

Fotó: Gschwind/archiv, Google

Mit sem ér, ha nem szólal meg

# Kis műholdak forradalma

**Az első Szputnyik a maga 80 kilogrammjával nem volt aprónak nevezhető. Az első kicsi az 1958-ban pályára állított Vanguard lehetett 1,4 kilogrammal. Kis műhold alatt cikkünkben a mini-, mikro-, piko- és nanoműholdakat értjük. A további fejlődési irányt részben a hordozórakéták toloréjének növekedése, részben az elektronika fejlődése, az egyre jobb hatásfokú napelemek határozták meg.**

holdak ma felügyelet nélküliek, súlyuk több tonna, és valóságos antennaerdőt hozdnak magukon. Hasonló növekedés tapasztalható a Föld köré vagy a távoli világűrbe indított, tudományos kutatásokat végző űrszondák esetében is. Napjainkban a legnagyobb tömeget az űrben a **Nemzetközi Űrállomás (ISS)** képviseli 400 tonna fölötti tömegével.

A nagyok megvalósítására megszületett az űripár. A tervezés, kivitelezés jól képzett mérnököket igényel. Az új technológiák, anyagok űrbeli kipróbálása, egy-egy új fizikai mérés gyakran gyors megvalósítást, eredményhez jutást kíván. Ezen tesztlesekhez elegendő egy-egy, a Föld körülű alacsony pályán működő, kisebb méretű, de rövid fejlesztési idővel megvalósított műhold.

## Az oktatás segítése érdekében vissza a kicsikhez

Az egyre gyorsabban növekvő űripár a világűrbe kerülő berendezések tervezésére járatos, az egyetemi oktatás befejezése után rövid időn belül önálló munkára képes, jól képzett mérnököket kíván. A fejlett űriparral bíró országok az egyetem-ipar kapcsolat erősítésére törekednek. Az általában a világűrbe

kerülő részegységek tervezésével, modellezésével, mérésével valósult meg.

A kivitelezés követésére, az „igazi” technológia megismerésére nem nyílt lehetőség. Éveknek kellett eltelniük, míg a berendezés a világűrbe került. A hallgatók közben befejezték tanulmányaikat, nem lehettek részesei a világűrbe kerülő, munkájukat is tartalmazó egység jó vagy rossz működésének. Nem kaptak olyan jellegű motivációt, amely az űripár területére visszavonzta volna őket. Másol helyezkedtek el. A megoldást keresve olyan tanulmányokba illeszthető, a tanulmányi idő alatt sikerélményt adó elrendezést kellett találni, amely a tervezéstől a megvalósításig, majd a világűrbeli ellenőrzésig vezet. Így a hallgatók sikerélményhez jutnak, megszeretik az űrtechnológiát, szívesen választják életcéljává ezt a területet.

Az amerikai **Robert Twiggs** professzor javaslatára volt az első, amely a 2000-es években reális megvalósítási alapokkal rendelkezett. A cél: a műholdak méretének csökkentésével az előállításukhoz szükséges időt és pénzt is csökkenteni. A kidobószerkezet szabványosított mérete a különböző rakétákra való elhelyezést egyszerűsíti, ezzel alacsony szinten tartja a pályára állítás költségeit. Egyetemi éveik alatt (ez maximum három évet jelenthet) jussanak el a hallgatók a világűrben történő működés igazolásáig. Összehasonlítva az **ESEO (European Student Earth Orbiter)**, több egyetem együttműködésében készülő műhold fejlesztési idejével: tízéves fejlesztési idővel, talán a jövő évben fog pályára állni.

A Twiggs-elv: az alapláték egy 10x10x10 cm-es kocka, nevük is ehhez igazodik, cubesat = kockaműhold. Ez a méret lett az egység: **1U**. A súlykorlát: 1 kg. Az alapokat megtartva (10x10 cm) magasabb változatok is megvalósíthatók (**2U, 3U, ..., 6U**), s illeszthetnek a kidobóegységhez is.

## A siker és következményei

A nagy űraktivitással bíró országok közül az Egyesült Államok és Japán egyetemei gyorsan ráéreztek a kockák oktatásbeli, pozitív szerepére. Az első célja szinte kizárólag technológiai kísérlet volt. Teljesítse az alapvető feltételeket: működjön a világűrben. Ez a cél napjainkban sem szűnt meg, de kiegészült a Föld térségét vizsgáló műszerek elhelyezésének lehetőségével is, természetesen a behatárolt térfogat, energia adta lehetőségek figyelembevételével. Új anyagok, integrált áramkörök kipróbálására is sor került. Ezek gyakran meggyőzőbbek, mint a földi mérések, szimulációk.

