TAKARÍTÁS LÉZERREL VAGY SZIGONNYAL

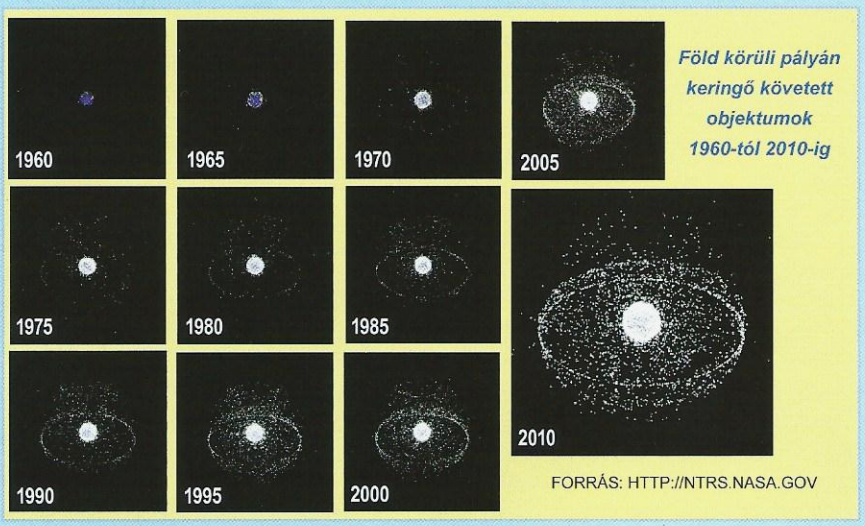
MIT KEZDJÜNK AZ ŰRSZEMÉTTEL?

Az űrtechnika olyan mélyen beivódott mindennapjainkba, hogy nehezen tudnánk nélküle elképzelni az életünket. Természetesnek vesszük, hogy kommunikálunk a különböző földrészek között, hogy több száz televíziós adót fogunk, hogy e-maileket írunk és közösségi oldalakon posztolunk, hogy a navigációs készülék mindig a helyes célhoz irányít minket, vagy hogy van esélyünk megjósolni az elkövetkező napok időjárását. Ezek a napi tevékenységek mind-mind műholdak segítségével jöhetnek létre. Meghibásodásuk esetén vagy életciklusuk lejárta után viszont ezek az eszközök továbbra is korábbi pályájukon maradnak, s ottani céltalan sodródásuk előbb-utóbb olyan katasztrófát idézhet elő, minek következtében a jelenlegi kényelmes életünk pillanatok alatt véget érne.

Talán nem is gondolnánk, milyen rohamos mértékben nő a Föld körül keringő űreszközök száma: 2014 augusztusában már 1235 darab működő műhold keringett a Föld körül. Idővel azonban minden mesterséges eredetű tárgy működésképtelen lesz és űrszeméttévválik. E tárgyak keringhetnek továbbra is a Föld körül, de a légkörbe lépve el is éghetnek. Űrszemétnek számítanak a rakéták kilövése során leváló üzemanyagtartályok és burkolólemezek, az elromlott vagy kiöregedett műholdak, továbbá ide sorolható például a Nemzetközi Űrállomás legénysége által szándékosan vagy véletlenül az űrbe taszított számos tárgy is. Az ezekkel való ütközés jelentős károkat okozhat a még működő űreszközökben.

Az űrszeméttel való ütközés szempontjából legveszélyeztetettebb helyzetben a 200–1200 kilométer magasságban elhelyezkedő alacsony Föld körüli pályán (LEO, *Low Earth Orbit*) és a 35 786 kilométeren húzódó geostacionárius pályán (GEO, *Geostationary Earth Orbit*) keringő műholdak vannak. Az előbbin kering a felbocsátott műholdak túlnyomó része. Az utóbbi pedig egy olyan különleges pálya, ahol a műholdak Föld körüli keringési ideje megegyezik a Föld tengely körüli forgásának idejével, így az itt keringő műhold minden egyes pillanatban ugyanazon földrajzi hely felett található.

