

Gschwindt András*

Kis műholdak forradalma

Tény, hogy az utóbbi két évtizedben ugrásszerűen megnőtt a kis műholdak száma. A cikk szerzője a következőkben kiindulásuk, gyors elterjedésük okait, azok hazánk űrtevékenységére gyakorolt hatását kívánja bemutatni.

A „POST APOLLO” HATÁS

Az 1960-as évek végen, az USA és a Szovjetunió közötti űrverseny az USA győzelmével végződött. Amerikai nemzetiségű űrhajósok léptek a Holdra. Az Apollo-program azonban nagyon sokba került, ezért a 1970-es évek elején a további tervek leállították. A fejlesztések csúcsidejében 420 ezer műszaki végzettségű szakember dolgozott a sikerért. A leállítás után 190 ezren kaptak lehetőséget az űrtevékenységhez kapcsolódó munkákban való részvételre. Ez a szám nem növekedett lényegesen az ezredfordulói, amikor jelentős szakemberhiány mutatkozott. Háttérbe szorultak az Apollo-programhoz hasonló, erős motivációt igénylő fejlesztések. A Mars térben és időben messze van. A gyorsan felfutó, rövid időn belül sikerélményhez juttató informatika, számítástechnika, később az autópálya, sokkal vonzóbb volt a fiatalok számára, mint az űrbe kerülő berendezések fejlesztésében való részvétel. Ezek a berendezések gyakran csak évek múlva kerültek pályára, és késleltetve nyújtottak sikerélményt a közreműködőknek. Nem volt túl vonzó a helyzet a pályájukat kezdő műszakiak számára, ráadásul a fizetések sem csalogatták a fiatalokat az űrtechnika felé. Szakemberhiány lépett fel és keresni kellett az „űrbe csábító” megoldást.

AZ ÉRDEKLŐDÉS FELKELTÉSE

Nem volt egyszerű a feladat, ráadásul rövid idő alatt, lehetőleg még a tanulási időszakban (2-4 év) kellett a fiatalok számára olyan űrtevékenységhez kapcsolódó feladatot,

kihívást találni, amely maradandó sikerélményt nyújt. A klasszikus megoldás, amely a nagy űrprojektekbe történő bekapcsolódást jelenti – ahogy ez hazánkban is történt –, mérsékelt eredményhez vezet. Olyan saját projektet kellett kitalálni, amely illeszthető a tanulás időszakához és valamilyen szálon az űrhöz kötődik. Kis műholdmodellek elkészítése egyszerű mérésekkel kiegészítve, majd ballonnal vagy kis rakétákkal 1–30 km magasra való röptetése már közelebb visz az űrhöz. Ilyen jellegű projektet hazánkban néhány lelkes egyetemi hallgató az 1960-as években valósított meg (STRAPA program). Az USA-ban a 1990-es évek végén egyetemistákat próbáltak ily módon motiválni. Az eredmény mérsékelt volt.

TWIGGS PROFESSZOR ÖTLETE

Az amerikai Robert Twiggs professzor kreatív gondolata alapvetően a tényekre épült. Akármilyen eszközt csinálhatnak a fiatalok, azonban annak rövid időn belül el kell készülnie, fel kell kerülnie az űrbe, majd ottani működését az általa sugárzott adatokkal bizonyítani szükséges. Aki ezen a folyamaton végigment, szinte biztosra vehető, hogy egész életében az űrhez fog kötődni. Megszületett a kockaműhold (cubesat) ötlete, amely egy 10 cm-es élhosszúságú kockát jelentett. Mérete elég kicsi volt ahhoz, hogy viszonylag olcsón az űrbe kerülhessen, de elég nagy ahhoz, hogy 2000-es évek alkatrészbázisára támaszkodva, belsejében elférjenek egy műhold alrendszeri (energiaellátás és -tárolás, számítógép, telemetria). Később ez a technológiai jellegű összeállítás tovább bővült, helyet adva egyéb űrbeli kísérleteknek. A kockaforma lehetővé tette az űrbe juttatás könnyebbé tételét, a jó helykihasználást. Az 1 kg-ra maximalizált tömegbe belefértek az alkatrészek (elektromos és mechanikus) és az energiatároló akkumulátor is. Az űrbe szállító rakéta fedélzetére kerüléshez teljesíteni kellett a kocka szigorú tesztelését (rázás, kigázosítás, hőkamra stb.). A konstrukció során végig tudatában kellett lenni