A földi kapcsolatot biztosító telemetriarendszer is széles körű vizsgálatokra ad lehetőséget. A kinyitható napelemszámnyak, antennák, azok nyitómechanikái szintén érdekes feladatokat jelenthetnek az egyetemi hallgatóknak és gyakran az oktatóknak is.

A megvalósításnál alapvető cél a lelkes hallgatók lehetőleg széleskörű bevonása, természetesen oktatók, kutatók felügyeletével. Ez az együttes nem mindig működik kifogástalanul. A hallgatói függetlenség, önállóság, a

A hírközlés, műsorszórás, meteorológia, illetve a felderítés mellékágából kinőtt távérzékelés területén jelentek meg először olyan méretű műholdak, amelyek súlyát a rakéta hordképessége határozta meg.

Napjainkban az említett területeken működő műholdak súlya tonna nagyságrendű. Ezek a geostacionárius pályán lévő hírközlési

tanácsok figyelmen kívül hagyása, a földi tesztek lerövidítése, esetleges elhagyások sokszor kudarchoz vezet. A Föld köré tett „kockák” fele meg sem szólal a pályára állás után.

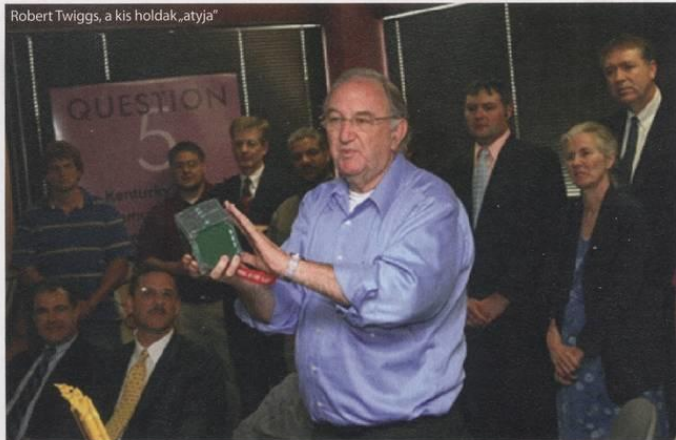
Az Egyesült Államok és Japán – felismerve a „kockákban” rejlő, a mérnökutánpótlást segítő szerepet – más országokban készült műholdakat nem visz fel. A klasszikus orosz, módosított hadirakéttákkal több kicsit, legutóbb például 36-ot is pályára állítanak. Hasonlóan nyitottak az indiai hordozórakéttal is. Kína csak elvétve vállal, főleg a vele szorosabb együttműködésben lévő országokból, bér- vagy ajándék jellegű startot. A Föld körül keringő kicsik száma jelenleg kétszáz fölött van, és ez évben közel száz újabb várható. A hordozókon bőségesen van szabad kapacitás.

Az előállításuk költségeiben az alkatrészek árát könnyebb megbecsülni. A kiadások fedezésében jelentős szerepet játszhat a szponzorálás. Az emberi erőforrás költségeibe nem számítják a hallgatók munkáját, az oktatók munkaköri kötelessége az oktatás, a konstrukció segítése. A pályára állítás pályától függetlenül 80 ezer euró körüli. Biztosítást általában nem lehet kötni, nagy a kudarc esélye. A start teljes költsége elérheti vagy bonyolultságtól függően többszöröse is lehet a 100 ezer eurónak. Ezt általában egyetlen egységem sem engedheti meg, nem bírja el a költségvetése. Meghatározó a támogatók segítségével.

### Pályák és űrszemét

A felhasznált alkatrészek az esetek többségében nem űrbeli alkalmazásra készültek. Ennek megfelelően a választott pályától függetlenül a fedélzeti elektronika élettartama néhány hónaptól néhány évig terjedhet. Kiemelkedő néhány japán konstrukció (alkatrészek), amelyek űripari háttérrel készültek. Ezek közül többnek az élettartama megközelíti a tíz évet. Az elektronika meghibásodása után a műhold űrszemétté válik.

