

Az űrszemét probléma aktuális kérdéseinek áttekintése

FARKASVÖLGYI ANDREA

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
farkasvolgyi@mht.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: űrszemét, ORDEM2000, LEO, MEO, SSN Catalog, LDEF, HAX, LRIR, űrlift

Több mint húsz éve, oly mértékű a műholdpályákat terhelő (legterheltebb sávok: LEO pálya 800 km és 1500 km magasságai), különböző méretű (10 μ m-10m) kontrollálatlan űrobjektumok mennyisége, hogy komolyan veszélyezteti a pályákon lévő műholdakat és mérőberendezéseket. A cikk foglalkozni kíván az űrszemét okozta nehézségekkel. A kontrollálatlan objektumok mérési módszereivel, a detektálás és követés módozataival (LDEF, LRIR, SSN Catalog), ütközési valószínűségekkel, az űrszemét csökkentésének lehetséges megoldásával, valamint az űrlift biztonsági és megbízhatósági adataival, úgymint eltalálási valószínűség, illetve, hogy milyen esetben okoz egy nagysebességű objektummal való ütközés végzetes szerkezeti hibát.

1. Bevezető

Az 1960-as évek elején az űrkorszak és a műholdtechnika indulásakor kezdődött az űr Föld körüli területének beszennyezése. A szennyezettség szintje a 80-as évek elejéig nem volt számottevő. A pályára állított műholdakból visszamaradó, már nem használt elemek kis terhelést jelentettek, mind az alsó, mind pedig a felső műholdpályákon.

Az aktív műholdakat ért első becsapódások eredményeként kezdtek el mérni, megfigyelni és követni a különböző műholdpályákon keringő, kontrollálatlan objektumok mozgását, az egységfelületen évente áthaladó [objektum/m²/év], illetve a térfogategységre eső [objektum/km³] objektumok számát.

2. Az űrszemét meghatározása

Definíció szerint űrszemétnek nevezünk minden olyan emberkéz alkotta objektumot, melyet légkörön kívüli pozícióra helyeztek és rendeltetésszerű alkalmazása után onnan nem távolítottak el. Az űrszemét legnagyobb részét úgynevezett vegyes törmelék alkotja, mely az ütközések és műhold detonációk során keletkezik (41%). A pályákat terhelő szemét jelentős hányadát egyrészt a régi, kiöregedett vagy valamilyen oknál fogva működésképtelenné vált műholdtestek teszik ki (22%), másrészt a műholdak pályára juttatását végző hordozórakéták meg nem semmisült fokozatai alkotják (17%).

A világűrben lévő űrszemét növekedésének egyik oka, hogy a műhold tulajdonosok csak az utóbbi néhány évben gondoskodnak megfelelően a kiöregedő félben lévő műholdakról. Jelenleg a geostacioner pályás, leálló holdakat temetőpályára helyezik, mely annyit jelent, hogy a holdat a 36.000 km-es pályamagasságtól (a pálya síkjában) körülbelül 200-300 km-es távolságra lökik, és ott körpályára állítják (temetőpálya – graveyard). Problémát jelent, hogy a korábban leállt

holdaknak már nincs annyi üzemanyag tartalékuk, hogy képesek legyenek ezt a pályamagasság változtatást végrehajtani. Ezek a holdak szennyezik a pályát, növelik az ütközés veszélyt, felrobbanásuk esetén növelik a pályán lévő kontrollálatlan objektumok számát.

Minden kontrollálatlan test, mely a Föld gravitációs terében a Földhöz közel (tipikusan: 200-2000 km, LEO pálya) szabad pályán kering, az ott jelenlévő szórva-nyos légkör hatására, lassul. A lassulás pályaesést eredményez (a pályaesés mértéke függ az objektum eredeti pályamagasságától, valamint a felület-tömeg arányától). A magasságcsökkenés következtében a test bezuhan a légkörbe és ott elég. Ez az úgynevezett öntisztulási folyamat. A folyamatnak köszönhetően a LEO pálya alsó részében az űrszemét mennyisége csökken.

Az űrszemét eloszlását tekintve a legterheltebb pályamagasság, a LEO pálya 500 és 1700 km-es magasságai. Ennek oka, hogy e két sáv a leggyakrabban alkalmazott távérzékelő és kéműhold magasság. Valamint a LEO pálya általában is erősen szennyezett, hiszen minden pályára állítás során a felső rakéta fokozatok és a tolómotor itt válnak le a rakétatörzsről, illetve az űrhajóról. Ezen kívül a rövid életű mikroműholdak is a LEO pálya alsó szegmensét preferálják.

