volna, hogy a világűrben is lesznek ilyen útvonalak, pályák, amelyek stratégiai és gazdasági fontossága vitathatatlan. Éppen a műholdas távközlés gyorsan növekvő igényei tették a geostacionárius pályát (GEO) olyan kritikus „útvonallá”, amelyen egyre nehezebb az újonnan érkezőknek üres helyet találniuk, illetve ahol a használaton kívüli, lerobbant járművek kezdik akadályozni a folyamatos közlekedést.*

Mielőtt ezen aktuális és fontos probléma ismertetésére térnénk, érdemes pontosan meghatározni e kitüntetett pálya jellegzetességeit. Legfontosabb tulajdonsága, hogy *geoszinkron*, vagyis hogy rajta a keringési idő pontosan megegyezik a Föld sziderikus (az állócsillagokhoz viszonyított) tengelyforgási idejével (1436 perc). Ez szükséges, de nem elégséges feltétel, mert geoszinkron holdak még keringhetnek különféle excentricitású és hajlásszögű pályákon a Föld körül, és ezek a távközlés szempontjából nem bírnak semmiféle jelentőséggel. A geoszinkron pályák alcsoportja a geoszinkron körpálya, vagyis ha az excentricitás nulla. Ebben az esetben a pálya sugara 42 163 km. Az ilyen pályán mozgó hold esetében, ha a pálya hajlásszöge nem nulla, akkor földfelszíni vetülete nyolcas alakot ír le. Végül, ha a kör alakú geoszinkron pálya hajlásszöge az egyenlítővel nulla, akkor létrejön a különlegesen kedvező adottságú *geostacionárius pálya*, amelyen a Föld tengelyforgásával megegyező irányba elindított test olyan keringést végez, amelynek során földfelszíni vetülete az egyenlítő egyetlen pontjára esik (vagyis a Föld forgása során látszó égi helyzete nem változik). Ez a körülmény rendkívül előnyös a távközlési holdak számára, mert nem kell a követő antennát mozgatni, de hasonló okok miatt előszeretettel használják meteorológiai és csillagászati holdak is.

Éppen ezért jelent problémát az a körülmény, hogy ez a különleges „természeti erőforrás”, vagyis a geostacionárius pálya nem kimeríthetetlen, hanem nagyonis korlátozott terjedelmű. Más szóval nem lehet rajta végtelen számú holdat elhelyezni, mert zavarnák egymás működését. Alapvető jogi problémává vált, amellyel az *ENSZ Világűrbizottsága* hosszú évek óta eredménytelenül foglalkozik, hogy ehhez a természeti erőforráshoz szerezheth-e jogot olyan állam, amely ma még képtelen lenne ugyan műholdat felbocsátani, de azt reméli, hogy később erre szüksége lenne (viszont addigra a pálya

betelik!). Ezek a főként délamerikai fejlődő államok már ma szeretnének lefoglalni néhány szegmenseket országuk területe fölött, de erre a „mindenki számára szabadon hozzáférhető” világűrben egyszerűen nincs jogi lehetőség.

## Egy az űrtávközlés számára értékes pálya védelme

Az *űrszemét probléma* két tartományban kritikus: egyrészt alacsony pályán (LEO), ahol értékes műholdak, lakott űrállomások és űrjárművek találhatóak, másrészt a geostacionárius pálya (GEO) közelében. Ez utóbbi, a 35 786 km magasságban az egyenlítő fölött húzódó körpálya, amely nagy értéket képvisel, mert az itt elhelyezett és kellő irányban elindított távközlési vagy meteorológiai holdak együtt haladnak a földfelszínnel (keringési idejük pontosan egy nap), ezért alkalmasak bizonyos területek folyamatos megfigyelésére, illetve a folyamatos kapcsolattartásra. Nem véletlen, hogy jelenleg a működő holdak egyharmada (!) ezen az egyetlen pályán található. A geostacionárius pálya kedvező helyzetű szegmenseiért, amelyeket a *Nemzetközi Távközlési Unió* ítél oda a pályázóknak, elkeseredett harc folyik. Ugyanakkor nyilván nem lehet egymáshoz túlságosan közel működtetni különféle távközlési holdakat, vagyis a már nem üzemelő, halott holdak a többieket kiszorítva és veszélyeztetve keringenek a GEO-n. Az ilyen űrszemét eltávolítása onnan, ahol már csak bajt okoz, többlet hajtóanyagot igénylő feladat, mert ebben a magasságban a légköri fékezésre már nem lehet számítani.