A kicsiket készítő hallgatók érdeklődése a start után legfeljebb néhány hétig, tipiku-



san néhány hónapig tart. Az olcsóbb pályára állítást gyakran úgy oldják meg, hogy egy nagyobb, valamilyen egyéb, professzionális műhoddal egyszerre viszik fel. Ez a pálya általában több tíz éves, esetenként akár százéves fennmaradást is biztosít, növelve az űrszemét mennyiségét. Jobb megoldás, ami különösen az utóbbi években terjedt el, az ISS-ről történő, robotkarral végrehajtott kidobás. Ez egy évnél rövidebb élettartamot biztosít.

Egyre jobban erősödik a nemzetközi összefogás (bár hatása még nem nagyon érzékelhető), hogy csökkentjük, s ne növeljük az űrszemét mennyiségét. Ennek megfelelően előtérbe kerülnek az alacsony pályát kívánó programok, amelyek összhangban vannak a fedélzeti elektronika várható élettartamával.

A magyar **Masat-1** elliptikus pályája elvileg három év körüli élettartamot biztosít (*Aeromagazin 2011. dec.-2012. jan., 69. old.; 2012/3, 83. old.; 2012/4, 46-49. old.*).

Az első két évben három alkalommal jelezte az amerikai megfigyelő szolgálat egy-egy űrszemét veszélyes távolságon belüli elhaladását. Nem is olyan nagy a Föld körüli térség.

### A rádióamatörök szerepe

A rádióamatör szolgálat definíciójának kezdőmondatában kiemelt szerepe van az önképzésnek. Az 1961-es első startot napjainkig több mint száz követte, köztük egészen nagyok (AO-40). Ezek alapvető célja a rádióamatör pont pont közötti összeköttetésének segítése műholdfedélzeti átjátszók alkalmazásával.

Az ingyenes vagy nagyon olcsó startok megszűnése visszaszorította a nagyméretűek konstrukcióját. Az egyetemi aktivitással megszülető, alacsony pályás kicsiknek nagy szükségük volt a telemetriajelek vételére olyan területek fölött is, amelyek nem lehetnek az egyetemi felelősségtől „láttni”. További ösztönzés az egyetemi háttér és a rádióamatörök közötti együttműködésre a rendelkezésünkre álló véges frekvenciatartomány. Megszületett a mindkét fél számára alkalmas megoldás, a közös sávhasználat. Ezzel elkerülhetővé tették az ITU (*Nemzetközi Távközlési Egyesület*) regisztrációs díjának fizetését is (oktatási célú felhasználás). A rádióamatör-forgalomban csak nyitott, mindenki által megfejthető telemetriajel-átvitelt lehet alkalmazni.

A műholdas kommunikáció iránt érdeklődő rádióamatörök örömmel veszik az önképzésben készült kicsik jeleit. Egy automatizált követőrendszerrel, Doppler-korrektívával, nagy nyereségű antennával ellátott vevőállomás kialakítása, üzemeltetése nagy kihívást, szakmai tudást jelent. A szabadon hozzáférhető Kepler-pálya-elemekre alapozott előre jelző programok nagy segítséget jelentenek az égi mechanika alapjainak megértésében.

Az internetháttér gyors adatátvitelt tesz lehetővé. Az első magyar műhold, a Masat-1 esetében a startot követő időszakban 170, a föld különböző részein élő rádióamatőrtől



A P1 méretű SMOG-1 makettje



kaptunk interneten keresztül telemetriaadatokot. A műhold regisztrációja is kettős: az egyik az ITU (Masat-1), a másik pedig a rádióamatőr (MO-72).

#### Visszatérés a professzionális űrtevékenységre

Az egyetemi háttérrel, olcsón, egyre bonyolultabb méréseket végző kicsik sikerét látva a professzionális űrutasítás figyelme felénk fordult. Segítségükkel, tömeges alkalmazásukkal megnyílt a lehetőség például a Föld környezete finom struktúrájának vizsgálatára. Előkészületben van az **ESA QB-50** projektje, amely ötven kicsit látott el azonos érzékelőkkel. Rajban repülve nagy terület egyidejű vizsgálata válik lehetővé.

Nagy üzletnek ígérkezik a távérzékelés, a Föld felszínének megfigyelése 3U méretű, 85 mm átmérőjű optikák alkalmazó kisműhold-csoporttal (**Planet Labs**). A földfelszíni felbontásuk jelszava: nem látni az embert, de meglátni a fát. Jelenleg, a rendszer próbája-

ként, több mint három tucat kering a Föld körül. A végleges elrendezésben több mint száz ontja majd a képeket. A jelenleg működő, távérzékelést alkalmazó műholdak hátránya, hogy egy-egy földfelszínvezettről csak ritkán, két-három hetente tudnak képeket készíteni. A kicsik csoportjának alkalmazásával ez akár egy-két napra csökkenthető.