Itt kell megemlíteni, hogy a pályamagasság növekedésével egyre kevesebb információnk van az egyes pályák terheléséről. A LEO pálya az, amelyet a legrészletesebben ismerünk és a legjobban tudjuk modellezni az űrszemét változását. A GEO pályáról tudunk a legkevesebbet, csak a nagytérű (>50 cm) holdak/objektumok helyzetét és sebességét ismerjük.

3. Az űrszemét keletkezése

Alapvetően öt lényegesen eltérő módot különböztetünk meg [9], melyeknek eredményeként eltérő méretű (nagy részt kisméretű) kontrollálatlan objektum kerülhet az űrbe:

a) Robbanás:

Több, mint 145 űrjárműről tudjuk, hogy felrobbant a LEO pályán. Általában üres üzemanyag cellák robbannak fel az erős napsugárzás hatására, miután az űrobjektum hőszabályzó rendszere felmondja a szolgálatot.

b) Hipersebességű ütközés:

Három ismert műhold-műhold ütközésről tudunk, valamint számos Földre visszahozott egység bizonyítja a becsapódásokat és hatásukat (az ISS ablakába is fúródott egy 1 cm-es darab). A relatív ütközési sebesség meghaladhatja a 7,5 km/s-t.

c) Az űrjármű felületének kopása:

Az objektumok felületét erősen koptatja az oxigén-erózió, az ultraibolya sugárzás és a hőstressz, ezek hatására darabkák válnak le a felületről

d) Szilárd hajtóanyagú motor által kilövellt hajtóanyag:

A szilárd hajtóművek égéstermékének majd egyharmada alumínium-oxid részecske, melyek mérete 0,0001-0,01 mm.

e) Egyéb források:

Különböző missziók során az űrben maradó szerelvények (Hubble szerelése, ISS külső munkálatai stb.)

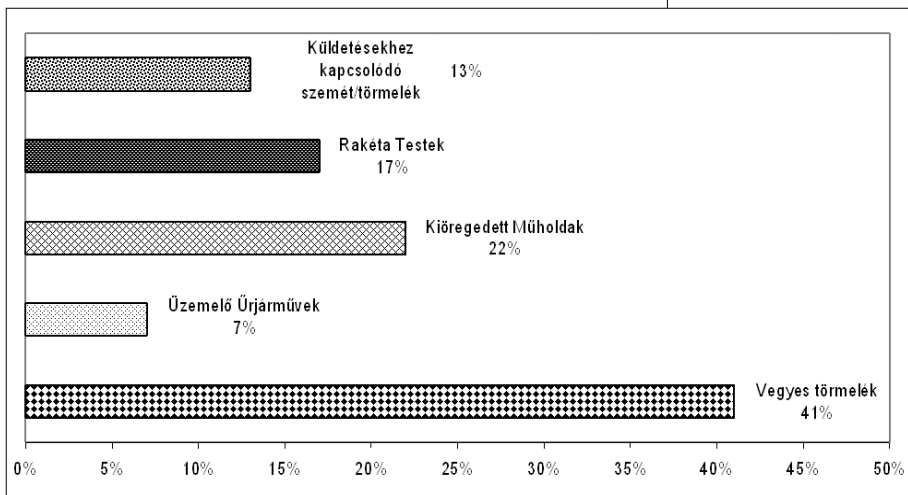
Annak a valószínűsége, hogy egy aktív hold egy tíz centiméteres kontrollálatlan tárggyal ütközzön, szinte elenyésző (10^{-8} - 10^{-9} , LEO). Tehát már nem működő műholddal történő frontális vagy részleges ütközésnél nagyságrendekkel nagyobb a valószínűsége a centiméteresnél kisebb tárggyal történő ütközésnek.

Ha az objektum a műhold törzsét tengelyének közelében találja el, akkor nagy valószínűséggel belefűrődik abba. Ha nagy a két objektum közötti sebességkülönbség, az apró űrszemét átütheti a műhold testét és roncsolhatja a belső egységeket, visszafordíthatatlan hibát eredményezve, melyet rendszerleállás követhet.

Ha nem a hold testének középső részét találja el az objektum, hanem valahol a szélét, akkor nem okoz károsodást a műhold elektronikájában, viszont egy nem kívánt rotációs (forgó) mozgást eredményez. Ez esetben a hold kifordulhat pozíciójából, melynek következtében elveszti a földi kontrollt és irányíthatatlanná válik.