ÖSSZEFOGLALÁS: Az elmúlt évszázad végén az USA űraktivitásában jelentkező szakemberhiány az egyetemi oktatókat arra ösztönözte, hogy új módszert találjanak az egyetemi hallgatók űraktivitás területére történő mozgósítására. Twiggs professzor a cubesat (kockaműhold) ötletével biztosítani tudta, hogy a hallgatók rövid időn belül sikerélményhez jussanak. Később, a megvalósítás magas költsége miatt az 5 cm élhosszúságú kocka került előtérbe. A SMOG-P a világ első 5 cm élhosszúságú kockája, amelyik jól működik a világűrben, fedélzetén a Föld környezetében lévő, ember keltette elektroszmogot vizsgálva. A hivatásos űrkutatók hamar felismerték a kis műholdak előnyös felhasználását az űrkutatás különböző területein. Manapság egyre több cubesat kering a Föld körül. A távoli bolygók vizsgálatánál is tervezik felhasználásukat. A kis műholdak forradalma napjainkban is zajlik.

KULCSSZAVAK: Kis műhold, kockaműhold, MASAT-1, SMOG-P, SMOG-1, ATL-1, elektroszmog, ion hajtómű, rázás vizsgálat

ABSTRACT: The lack of the manpower in the USA space activity in late last century forced the university teachers to find a new method to move the university students into the space activity. Prof. Twiggs was the inventor with his cubesat idea to ensure success feeling for the young's in short time. The 10cm cube was in short time standardised and nowadays few hundreds are flying from them. In Hungary MASAT-1 was the first one following this line. Later, due to the price pressure the 5 cm cubes came. SMOG-P is the World first 5cm cube to work well in the space carrying a measuring set to observe the man made elctrosmog covering our Earth. The professional space researchers in short time recognised the smalls advantage in different space research applications. Today more and more cubes are in the space orbiting not only the Earth but they are planned to investigate far planets too. The revolution of the cubesats are in progress.

KEY WORDS: Small satellite, cubesat, MASAT-1, SMOG-P, SMOG-1, ATL-1, electrosmog, ion thruster, vibration test

* Villamosmérnök, címzetes docens. BME VIK Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszék. ORCID: 0000-0002-2574-0991

annak a ténynek, hogy a berendezés a világűrbe kerül, ahol nincs lehetőség az esetleges hibák utólagos javítására. A feladat nem egyszemélyes. Csoportok alakultak, ahol mindenki, gyakran még a vezető oktató is, a folyamatos tanulás kényszere alá került. Sikerült visszazerezni az űr iránti érdeklődést, bár hozzá kell tenni, még napjainkban is hiány van az űrtechnológia területén alkotni képes mérnökökből.