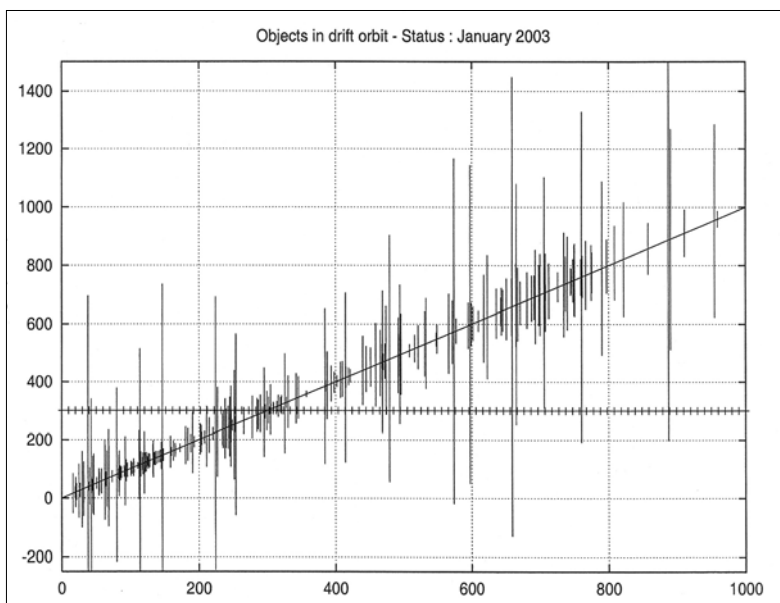
A magukra hagyott testek mozgása a geostacionárius pályán érdekes probléma. Mivel a Föld nem pontosan gömbalakú, még a geostacionárius pályán sem marad örökké egyetlen földfelszíni pont fölött a magára

hagyott hold. Működő, aktív holdak esetében a szükséges parányi pályamódosításokat a fedélzeti mikrohajtóművek segítségével rendszeresen elvégzik, vagyis a mozgását és helyzetét korrigálják. Halott holdak esetében azonban erre nincs lehetőség.

A GEO övezetet úgy szokták meghatározni, mint egy 120 km vastag egyenlítői gyűrűt vagy tóruszt a 35 786 km magasság körül (vastagságát az szabja meg, hogy 15 foknyi eltérés északi vagy déli irányba még megengedett). Ezen a gyűrűn belül azonban létezik két kitüntetett zóna (*librációs pont*), az egyik a 75° keleti hosszúság, másik a 105° nyugati hosszúság fölött. Azért kitüntetettek, mert a Föld egyenlítője nem pontosan kör alakú, hanem enyhén lapult ellipszis (ennek bizonyítása a magyar származású *Izsák Imre* nevéhez fűződik). A Föld gravitációs terének ezen aszimmetriája miatt az említett két librációs hely közelébe sodródnak a geostacionárius pályán magukra hagyva keringő testek. Ez persze ütközési veszélyt jelent mindazon holdak számára, amelyek e sávokban működnek. De a sodródó objektumok ütközésben is eltalálhatnak működő műholdakat, és ha a viszonylagos sebesség meghaladja a 2 km/mp-et, akkor katasztrófa következhet be, amely nagy mennyiségű veszélyes törmelékkel szennyezheti az egész térséget.