A meghibásodott műholdak, illetve az egyéb forrásból származó törmelékek irányíthatatlanul keringenek tovább bolygónk körül, lassan veszítve keringési magasságukból. A körülbelül 10 centiméteres és annál nagyobb méretű űrszemétdarabokat (a működő eszközökkel együtt) a Föld számos pontjáról nap mint nap nyomon követik, hogy amennyiben ütközés veszélye állna fenn, elkerülő manővereket hajthassanak végre a működő műholdakkal.



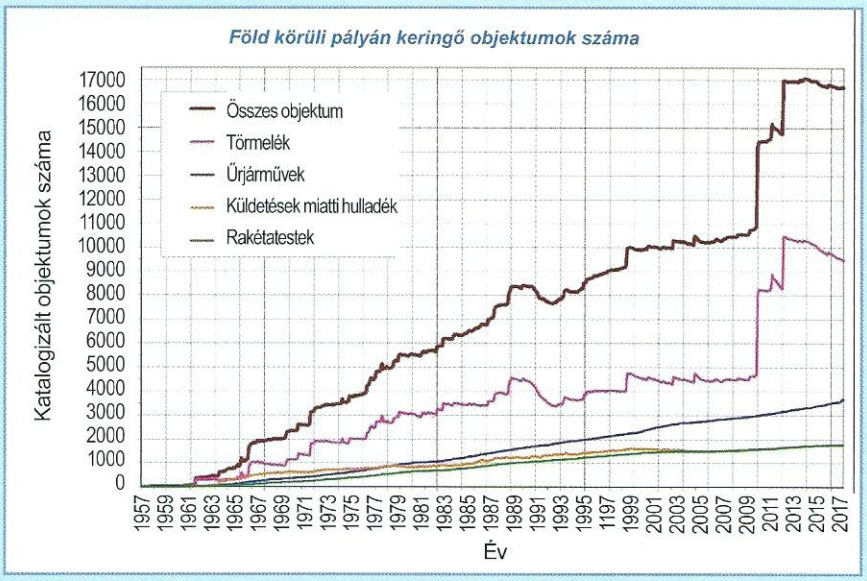
Föld körüli pályán keringő követett objektumok 1960-tól 2010-ig

FORRÁS: HTTP://NTRS.NASA.GOV

Láncreakció

A ma rendelkezésre álló technológiával azonban még nem vagyunk képesek minden egyes darabot nyomon követni: a 10 centiméternél kisebb törmelékek gyakorlatilag nem láthatók számunkra. Vannak 1 centiméternél kisebb törmelékdarabok is, azok azonban többnyire nem okoznak különösebb problémát, mivel a fent keringő berendezések jó részét kerámiaszövetből, kevlárrétegekből és alumíniumlemezekből álló *whipple-pajzsokkal* látták el, amelyek képesek elnyelni ezeknek az apró törmelékeknek a becsapódási energiáját. E kis törmelékek akkor jelenthetnek gondot, ha például a műhold energiaellátásában fontos szerepet betöltő napelemekkel ütköznek, ezeket ugyanis nem lehet az említett pajzsokkal beborítani. A legnagyobb problémát a jelenleg alaposan még nem megfigyelt, 1 és 10 centiméter közötti mérettartományba eső törmelékek okozzák. Ezek képesek akkor is kárt tenni a működő eszközökben, ha azok pajzsokkal vannak felszerelve, mivel a LEO-pályán megközelítőleg 8 kilométer/szekundumos sebességgel keringenek.

Egy működő műhold űrszeméttel való ütközés következtében részlegesen vagy teljesen megsemmisülhet, s darabok ezreire is szétszakadhat, jelentős



mértékben tovább növelve ezzel az űrben keringő törmelék darabszámát.