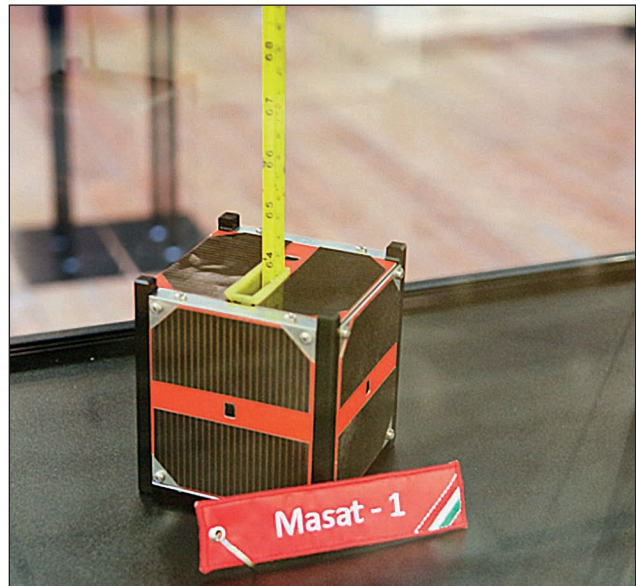
A HAZAI HELYZET

Az 1960-as években indult hazai űraktivitás, az Interkozmosz, a szocialista országoknak az űr békés felhasználására irányult együttműködésébe illeszkedett. Az 1970-es évektől szovjet műholdakba készültek hazánkban részegységek, önálló mérések, kísérletek. Műegyetemi háttérrel többször is próbálkoztunk önálló magyar műhold létrehozásával. Ezek politikai (pl. nem készülhetett nyugati együttműködéssel) vagy anyagi okok miatt nem valósultak meg. Mai szemmel nézve is kijelenthető, csak kis erőfeszítés, segítség kellett volna, hiszen a szovjet start ingyenes volt, és a kritikus alkatrészekhez (napelemek, akkumulátor) szovjet háttérből, ingyen könnyen hozzá lehetett volna jutni. Ekkor születtek meg az első csehszlovák és lengyel műholdak. Az utolsó reményt, egyben próbálkozást a rendszerváltást követő években a műszaki egyetem 200 éves évfordulójának ünneplése adta volna, de az anyagiak hiánya miatt akkor sem adatott lehetőség. Ma is nehéz lenne előteremteni az akkor 25 kg-os tömegűre tervezett műhold anyagi fedezetét. A további lehetőségeket maga alá temette az összeomló Interkozmosz-együttműködés.

ÚJABB PRÓBÁLKOZÁS MŰEGYETEMI KÖRNYEZETBEN

A „két szék közül a pad alá” avagy Interkozmoszból ki, de az Európai Űrügynökségbe (ESA) nem be helyzet jellemezte az ezredforduló körüli állapotot. Az ESA tagságunkra, a rendszerváltás után még 22 évet kellett várni. Ebben a környezetben az évtizedek alatt felhalmozott tudás és szakemberállomány megtartására kellett törekedni, ami jelentős projektek nélkül nehezen ment. A szakemberek megtartásában sokat segített részvételünk az ún. Rosetta-projektben.

A gyorsan terjedő kockaműholdak csábítóvá tettek egy újabb kísérletet: ismét próbálkozni kellene magyar műholddal. 2006-ban a Prof. Dr. Klaus Schilling, a würzburgi Julius Maximilians Egyetem robotika és telematika tanszékének professzora ellátogatott Budapestre, egy műegyetemi bemutatóra. Erre a bemutatóra egy 10×10×10 cm-es kockával érkezett. A közönség nagy része lelkes hallgatókból, oktatókból állt, akik a látványos előadás és bemutató hatására azonnal nekiláttak volna, hogy fél év alatt elkészítsék az első hazai kockát. Megalakult egy csoport, akik szoros egyetemi kötődés nélkül, erős akarattal elkezdték a munkát anélkül, hogy erre anyagi fedezet rendelkezésre állt volna. Megszületett a név is Magyar SATellit, MASAT-1 (1. ábra). A műholdfejlesztés alapvető célja a tanulás volt. Az oktatók és hallgatók be kívánták bizonyítani, hogy a Budapesti Műszaki Egyetemen létezik az az oktatási, kutatási színvonal, amelynek birtokában műholdat lehet fejleszteni. Technológiai jellegű kísérlet indult azzal az egyszerű céllal, hogy a világútból érkező adatok alapján bizonyítsuk a földi tervezés megfelelőségét. Minden munkafázis az egyetemi oktatás keretében folyt, önálló laborfeladat, diplomaterv, szakdolgozat, tudományos diákköri dolgozat formájában, kredit ponttal díjazva történt. Okulva az előző három ku-