Talán a legkomolyabb problémát meglepő módon a legnagyobb valószínűséggel előforduló porfinomságú „szemét” (objektum átmérő: 10-100 μ m) okozza. A kár, amit okoz gyakorlatilag kiküszöbölhetetlen, ugyanis beszennyezi, majd elhomályosítja a műhold napelemcelláit, lerövidítve ezzel a hold tervezett élettartamát.

Az elmúlt 15 évben csökkent a műholdfellövések száma. Ez azzal magyarázható, hogy a hordozórakéták már körülbelül három műhold (egy nagyobb és két kisebb, vagy egy nagy) pályára juttatására képesek. Így kevesebb aktív tömeggel lehet azonos aktív tömeget (payload) műholdpályára juttatni. Ám a csökkenés ellenére is 40-60 rakétatáindítással kell évente számolni [1,5,9].



1. ábra Katalogizált objektumok típus szerinti százalékos megoszlása [5]

Az 1. ábrán látható a pályákon lévő objektumok eloszlása a katalógusadatok alapján. A szemét legnagyobb részét a már korábban felrobbant, illetve fregmentálódott kis átmérőjű hulladék teszi ki. A fent lévő objektumok legkisebb része az aktív, működőképes objektumok (7%).

4. Űrszemét hatása az aktív holdakra

Az aktív holdak nagyon ritkán ütköznek össze egy másik hasonló méretű, ám nem pályán tartott objektummal. Erre eddig mindösszesen három példa volt. Ilyen esetben az aktív hold végzetes roncsolódást szenved. Rosszabb esetben a két hold valamelyike, esetleg mindkettő az ütközésből származó energia hatására felrobbanhat, további szeméttel árasztva el az aktuális pályát.

5. Űrobjektumok mérési eljárásai

A jelentkező különböző problémák miatt a 80-as évek közepétől kezdve mérik és figyelik a műholdpályákon lévő kontrollálatlan objektumokat.

5.1. Nagyatmérőljű objektumok mérése

A Földet körülvevő űr legrészletesebben feltérképezett területe a Föld közvetlen környezete, a 200-2000 km-es pályamagasság. Továbbá csaknem 100.000 km-es magasságig vannak ismereteink bizonyos nagyméretű, kontrollálatlan objektumokról, valamint 1000 km-es magasságig jó közelítéssel ismerjük az űrszemét eloszlását, sűrűségét, nagyobb objektumok helyzetét, irányát és sebességét. Az objektumok detektálása és követése alapvetően az objektumok átmérőjétől és magasságától függ. A nagy átmérőjű objektumok (>10 cm) detektálása körülbelül 5000 km-ig lokációs elvet alkalmazva történik.

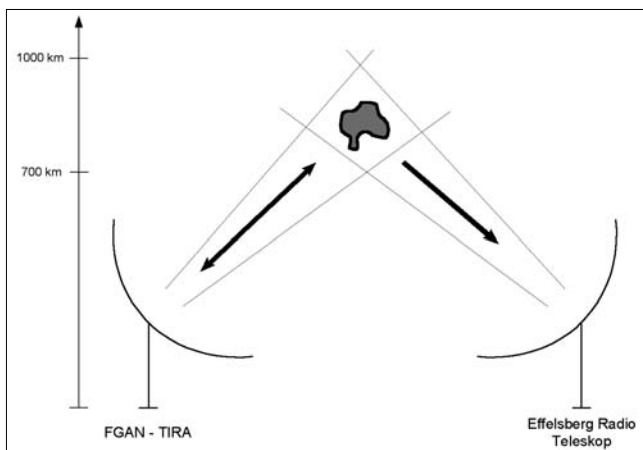
Radar rendszerek	Detektálható objektum mérete	Detekció magasság	Antenna átmérő/ (Radom átmérő)	Alkalmazott frekvenciasáv/ antenna irányélessége
Haystack LRIR	0,3 cm – 10 m	350 – 100 km	37 m / (47 m)	X - sáv / 2°
HAX	2 cm – 10 m	450 – 1050 km	~ 15 m / (~ 20 m)	Ku - sáv / 5°
Goldstone Bi - statikus Radar	3 mm – 2 cm	280 – 3000 km	35 m (tr.) / 70 m (rec.)	X - sáv 1.44°/1.5°
FGAN TIRA	2 cm - től	1000 km -ig	34 m / (49 m)	L (1,33 GHz) / 0.45° Ku (16,7 GHz) / .031°
Effelsberg Radio Teleskop	9 mm - től	1000 km -ig	100 m	Pl.: L (1,33 GHz) / 0.45° Ku (16,7 GHz) / .031°

1. Táblázat Földi radar rendszerek [2,3]

Ilyen földi radar a Haystack **LRIR** (Long Range Imaging Radar), a **HAX** (Haystack Auxiliary Radar – MIT Lincoln Laboratory in Lexington, MA), a **FGAN** (Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften – Wachtberg, Germany), illetve az Effelsbergben működő rádióteleszkóp. Az 5000 km-es magasság felett optikai teleszkópokkal oldják meg a nagyobb átmérőjű (>5 cm) objektumok követését.