Napjainkig két olyan eseményt tartunk számon, melyek drasztikusan megnövelték az űrszemét mennyiségét: 2007. január 11-én Kína rakétával semmisítette meg egy nem működő műholdját, 2009. február 11-én pedig egy amerikai távközlési cég egy még működésben lévő műholdja ütközött össze egy használaton kívüli orosz műholddal. Egy ilyen ütközés miatt keletkező néhány ezer irányíthatatlanul keringő törmelékdarab további eszközök megsemmisülését, feldarabolódását idézheti elő, ami egy *Kessler-szindrómának* nevezett láncreakcióhoz vezethet: Ennek drasztikus végeredményeként legalább a LEO-pályán keringő összes működő eszköz megsemmisülhetne, és az így keletkező hatalmas törmelékfelhő miatt akár évtizedekre le kellene állítani az űrhajózást is.

Az űrszemét egyre több problémát okoz tehát az űrügynökségeknek. A Nemzetközi Űrállomás legénységét már két ízben (2009-ben és 2011-ben) közvetlenül is érintette a probléma, amikor félő volt, hogy az űrállomás egy törmelékkel ütközik, és így evakuálni kell. Ekkor a legénység a Szojuz fedélzetére volt kénytelen visszahúzódni.

Az űrszemét mennyiségének növekedését égetően fontos lenne megállítani. Az előbbiekben bemutatott láncreakció ugyanis nemcsak az űrhajósokat érintené, hanem teljesen megbénítaná mindannyiunk modern és kényelmes életét. Éppen ezért a problémát orvosolni képes különböző elméleti módszerek kifejlesztése jelenleg is folyik, ám nagy hátrányuk egyelőre, hogy mindegyik csak papíron létezik. Ennek oka egyrészt az igen magas költség, amely e létesítmények létrehozásánál és üzemeltetésénél felmerül, másfelől a módszereket még nem tesztelték a gyakorlatban, így azt sem lehet tudni, melyik lesz a legmegfelelőbb.

A rengeteg ötlet között akadnak olyanok, amelyek nagy valószínűséggel soha nem fognak megvalósulni. Ilyenek például a *közegsűrítésen alapuló módszerek*, ahol gázt, fagyott ködöt vagy aerogélt terítenének szét a lelassítani kívánt űrszemét előtt. Az a megnövelt közegellenállásnak köszönhetően lassulna, ennek következtében letérne pályájáról és a légkörbe lépve elégne. Az egyik probléma ezzel, hogy az így kiterített anyagfelhő rövid időn belül szétoszlana az űrben, így pontosan kell azt a célzott törmelék elé kiszórni, hogy még megfelelő hatékonysággal lassítson. Ráadásul az e művelethez szükséges rengeteg anyag űrbe juttatása körülményes is lenne, másfelől a kiszórt anyag nem lenne űrszemét-specifikus: minden tárgyat lassítana, ami belehatolna. Kiszórandó fékezőközegként felmerült a wolframpor is, ám használatával egy űrszemét eltávolítását további szemeteléssel tudnák csak megoldani.