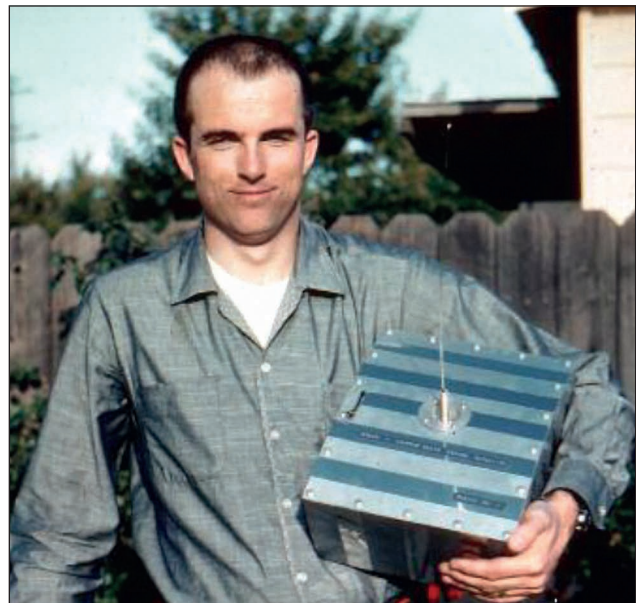
1. ábra. Az első magyar műhold. Mérete a cubesat-ok alapegysége, a 10 cm élhosszúságú kocka

darcból, az anyagi fedezet előteremtésénél kizárólag szponzorokra támaszkodhattunk. Lépésről lépésre, szinkronban az igényekkel sikerült a fejlesztésekhez, pályára juttatáshoz szükséges pénzügyi háttérrel biztosítani. A hatéves fejlesztés, a 2012-es sikeres start, majd a kifogástalan, közel hároméves, a műhold elégségesével záruló üzem bizonyította munkánk színvonalát.

KAPCSOLAT A RÁDIÓAMATŐR MOZGALOMMAL

Minden rádióamatőr kapcsolat vezeték nélküli átvitel kíván. Az első Szputnyik megfigyelése után, 1961-ben lelkes rádióamatőrök már sikeresen pályára állították az első, garázsban készült rádióamatőr célú műholdjukat, amelyet napjainkig több száz követett (2. ábra).

2. ábra. Az OSCAR-1, az első, rádióamatőrök által készített műhold



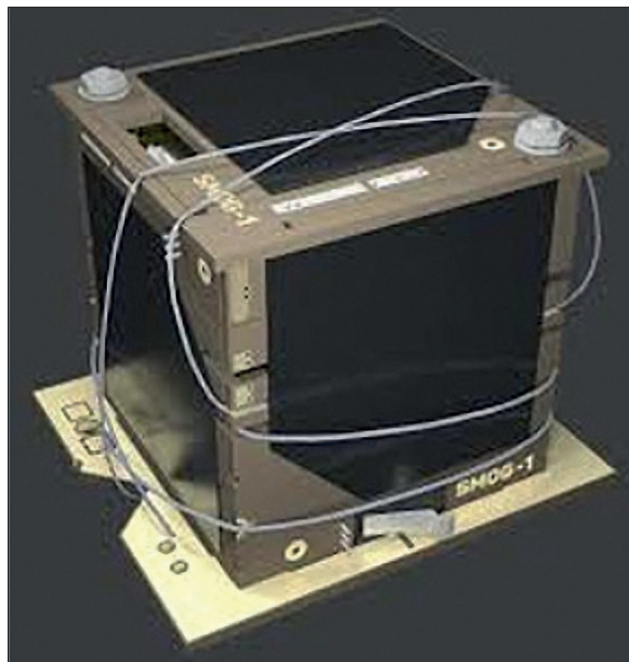
A kockák megjelenésekor természetesnek tűnt, hogy a kockaműholdak telemetria rendszerei a rádióamatőrök számára engedélyezett frekvenciasávokat fogják használni. Frekvenciájukat a Nemzetközi Rádióamatőr Szövetség (International Amateur Radio Union – IARU) ajánlja, és a Nemzetközi Távközlési Egyesület (International Telecommunication Union – ITU) engedélyezi. Nem szabad elfelejtenünk, hogy a rádióamatőr szolgálat definíciójának első szava az „önképzés”, mint a mozgalom alapvető célkitűzése. A MASAT-1 esetében több mint kétszáz, Földünk különböző részein működő rádióamatortól kaptunk megfigyelési adatokat. Természetesen minden kocka nemzetközi szinten regisztrált, mozgásukat professzionális megfigyelőállomások végzik, és a pályák adatainak megadásával segítik a kocka üzemeltetőjét és a megfigyelőket.

HOGYAN TOVÁBB?