A legmeglepőbb a **NASA** által kiírt pályázat, amellyel a Hold körül keringő, 6U méretű műholdak alkotására hív fel. A hajtómű, a kommunikáció a kiemelt terület. Jelentős pénzügyi támogatásban részesülhetnek a pályázók. A kiírás nem csak egyetemeknek szól.

#### A legkisebbek és hazai kihatásuk

Az 1U méretű műholdak a kisebb, szegényebb egyetemek, országok számára nem megfizethető kihívást jelentenek. Vannak olyan kísérletek, mérések, amelyek ennél kisebb műholdon is elhelyezhetők. A gyorsan fejlődő elektronika egyre nagyobb alkatrész-sűrűséget biztosít.

Twiggs professzor 2013-ban egy újabb javaslattal állt elő: az új, zseb-, illetve pikoműholdak alpmérete 5x5x5 cm legyen (**1P méret**). Térfogata az 1U-nak a nyolcada. A napelemek elhelyezésére alkalmas felület ideális esetben mindössze 150 cm<sup>2</sup>. A kezdeti lendületet néhány példány megszületése követte. Az **Eagle-2** 1,5P méretű. Jól működik, míg a német 1P, a **Wren** meg sem szólalt. Ez évben még több start várható. A alacsony pályára juttatás költsége mindössze 15 ezer euró.

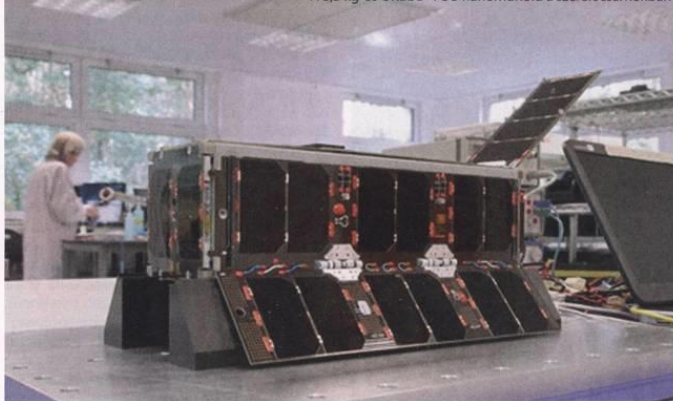
Hazai lehetőségeink is biztatóan alakulnak. Jelen cikk szerzője több mint húsz éve keres lehetőséget a Föld körüli térség ember által okozott elektromágneses szennyezésének vizsgálatára. A mérés, amely a környezetvédelem és a műholdas távérzékelés témakörébe tartozik, kedvező fogadtatásra talált az Európai Unió szakértőinek körében – megjegyezve, hogy hasonló mérést még sehol sem végeztek. Első lépésként a tévéadók, ezt követően az URH-hangadók, majd a rádiótelefon-rendszerek által a világűrbe sugárzott jelek vizsgálata, mérése jönne szóba.

Az elektronika nagyfokú integráltsága, kis fogyasztása lehetővé teszi egyetlen tokba helyezett áramkörrel egy teljes spektromanalizátor megvalósítását. A kétoldali rádiókapcsolat, a fedélzeti számítógéphez hasonlóan, szintén egyetlen integrált áramkörre épül. Nagy kihívás a napelemek energiaellátás megvalósítása és az energia akkumulátoros tárolása.

A Műegyetemen az 1P méretű **SMOG-1** (5x5x5 cm) fejlesztése megkezdődött. Gépész- és villamos kari hallgatók – egyetemi feladataik közé iktatva – kis csoportokban, oktatók segítségével dolgoznak a fejlesztésen. Keresünk további szponzorokat. A folytatás is támogatásfüggő. Bizunk benne, hogy további műholdakat is sikerül megvalósítanunk. A pályára juttatást az ISS-ről tervezük.

#### Dr. Gschwindt András, a Masat-1 és a SMOG-1 projekt vezetője

A 3,5 kg-os UKube-1 3U nanoműhold a szerelőcsarnokban



A 7 kg-os lengyel csillagászati minihold, a Hewellusz