**1. ábra** Sodródó pályán lévő objektumok megoszlása magasság szerint.

Minden egyes függőleges vonal egy egy ilyen űrobjektumot jelöl. A vízszintes tengely mutatja a pálya félnagytegyelének közepes eltérését a geostacionárius pálya magasságától. A függőleges tengely a földközelpont (*perigeum*) és a földtávolpont (*apogeum*) közepes eltérése a geostacionárius pályamagasságtól. Az űrobjektum tényleges magassága e két határérték között ingadozik (amit a függőleges vonalka jelöl). Látható, hogy ha az űrobjektum pályaeccentricitása nagy, akkor áthaladhat a geostacionárius pályán is. Azért fontos ez a szegmens, mert az ajánlások szerint a már nem aktív holdakat olyan pályára kell küldeni („temetői pálya”), amely átlagosan legalább 300 km-rel a geostacionárius pálya fölött van (az ábrán vízszintes vonallal jelölve). Látható, hogy ez a magasságkülönbség sem biztosíték arra, hogy a sodródó hold elkerülje a geostacionárius pályát.



Éppen ezért született már évekkel ezelőtt az az ajánlás, hogy a GEO-n lévő, életük végéhez közeledő holdakat a még meglévő üzemanyaggal olyan „*űrszemét-tároló*” vagy „*temetői*” pályára kell juttatni, amely legalább 300 km-rel a GEO fölött húzódik. Ez elvileg biztosítja, hogy mozgása során később sem fog ütközni a geostacionárius pálya aktív holdjaival. Gyakorlatban azonban sajnos nem ennyire kedvező a helyzet. Igazolható, hogy még a GEO fölött 300 km-rel húzódó „temetői pálya” sem ad teljes biztosítékot arra, hogy a műhold élete során soha nem keresztezi majd a geostacionárius pályát (veszélyeztetve az aktív holdakat). Ez látható az *1. ábrán*, amely azt mutatja be, hogy ha a sodródó űrobjektum pályaeccentricitása viszonylag nagy, akkor időnként áthalad a geostacionárius pályán még akkor is, ha átlagos magassága még az előírt 300 km-nél is nagyobb mértékben tér el a geostacionáriustól.

Nézzük, hogy mennyire tartották magukat az érdekelt úrhatalmak az említett ajánláshoz! Tavaly a NASA büszkén jelentette, hogy az 1980 óta a geostacionárius pályára küldött, már nem működő holdjainak mind-egyikét pályamódosításokkal az ajánlásban szereplő űrszemét-tárolóba helyezték át. A tények azonban ezt nem teljesen igazolják. 2002-ben például összesen 13 űreszköz fejezte be aktivitását a GEO pályán, ebből ötöt valóban áthelyeztek biztonságos pályára, de a többi vagy egyszerűen ott maradt, vagy csak 100-200 km-rel sikerült pályáját megemelni. Egy Intelsat 2 hold műszaki problémák miatt éppenséggel a GEO alá került. Mindezen holdak mozgásuk során időnként elkerülhetetlenül keresztezni fogják a GEO tartományt, veszélyeztetve az ottani tevékenységet. Összességében tehát jelenleg a működésképtelen holdak kétharmada nem kerül az „űrszemét-tárolóba”, s ez az arány évek óta szinte változatlan.

## Geostacionárius holdak katalógusa

Igen fontos annak ismerete, hogy mi a pillanatnyi helyzet a kitüntetett szerepű geostacionárius pályán. Az ESA egyik intézménye, a darmstadti ESOC központ vezeti a pontos nyilvántartást *DISCOS* adatbázis néven. 2003 januári adataik szerint a GEO pályán lévő objektumok hat típusba sorolhatók:

- Azok, amelyek pályája, mozgása és helyzete jól ismert, pályahajlásuk az egyenlítőhöz kisebb, mint 0,3°. Ezek pályaelemeit hetente javítják. Számuk 200, bár ezek közül 5 esetben a követés az utolsó félévben már nem sikerült;
- Azok, amelyeknél csak az egyértelmű, hogy melyik hosszúsági kör fölött tartózkodnak, viszont pályahajlásuk viszonylag nagy, és ezért helyzetük észak-déli ingadozást mutat. Számuk 123, ezek közül 45 esetben a követés az utolsó félévben már nem sikerült;