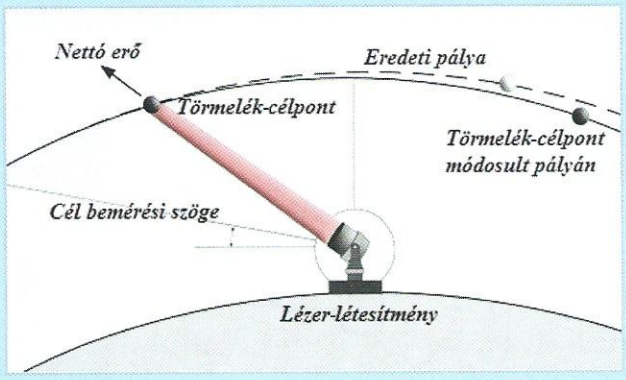
Vitorlázó űrhulladék

Másik megközelítésben egy nagyméretű *vitorlát* rögzítenének a nagyobb űrszemétdarabokra, így azok a megnövekedett felület miatt több felsőlégköri részecskével ütköznének, ennek következtében jobban lassulnának, keringési magasságuk csökkenne és hamarabb elégnének a légkörben, mintha vitorla nélkül keringenének. Kérdés viszont, hogy mi módon lehetne a már kiszolgált műholdakra ilyen vitorlákat erősíteni. Hasonló elven működhetne a GOLD (*Gossamer Orbit Lowering Device*), amelyet a jövőben alkalmaznának: a felbocsájtásra kerülő műholdak mindegyike rendelkezne egy szorosan összehajtogatott ballonnal. Ez csak a műhold életciklusának végén nyílna ki, majd (a felső légkörben nagyon kis mennyiségben jelen levő) héliummal megtelve jelentősen megnőne, s így megfelelő lassító erőt tudna kifejteni a szerkezetre. Kérdés, hogy vajon megérné-e a műholdakat ilyen nagyfelületű fékező berendezésekkel felszerelni, hiszen így jóval nagyobb célpontot biztosítanának az űrben száguldó többi törmeléknek.

A GEO-pálya megtisztítására is több elmélet született már: egyfelől hálókkal és szigonyokkal felszerelt *vontató műholdakkal* vontatnák magasabb, temető pályára a már nem működő eszközöket, vagy ugyanezt elektromosan töltött részecskékkel kialakított elektrosztatikus vonzóerő létrehozásával érnék el. Előbbinél felmerül, hogy menynyi hálót és szigonyt lenne képes

A geostacionárius (GEO) pálya megtisztítását vontató műholdak végezhetnék, melyek hálókkal és szigonyokkal vontatnák magasabb pályára a már nem működő űreszközöket, majd azokról leválva új törmelék felé indulnának. FORRÁS: HTTP://ORBITALDEBRIS.JSC.NASA.GOV

magával vinni egy műhold, lévén az újratöltés megoldása jelenleg még komoly technikai kihívást jelentene, illetve további kérdés, hogy a hálót a nagy sebességgel repülő törmelék nem szakítaná-e ki.



Az egyik leggyorsabb megoldást az űrszemét problémájára a földi lézerállomások létrehozása jelentené. A lézersugárral meglőtt törmelék párologni kezdene, s az emiatt távozó anyag lassítaná azt, aminek következménye a keringési magasság csökkenése lenne. A módosult pályán keringő törmelék ezáltal a földi légkörbe érve semmisülne meg.

FORRÁS: HTTP://WWW.TECHNOLOGYREVIEW.COM

Öngyilkos műholdak?

A jövőben már alkothatunk önműködő robotokat is, melyek képesek lesznek a meghibásodott eszközök megközelítésére, megragadására és megjavítására vagy amennyiben ez nem lehetséges, akkor annak megsemmisítésére. Addig is, amennyiben gyorsan kellene cselekednünk, két dolog jöhetne szóba. Az egyik a *lézeres törmelékeltávolítás*, mely során a nagy energiájú és jól fókuszált lézersugárral a homlokfelületén meglőtt űrszemét párologni kezd, ezáltal anyag távozik belőle. Ez a folyamat lassító erőként hat a céltárgyra, aminek így lassan csökkenni kezd a keringési magassága, végül pedig a légkörbe érve elég. Lézer segítségével a nagyon kisméretű testek is eltávolíthatók, ezek viszont hamarabb párolognak el teljesen, minthogy a légkörbe léphetnének.

A lézer használatával kapcsolatban több szempontot is figyelembe kell venni. Folyamatos nyalábú lézert használva, az űrszemét anyaga nem párologna el, hanem megolvadna és rendezetlen olvadékból álló amorf formákat venne fel, amely nem oldaná meg az alapvető problémát. A pulzáló lézerekhez viszont kevesebb energia szükséges, a pulzálás sebességét széles skálán lehetne állítani, és ez a fajta lézer folyamatosan pulzálva, a törmelék párologtatását egyenletesen fent tudná tartani, miáltal a törmelék egyenletesen térne le a pályájáról. Maga a lézer forrása lehet a Földön és az űrben egyaránt.