A különböző adatbázisokban a nagy átmérőjű objektumok pozíciójának frissítésére (magasság, irány, sebesség) néhány naponként kerül sor. Ezen adatbázisok alapján hozták létre például az SSN Catalog-ot (Space Surveillance Network Catalog), melyben aktuális információk találhatóak az objektumokról. Az adatbázis körülbelül 10.000 nagy átmérőjű objektumot tart számon és követ folytonosan, melyek legtöbbször LEO pályás műholdtest.

A Haystack és az ezt kiegészítő HAX radar a 10 cm-nél nagyobb objektumok sebességét, irányát és pályamagasságát regisztrálják. Működését tekintve egyik radar sem követő üzemmódban, hanem (staring mode-ben működő radarok) a radarnyaláb előtt elröpülő objektumok jellemzőit mérik. A Haystack LRIR nagy teljesítményű (1,3 MW), X-sávú, nagyérzékenységű radar, 5 mm átmérőjű tárgy detekciójára képes, 500 km-es magasságig. A HAX érzékenysége ettől jóval elmarad (2 cm/500 km), ám nagyobb területet lát be egyszerre [2,3,8].

2. ábra
Radarral és rádióteleszkóppal történő mérés elve [6,7]

A 2. ábrán radarral történő objektum detekció elve látható. A detektálható minimális objektum átmérő alapvetően függ az alkalmazott antenna hullámhosszhoz képesti lineáris méretétől és a vevő érzékenységétől. Radar által kibocsátott jel egy része az objektumról reflektálódik és visszajut az azt kibocsátó antennára, ezt a jelet veszi a radar (FGAN-TIRA, minimális detektálható objektum átmérő: 2 cm). Az effelsbergi rádióteleszkóp bi-statikus elven működik, vagyis egy másik radar által „megvilágított” tárgyról reflektált jelet vesz. A hatalmas antenna átmérő miatt (100 m) a radar érzékenysége nő, jelen esetben a detektálható objektum átmérő 9 mm [6,7,8].

Az 1. táblázat mutatja a különböző távérzékelés elven működő rendszerek néhány jellemző adatát.

5.2. Kisátmérőjű objektumok mérése

A 10 cm-nél kisebb átmérőjű objektumok, illetve objektum csoportok jellemzésére statisztikai méréseket végeznek. A mérések eredményeként az objektumfelhőkről különböző sűrűség és eloszlás adatok állnak rendelkezésre.

A mérés elve a közvetlen detekció. Ez annyit jelent, hogy az űrből visszahozott külső burkolati alkatrészek, külső egységek (solar panel), illetve e célra készített mérődetektorok elemzéséből tudnak modellek alapján statisztikai eloszlás adatokat adni az alacsonypályás kis átmérőjű objektumfelhőkről.

Ilyen adat az egységtér fogatban található bizonyos átmérőjű objektumok szám (SD vs. a-Spatial Density vs. Altitude) pl.:

$$SD_{vs.a} \left| \begin{array}{l} d:0.01m \\ a:800km \\ Date:2005 \end{array} \right. = 6.66 \cdot 10^{-7} \text{ obj / km}^3 *$$

ahol:

d = a vizsgált objektumok átmérője

a = a mérési magasság

date = az aktuális év

Másrészt az egységnyi idő alatt történő egységfelületre eső becsapódások száma (com-CSF-Average Cross-Section Flux vs. Size) pl.:

$$CSF \begin{matrix} d:0.01m \\ a:850km \\ inc:0^\circ \\ date:2006 \end{matrix} = 7.81 \cdot 10^{-5} \text{ obj} / m^2 / year^*$$

$$CSF \begin{matrix} d:0.01m \\ a:850km \\ inc:90^\circ \\ date:2006 \end{matrix} = 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ obj} / m^2 / year^*$$

ahol:

d = a vizsgált objektumok átmérője

a = a mérési magasság

inc = a megfigyelt pálya inklinációja/hajlásszög

date = az aktuális év

* Kalkulált adatok
a NASA ORDEM2000-es nyilvános programja által

Közvetlen detekciót alkalmazó méréseket tudtak végezni az LDEF (Long-Duration Exposure Facility) mérőhold 1998-as visszahozása után a felületi burkoló paneleken, valamint a Hubble űrteleszkóp Földre visszahozott napelemcelláin.