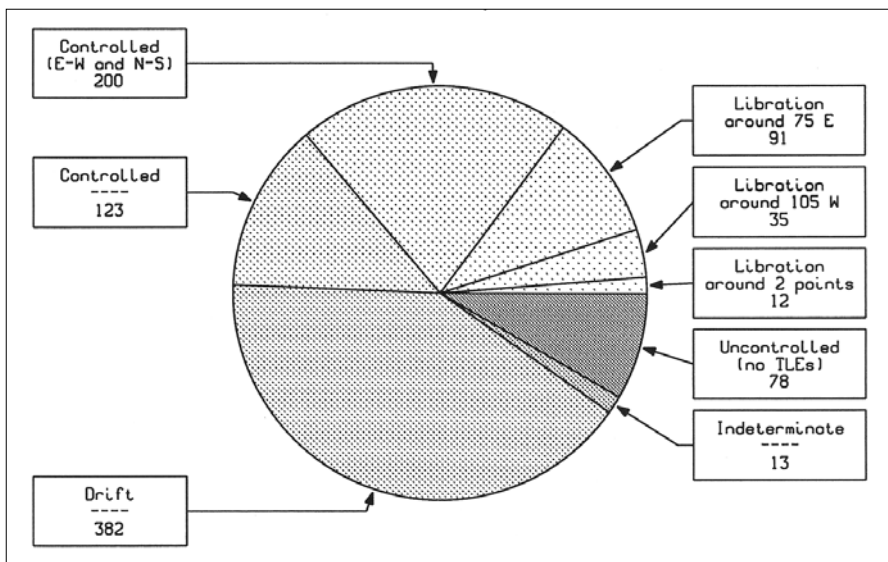
- Szabadon sodródó holdak, melyeknek száma 382;
- Azon objektumok, melyeknél a sodródás a keleti librációs pont körül stabilizálódott (91);
- Azok az objektumok, melyeknél a sodródás a nyugati librációs pont körül stabilizálódott (35);
- Azon objektumok, amelyek hol az egyik hol a másik librációs pont környékén mozognak (12).

Ezen kívül 78 esetben nincsenek 2002-es adatok a pályáról, és a teljesen bizonytalan esetek száma 13. A katalógus szerint tehát összesen 934 objektum van a geostacionárius pályán. Közülük 27 darab 2002-ben került oda (26 hold és 1 rakétafokozat). A katalogizált objektumok típus és a felbocsátás ideje szerinti megoszlását a 2-3. ábra, a különféle típusokba sorolható ellenőrzött holdak hosszúság szerinti megoszlását pedig a 3. ábra, végül a sodródó holdak perigeum (Földközeli) pontjainak – GEO pályához viszonyított – magasság szerinti megoszlását a 4. ábra mutatja.

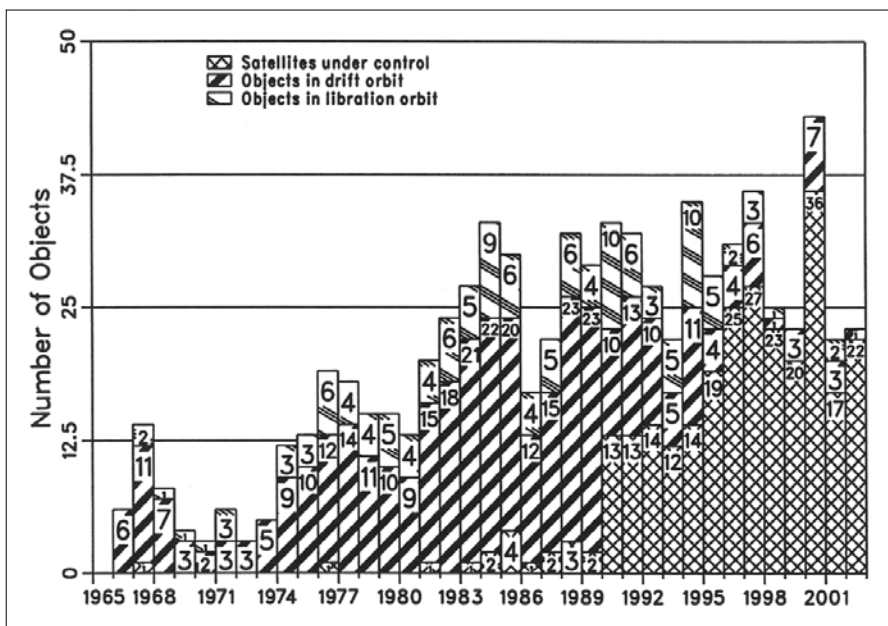
A „halott” holdak követése nemcsak radarral, hanem optikai távcsövekkel is lehetséges, sőt ez az érzé-