A MASAT-1 sikere lendületet adott a folytatáshoz. A csábítás a nagyobb méretű műholdak felé vonzott. Ez azonban nehezen lett volna megvalósítható jelentős állami támogatás nélkül. Az egyetemi környezet természetes adottsága, hogy a végzetek távoznak, helyükbe újabb hallgatók lépnek, akiket újra és újra meg kell ismertetni a műholdfejlesztés rejtelmeivel. Az oktatók adják a biztos támpontot. A továbblépéshez két feladatot kellett megoldani: egy pénzügyileg reális feladatot találni, és azt megtölteni olyan tartalommal, amely túlmutat a technológiai kísérleten. Az alap, a 10 cm élhosszúságú kocka ismételt megvalósítása, pályára juttatása a legtöbb egyetemen pénzügyi gondot jelent. Annak idején Twiggs professzor, látván ugyanezt a problémát, egy újabb javaslattal, az 5×5×5 cm-es kockával állt elő. Ezt lényegesen olcsóbban, egyszerűbben lehet előállítani, és a start költsége mindössze negyede a nagyobb kockáénak. A gondot az jelentette, hogy 2014-ig a MASAT-1 folytatásának indított program kis kockájának nem volt sikeresen működő elődje a világűrben. Nagy kihívást jelentett ilyen feltételekkel belekezdeni a munkába. De nem csak ez volt a probléma. Egy technológiai kísérlet megvalósítása, a kis műhold reptetése nem jelentett igazán szponzort vonzó programot. Kell találni valami érdekes, addig még senki által nem művelt kutatási területet.

Az ELEKTROSMOG

Az elektroszmog napjainkban, földi értelemben egyre gyakrabban használt fogalom. A vezeték nélküli berendezéseink, szolgáltatásaink száma gyorsan növekszik. Az árbóc és az antennaeerdő egyre gyakoribb látvány. Az általuk kisugárzott elektromágneses hullámokat igyekszünk az ember számára elviselhető szinten tartani. De mi a helyzet azokkal a jelekkel, amelyek elhagyják a Föld felszínét? Nincs ideális, csak a föld felszínét követően sugárzó antenna. A felszínről, környezeti tárgyakról reflektált jelek is elhagyják Földünket. A rövidebb hullámok elé az ionoszféra sem állít akadályt. Földünket körbe veszik az ember keltette, az űrben semmire sem használható jelek. Bolygónk távolról egy rádiófrekvenciás zajgenerátornak néz ki. Sajnos, egyre intenzívebben szennyezzük környezetünket: a vizet, a levegőt és a talajt. Ezek jelenlétére, változási tendenciájuk megfigyelésére műhold alapú rendszerek állnak rendelkezésünkre. Sajnos az ember keltette elektroszmogra eddig nem figyelt senki. Reálisnak tűnt a célkitűzés, hogy kis műholdunk feladata legyen a földközeli elektroszmog mérése. Az elnevezése is igazodjon ehhez. Megszületett SMOG-1 (3. ábra).



3. ábra. A SMOG-1, az 5 cm-es kocka behajtott antennával. Vele azonos méretű a SMOG-P

A SMOG-1 MÉRÉSI FELADATA

Twiggs professzor ötlete erősen költségcsökkentő irányított volt. Az 5 cm élhosszúságú kockában el kellett helyezni mindazon egységeket, amelyek a MASAT-1-ben is megvoltak. Olyan eszközöket, amelyek a műhold zavar-talan világűrbeli működését biztosítják (energiaellátás, -tárolás, számítógép, kétoldali kapcsolatot biztosító telemetriarendszer és antennája). Természetesen helyet kell teremteni az elektroszmog mérő műszernek is. A műhold működéséhez energiát kell biztosítani, és „lehozni” a mért adatokat. Mindezt 125 cm³ térfogatban és nem több, mint 250 g tömegben szükséges megvalósítani. A mérések frekvenciasávjának a földi tv-adások frekvenciasávját választottuk. A vételhez reális antennaméret szükséges, és nagyok a várható jelszintek is. A biztonság kedvéért először ballon fedélzetén, 32 km magasra küldtünk fel a mérőrend-