Korábban a MIR, jelenleg az űrsiklók detektor panelek segítségével szintén végeznek közvetlen becsapódás-vizsgálatokat. Az űrjármű külső felületére felszerelt panelek segítségével tudják mérni a becsapódó objektumok sebességét és kémiai jellemzőit. A CME (Chemistry of Meteoroids Experiment) panelek segítségével meg tudták különböztetni, hogy a becsapódott elem meteorit vagy mesterséges anyag (űrszemét) volt. A CME aranylemezeken csak a nem meteorit részecskék hagynak nyomot, így utólag elemezhetőek, a nagysebességű meteoritok ugyanis az ütközés után elporladnak, az egyéb objektumok pedig nem. A 2. táblázat a közvetlen becsapódás-vizsgálatokat végző rendszerek néhány jellemző adatát tartalmazza [2,3].

2. Táblázat

Közvetlen detekciót alkalmazó mérőrendszerek

Közvetlen detekciót alkalmazó eszközök	Detektált objektumméret	Mérés magassága
LDEF	0.01 – 1 mm	330 – 480 km
Shuttle	0.1 – 1 mm	300 – 400 km
MIR	10 – 100 μm	170 – 300 km
Hubble Space Telesc.-Solar Arrey	0.01 – 1 mm	586 – 614 km

5.3. Mérések kiértékelése és analízis modellek

A különböző mérési eredmények alapján matematikai modellek segítségével (Space Debris evolution, production, self-production modell; prediction and analysis modell), illetve interpolációs eljárásokkal lehet az adott pályamagasságra jellemző adatokat meghatározni. Az analízis eredményeként kapott adatok jó közelítéssel írják le az objektumok és objektum-csoportok mozgását, sebességét stb.

A mérési eredmények és a modellek alapján létre hoztak számos, az űrszemét pályamagassága szerinti

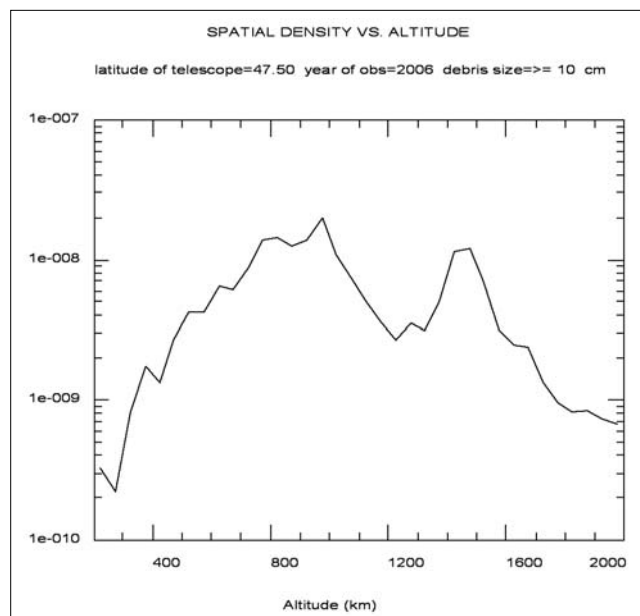
eloszlását számoló programokat, többek között ilyen az ebben a cikkben alkalmazott ORDEM2000 (NASA) is (hasonló programok: MASTER99 (ESA), IDES (DERA), SDM (CNUCE), SDPA (Nazarenko)).

Általában jellemző, hogy a modell programok két jellemzőt számolnak, az egyik a különböző pályamagasságokhoz és objektumátmérőkhöz tartozó térfogati sűrűség (SD), a másik a négyzetméterre vetített áthaladási szám (CSF). Általában csak LEO pályás adatokat kezelnek, 100 km-es pontossággal 200-2000 km-es magasság között.

Az analízis programok, hasonlóan az ORDEM2000-hez csak bizonyos objektum-átmérőről adnak leírást, ezek a legjellemzőbb méretek (pl.: 10 μm, 100 μm, 1 mm, 1 cm, 10 cm, 1 m). A nagy átmérőjű, 10 cm és 1 m-es objektumok statisztikus tulajdonságai a katalógusokban tárolt korábbi adatok alapján generálhatók. A kis átmérőjű objektumok a detektoros mérések alapján jellemezhetőek, a centiméteres nagyságrend pedig radar elven mérhető.