kenyebb módszer. Egy 1 m tükörátmérőjű távcső, amelyet Teide Observatory néven az Európai Űrügynökség, az ESA működtet a Kanári Szigeteken, évente több hónapig fényképezi az égi egyenlítőt, hogy ott ismeretlen geostacionárius holdakat fedezzen fel. A munka 1999 óta folyik, és azóta 2000-nél több, eddig nem katalogizált, 1 méternél kisebb objektumot találtak. Ezek egy része felhőket alkot, mivel valószínűleg egy-egy műhold szétesésekor keletkezett. Hasonló távcsöves keresési program Oroszországban és Kínában is folyik.

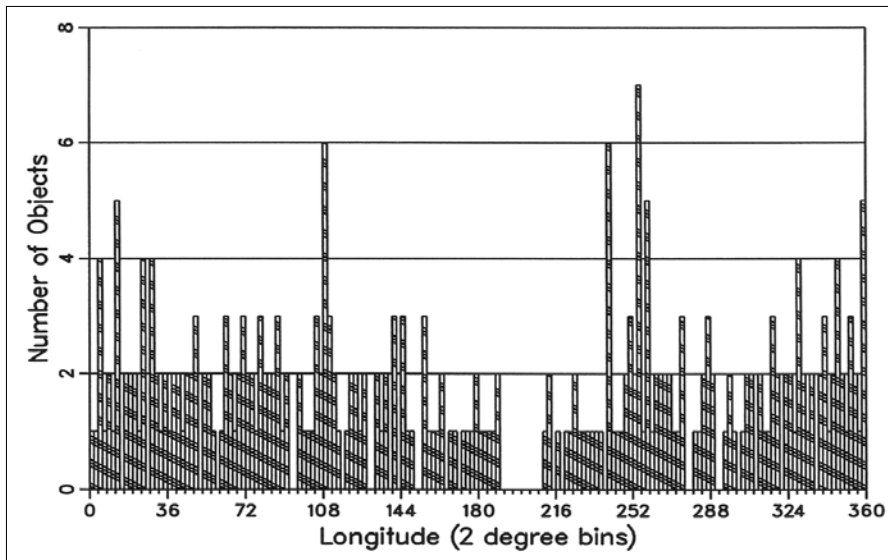
Visszatérve az említett ajánlásokra, illetve az európai szabályzatra, az a cél, hogy ezek mielőbb hivatalosan elfogadott „törvényekké” váljanak, és minden, a GEO pályát használó országra vonatkozzanak. A jelenlegi állapot, amikor a geostacionárius holdaknak csak egyharmada jut el élete végén a „szeméttárolóig” nem tekinthető elfogadhatónak. Az ENSZ Világűrbi-zottsága nagy erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy az űrszemét-probléma „szabványosítása” mielőbb megtörténjen.