4. ábra. Az elektroszmog-mérőrendszer tesztelése ballonos reptetéssel

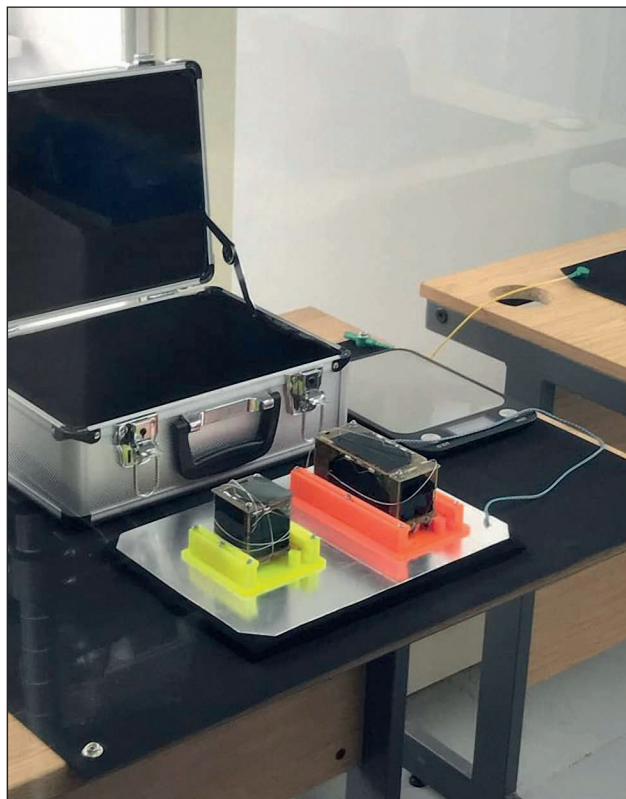
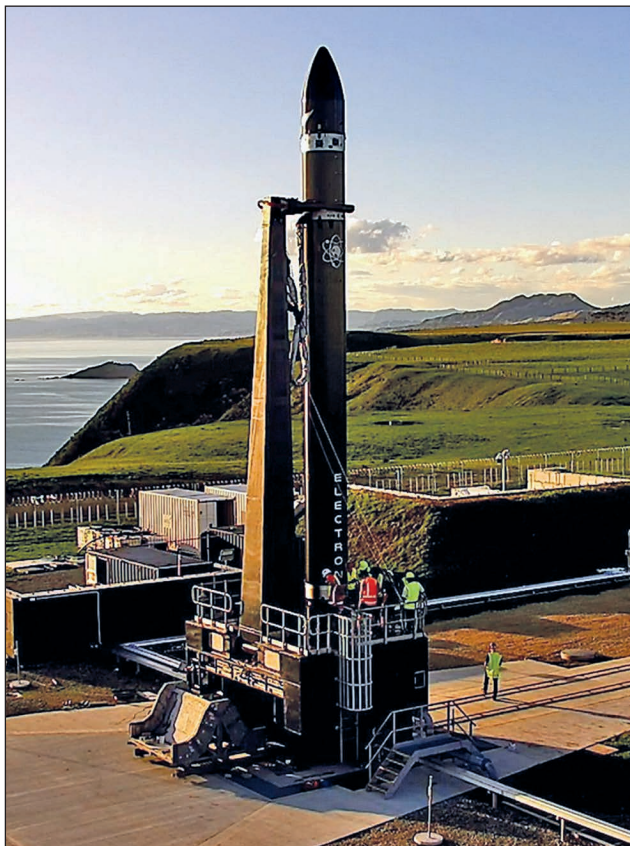


szert, meggyőződve annak korrekt működéséről és az elektroszmozg jelenlétéről (4. ábra). Mindkettő a várakozásnak megfelelő eredményt hozta.