A komoly gondot a két típus határán lévő objektumok jelentik (~1 mm). Nehéz a közvetlen detekciós mérés ilyen átmérőn, hiszen számságuk nem elegendő a sűrűségméréshez, viszont annál sokkal kisebbek, hogy lokációs elven mérhetőek legyenek. Ezt az átmeneti méretet közelítő eljárással lehet leírni. Általában a 100 μm-es és az 1 cm-es mérési eredményekből, interpolációval határozzák meg, melyet a Goldston Radar 3 mm-es, LEO pályás, mérési eredményeivel tudtak alátámasztani.

3. ábra
10 cm-es objektumok eloszlása LEO pályán



A 3. ábra mutatja a 10 cm-es átmérőjű objektumok térfogategységre eső sűrűségét a magasság függvényében (Kalkulált diagram, NASA ORDEM2000 modell-program segítségével).

Általában jellemző, hogy 800 és 900 km között, valamint 1500 km-es magasságban a különböző objektumok előfordulási valószínűsége jóval meghaladja a töb-

bi LEO pályás magasság hasonló adatait. Ha a kalkuláció során a vizsgált pálya inklinációját változtatjuk, akkor ez azt eredményezi, hogy azonos pályamagasság mellett az inklinációs szög emelkedésével az előfordulási valószínűség egyenes arányban nő. Az érték 98° -os inklinációnál kulminál.

Ennek az a magyarázata, hogy a távérzékelők, valamint a rövid élettartamú (néhány hét, esetleg hónap) mérőholdak ezen inklinációt részesítik előnyben [6,7,9].

6. Megoldási lehetőségek

Belátható, hogy szükség van az űrben lévő, már nem használt mesterséges objektumok számának csökkentésére. Erre több mód is adódik.

- Az 1. ábráról látható, hogy a pályákat terhelő szemét nagy része kiöregedett műhold. Aktív pályakarbantartással ezen objektumoktól meg lehetne szabadítani a műholdpályákat.

- Radikálisan javítana a jelenlegi helyzetet, ha a műholdak felbocsátása során alkalmazott hordozórakéták hatásfoka javulna. Ha az össztömeg-hasznosterher arányt tekintjük, akkor a jelenleg alkalmazott hordozórakéták hatásfoka kis szórással 0,9-1,5% körül ingadozik. Sajnos e fokozatoknak csak egy része semmisül meg a légkörbe való visszazuhanás során, a többi fokozat űrszemétként végzi, alacsony pályán keringve a Föld körül.

Mindenképpen olyan megoldási lehetőségekre lenne szükség, melynek segítségével a hordozórakétáktól származó hatalmas, pályára állítás utáni tömeg megszűnne, vagy minimálisra csökkenne.