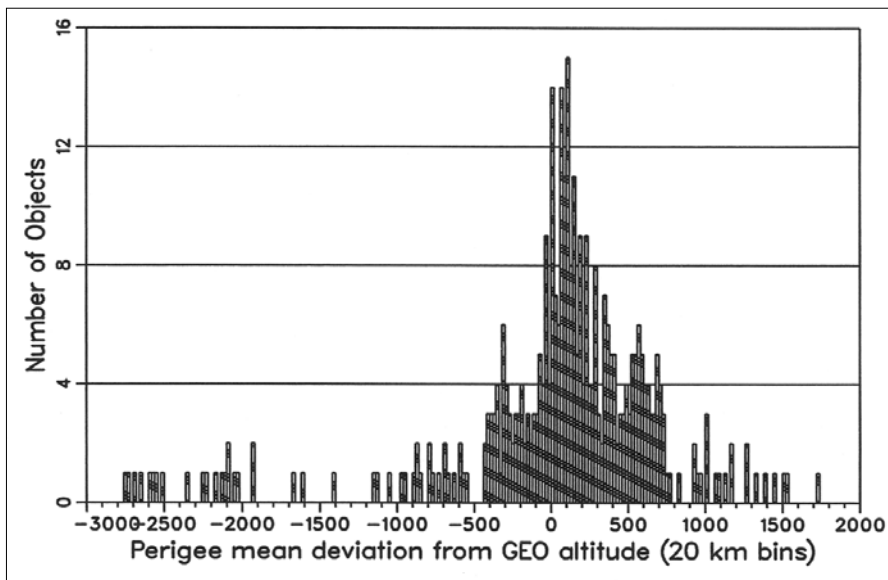
2. ábra  
A GEO pályán lévő 934 űrobjektum megoszlása típus szerint (felülről az óramutató járásával ellentétesen: teljesen ellenőrzött, részben ellenőrzött, sodródó, teljesen bizonytalan, nincs pályaadat, mindkét L-pont körüli mozgás, nyugati L-pont körül, keleti L-pont körül).



3. ábra  
A GEO pályán lévő űrobjektumok számának megoszlása a felbocsátás éve, és ezen belül típus szerint (felülről lefelé: ellenőrzött, sodródó és librációs holdak).



4. ábra  
Az ellenőrzött 273 hold megoszlása hosszúság szerint. A vízszintes tengelyen a hosszúság, a függőlegesen az objektumok száma szerepel.



5. ábra  
A sodródó holdak perigeum (földközelpont) magasság szerinti gyakorisági eloszlása – a GEO magassághoz viszonyítva. A vízszintes tengelyen a perigeum magasság eltérése a GEO magasságtól (20 km-enként), a függőleges tengelyen az objektumok száma szerepel.

## A helyzet 2003 végén és a távlati kilátások

2000 és 2002 között jelentősen lecsökkent a műholdak pályára juttatása, valamint az új műhold megrendelések száma is. Ennek oka részben az általános gazdasági válság, de az űrtávközlés területén más, speciális körülmények is közrejátszottak. A trend megfordulására nagy hatással volt a mobil távközlést forradalmasítani szándékozó világcégek (Iridium, Globalstar) csődje, amelynek hatására elmaradt csaknem száz új távközlési hold felbocsátása. Ugyanakkor az új generációs holdak élettartama sokkal hosszabbnak bizonyult, mint a korábbiaké, ezért egyszerűen nem is volt igény pótlásukra.

Több éves válság után 2003 szeptemberében a kereskedelmi holdakkal foglalkozó Euroconsult fórum Párizsban fellendülést jósolt a műholdas távközlés területén. Becslések szerint 2006 körül már 2000 új transzponderre lesz szükség, ennek fele a kiöregedő műholdak pótlására szolgál. Már 2005-ben várható, hogy az igények meghaladják a rendelkezésre álló készleteket.

Az előrejelzések szerint 2006-ig évente átlagosan 20-25 új, nagy távközlési holdra érkezik be rendelés, melyek mintegy 150 millió dollár értékűek. Várhatólag hasonló számban kötnek majd szerződéseket műholdak indítására is, esetenként 70-100 millió dollár közötti áron.

A most következő években, az előrejelzések szerint évente átlagosan 15 nagy távközlési holdat juttatnak majd geostacionárius pályára, vagyis a 2004 és 2008 közötti négyéves periódusban legkevesebb 65, de talán 110 új holddal is gyarapodhat a geostacionárius pálya népsége. Az optimista előrejelzések alapja az, hogy 2003-ban nem kevesebb, mint 13 rendelést adtak fel nagy geostacionárius holdakra.

A műholdas távközlési piac évente 80 milliárd dolláros forgalomra számít, ennek túlnyomó része (55 milliárd dollár) a műholdakról közvetlenül az otthonokba sugárzott („direct-to-home”) televíziós adásokból származik. Jelentős piacnövekedésre számítanak Oroszországban, Kínában és Ázsia Csendes-óceáni régiójában.