Legcélravezetőbbek azonban a földi bázisú lézerállomások lennének, mert egyszerűbb több energiát biztosítani a földi bázisoknak, hogy a lézersugár ilyen távolságból is hatékonyan legyen képes párologtatni a törmelékeket, mint folyamatos üzemanyag-utánpótlást biztosítani a lézerrel felszerelt műholdak folyamatos manőverezéséhez.

Takarító műhold munka közben: az elképzelések szerint a célobjektumot olyan pályára állítaná, amelyen a légkörbe érve hamar megsemmisülne

Nem lenne elegendő azonban csupán egy állomás kiépítése a felszínen, az egész égbolt lefedettségének érdekében több helyen kellene ilyet létesíteni.

Szintén megoldást jelenthetnének a takarító és a kamikaze műholdak. A *takarító műholdak* megragadnák a célobjektumot és olyan pályára állítanák, amelyen megsemmisülnének. Mielőtt azonban ez bekövetkezne, elengednék a törmeléket, pályát módosítanának és új célpont felé indulnának. Ellenben a *kamikaze-műholdak* a célpontot megragadva, azzal együtt semmisülnének meg a légkörbe való belépéskor. A kamikaze műholdaknak tehát nagyon alacsony előállítási költségűnek kell lenniük, a takarító műholdaknak viszont valamilyen módon meg kell oldani a mozgásukhoz szükséges energia biztosítását.

Rengeteg elmélet van tehát az űrszemét problémájának megoldására és valószínűleg továbbiak is napvilágot láthatnak még a közeljövőben, ám hangsúlyozandó, hogy egyelőre ezek egyike sem valósult meg. Napjainkban egy svájci laboratóriumban dolgoznak öngyilkos robotok (kamikaze-műhold) kifejlesztésén, illetve egy ausztráliai kutatócsoport tíz éven belül egy földi lézerrel szeretné megkezdeni a takarítást. A kérdés csupán az, hogy van-e még ennyi időnk?

Bebizonyosodott, hogy az antropogén hatások miatt megnövekedett légköri szén-dioxid-koncentráció is hatással lehet az űrszemét helyzetére, hiszen amíg az alsó légkörben a szén-dioxid felmelegedést okoz, addig a termoszféra (~90–700 kilométer) hőmérséklete csökken és így fokozatosan összehúzódik. Ez azzal jár együtt, hogy a LEO-pályán keringő törmelékekre kisebb fékezőerő hat majd, így több időt fognak Föld körüli pályán tölteni, azaz adott időpillanatban a mennyiségük is jóval nagyobb lehet. Bármelyik módszer mellett is döntünk, a legfontosabb, legcélravezetőbb óvintézkedés a további űrszemét keletkezésének minimalizálása vagy leginkább megelőzése lenne.

Egy olyan világban, ahol életünket ilyen mértékben áthatják a műholdas technológiák, cselekednünk kell mihamarabb. Ráadásul mindez nem csak néhány ezer kilométeres távolságon belüli jelenség. A földi rendszeren kívülre eljuttatott és már nem funkcionáló űrszondák száma is folyamatosan nő, így hulladékunk már a Hold és más bolygók felszínén is megjelent, nem beszélve a már megcélzott vagy a jövőben megcélzandó üstökösök, kisbolygók felszínére eljutott, továbbá a Naprendszerben száguldó ember alkotta tárgyakról. Ezek jelentéktelennek tűnhetnek, de foglalkoznunk kell azzal, hogy mindenhol szemetet hagyunk hátra magunk mögött, ahova csak eljutunk.

Mihályi Dávid
Mészáros János
Farkas Alexandra