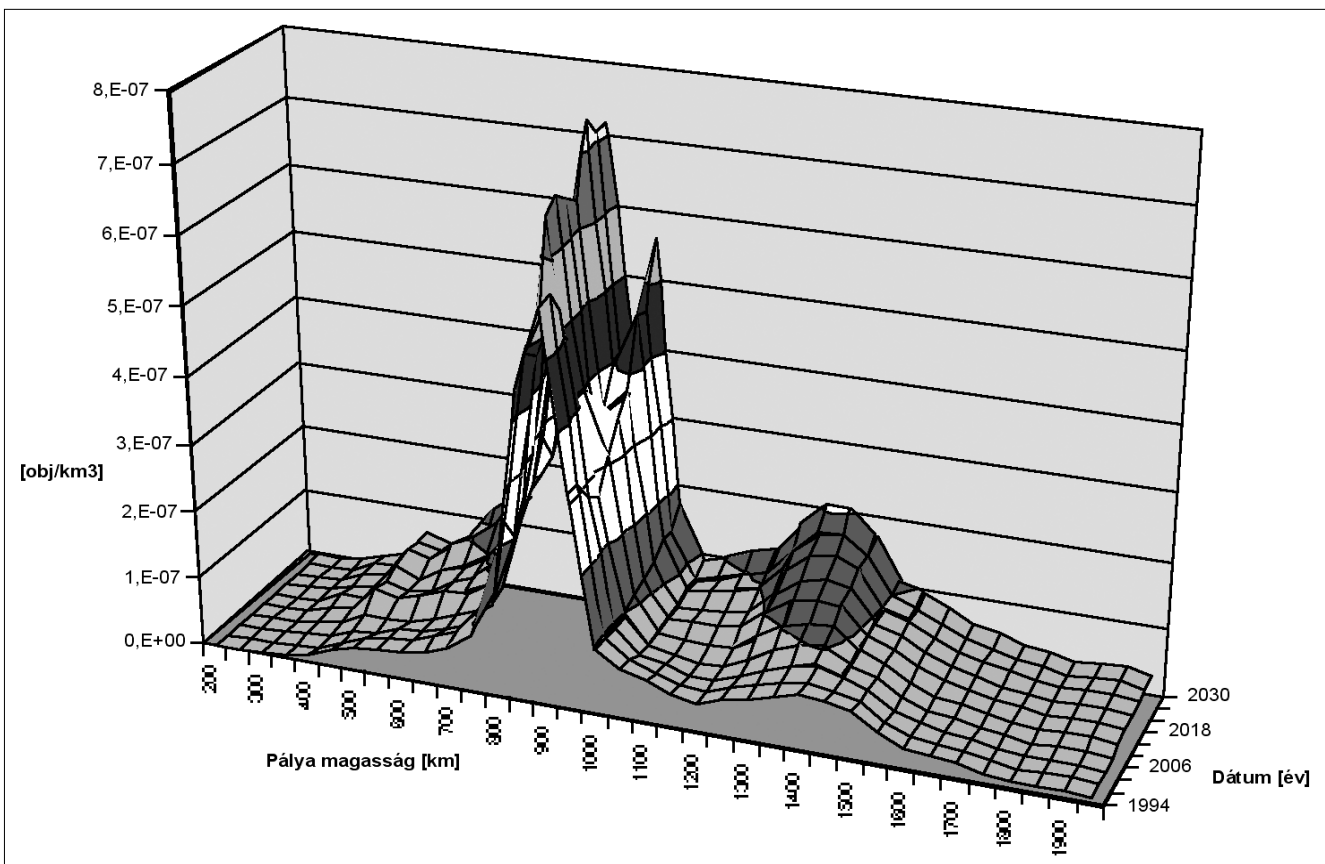
A 4. ábra az 1 cm-es objektumok térfogati sűrűség-változását mutatja 1994-2030 között. A becslést az ORDEM2000 programmal végeztem, mely az SSN katalógus, a Haystack Radar és az LDEF mérési eredményeire és adataira épül. A program MLE eljárást alkalmazva EVOLVE modell segítségével becsli a jövőre vonatkozó SD értékeket. Határozott növekedés látható, mind a 800-900 km-es, mind pedig az 1500 km-es pályamagasságnál.

6.1. Űrlift (Space Elevator)

Egyre többet foglalkoznak a rakétákat kiváltó, a pályára állítás idejét lerövidítő (GEO pálya elérése kb. 36-40 óra, űrlifttel csak 7,5!), biztonságos pályaelérési lehetőséggel, az űrlift megalkotásával. Talán meglepő, de az űrlift, mint űreszköz egy 1960-ban publikált cikkben szerepelt először, szerzője az orosz Yuri Artsutanov volt.

Működési elvét tekintve az űrlift, hasonló fizikával írható le mint a fejünk felett pörgetett, hosszabb madzagra erősített kő. A kötéltre ható húzóerőt úgy lehet előidézni (ez tartja feszesen a kötelet), hogy a kötélt végpontja 100.000 km-es magasságban van. Ám nem a pályamagassághoz tartozó standard (1,9 km/s) tangenciális sebességgel kering (hiszen ebben az esetben

4. ábra 1 cm-es objektumok térfogati sűrűség aránya a magasság függvényében; 1994-2030 (modellezett adatok, OREM2000, NASA)



nem hat rá erő), hanem a 24 órás keringési időhöz tartozó, jóval nagyobb, 7,72 km/s sebességgel. Ennek hatására jelentős húzóerőt fog kifejteni az ellenpont a kötéle.

Természetesen jelenleg még rengeteg alapvető probléma adódik a lifttel. Anyagát tekintve a lift felvonókötele, pontosabban váza (a kötélen ugyanis nem mozog függőleges irányban, ahogy a normál lift kötele) karbonnano-szálakból épülne fel. Az első becslések, illetve számítások alapján arra a következtetésre jutottak, hogy körülbelül 1 méteres szálakból lehetne előállítani a lift alapját képező kötélszerkezetet. Jelenleg a különböző amerikai és európai kutatóintézetekben alig több, mint néhány centiméteres hosszúságú szálakat tudnak készíteni.

Az űrszemét csökkentésére a későbbiekben alkalmazandó űrlift szerkezetét, hasonlóan a többi aktív űreszközhez, veszélyezteti a bolygópályákon lévő kontrollálatlan objektumok mozgása. Frontális ütközés esetén a kötélen szerkezetét átszakíthatja az objektum, mellyel végzetes balesetet eredményezhet.

Az űrszemét szempontjából a legterheltebb pályamagasság az 500-1700 km-es (LEO) pályamagasság. A LEO és MEO pályák objektumai (nem csupán a kontrollálatlan holdak) komolyan veszélyeztetik a lift szerkezetét. A probléma abból adódik, hogy a lift e magasságokra eső részeinek tangenciális sebessége messze elmarad az ott keringő objektumok sebességétől. Természetes, hiszen a lift minden elemének keringési ideje 24 óra, míg az itt keringő objektumok átlag 100-150 perc alatt (naponta nem egyszer, hanem 15-16-szor) megkerülik a Földet. A sebességkülönbség ezzel arányos.

Ám meg kell említeni, hogy a kötélen teljes hosszában tízévente várható nagyjából öt alkalommal 10 cm-nél nagyobb becsapódás és egy alkalommal méteres objektummal való ütközés [4]. Ezen ütközések szerkezetileg károsíthatják a kábelt, esetleg el is szakíthatják, bár szakítószilárdsága igen nagy, már anyagából adódóan is.

Magasabb régiókban (MEO) a szemét mennyisége drasztikusan csökken. A helyzet a GEO pályán a legjobb, hiszen az egységek tangenciális sebessége azonos. Ettől magasabb pályákon (100.000 km-ig) a szemét gyakorlatilag csak elenyésző mennyiségben fordul elő [4].

6.2. Biztonsági kérdések

Vizsgáljuk meg az űrlift 500-1700 km-es magasságát. Itt a lift kötélinek felülete összességében alig 0,2 km². A nagy hosszúság ellenére (1200 km) kicsi a felület, ugyanis az erre a szakaszra eső tervezett átlagos szélesség csupán 15-20 cm. Ha erre a magasságra az évenkénti becsapódások számát kalkuláljuk, akkor azt kapjuk, hogy körülbelül 100-150 db, centiméteresnél nagyobb objektum fogja eltalálni a kötélnet ezt a szakaszát. Természetesen ezeknek a legnagyobb része centiméteres nagyságrendű test lesz (~90 db), melyek nem okozhatnak komoly szerkezeti hibát (kalkulált adatok, NASA ORDEM2000).

7. Összefoglalás

A cikkben összefoglaltam az űrszemét létrejöttének lehetséges módjait, a környezetre, az aktív eszközökre, gyakorolt hatásait, valamint egy megoldási lehetőséget a felbocsátásból származó szemét mennyiségének csökkentésére (űrlift).

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni dr. Gödör Évának a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék adjunktusának a cikk megírásában nyújtott segítségével.

Irodalom

- [1] Almár Iván:
Csúcsforgalom a geostacionárius pályán, Híradástechnika, 2004. május
- [2] Liou, Matney, Anz-Meador, Kessler, Jansen, Theall:
The New NASA Orbital Debris Engineering Model, ORDEM2000
- [3] http://www.spacecoretech.org/coretech2001/Proceedings/28_NOV_WED/TRACK_1/SE_and_D_I/pdfs/OrbitalDebrisSizeEstimation.pdf
- [4] B. C. Edwards:
The Space Elevator, 2003 ISBN:0-9746517-1-0, pp.34–35, 107–119.
- [5] Prof. Dr. W. Flury:
Bedarf und Bedeutung für die europäische Raumfahrt, ESA/ESCO, Darmstadt April 30, 2004.
- [6] G. Ruiz, L. Leushacke, J. Rosebrock:
Algorithm for multi-beam receiver data analysis, 4th European Conference on Space Debris, April 18-20, 2005.
- [7] J. Rosebrock, M. Oswald:
Proof upgrade for bi/multistatic radar observation, 4th European Conference on Space Debris, April 18-20, 2005.
- [8] IADC Observation Campaigns,
43rd Session of UNCOUOS S&T SC, Februar 2006.
- [9] Nickolay N. Smirnov:
Space Debris 2000, ISBN:0-145-27907-0, pp.3–33.