A MEGBÍZHATÓSÁG NÖVELÉSE – A SMOG-P SZÜLETÉSE

SMOG-1 konstrukció készítésekor nem volt előttünk minta. Pontosabban létezett egy német kis műhold az űrben, de pályára helyezése után nem mutatott életjelet. Nem volt honnan tapasztalatot szereznünk. Felhasznált alkatrészeket hivatalosan nem minősítették űrbeli használatra alkalmasnak. A minősítettek magas áruk miatt nem tudtuk megvásárolni. A kiemelkedően jó átalakítási hatások miatt a napcellák kivételét jelentettek ez alól, ezek drága, űrbeli alkalmazásra alkalmas minőségűek voltak. A fedélzeti berendezések megbízhatóságát tartalékolással növeltük. Nagy kihívás volt a gépészhallgatók számára a termikus tervezés. Az akkumulátor hőmérséklete nem mehet 0 °C alá, mert akkor elveszti tárolókapacitásának jelentős részét. Több száz órás folyamatos üzemeltetéssel igyekeztünk a kezdeti meghibásodások esélyét csökkenteni. A kis műholdunk mindenképpen nagy konstrukciós kihívást jelentett. A rizikó mértékéről sikerült egyetemünk vezetését meggyőzni, és rábírní egy kísérleti műhold megvalósításának támogatására, amelyet SMOG-1-et megelőzve terveztünk pályára állítani. Innen a neve: SMOG-P, (Precursor – előfutár). Felépítése megegyezett a SMOG-1-gyel. Működésének adataiból információkat kaphatunk a SMOG-1-en esetleg szükséges módosítások megvalósítására. A SMOG-P 2019. december 6-án Új-Zélandból a Rocketlab cég Electron rakétájával sikeresen startolt (5. ábra). Jelen

5. ábra. A SMOG-P-t pályára állító, 17 m magas Electron rakéta az új-zélandi starthelyen



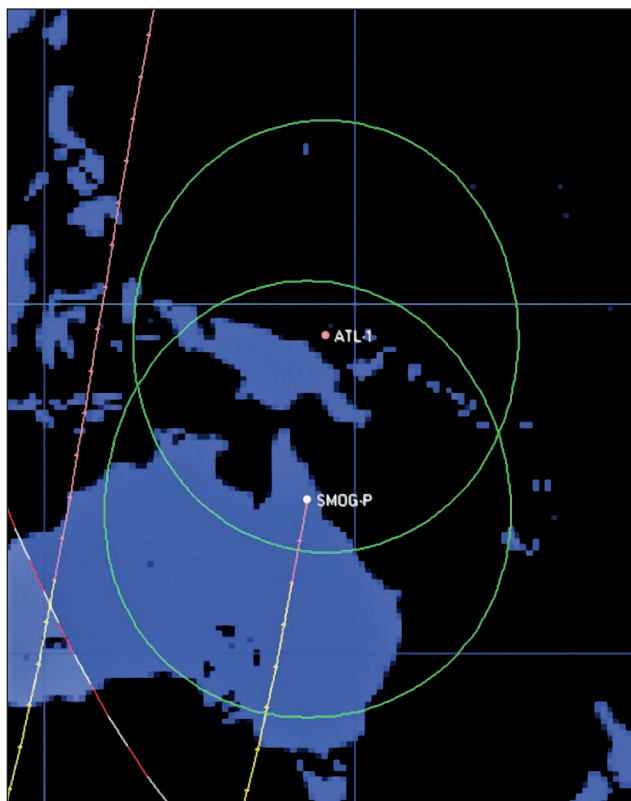
6. ábra. A beszerelésre előkészített ATL-1 és a SMOG-P kockaműholdak

cikk írásáig, több mint egy hónappal a start után, kifogástalanul, jól működik. Adatainak feldolgozásával, analizálásával még jobbá tudjuk tenni a SMOG-1-et. Meg kell jegyezni, hogy az egyetemi környezetekben készült kis műholdak közül alig harmaduk ad életjelet pályára állásuk után. A SMOG-P az 5 cm-es élhosszúságú kockaműholdak kategóriájában világelső. Súlya mindössze 182 gr. A műhold váza nyomtatott áramkörtől (PCB) épült fel. Ezek a lapok, mint szerkezeti elemek, néhány évtizeddel ezelőtt illúzióknak tüntek volna.

A MAGYAR ÚTITÁRS

A kis műholdak nagy előnye, hogy rövid idő alatt elkészíthetők. A megvalósítás és a pályára juttatás költségei is alacsonyok. Erre a háttérre támaszkodva született meg az ATL-1 műhold, amely nevét az ATL Kft.-ről nyerte, ahol a műhold készült. Az ATL-1 hazánkban az első magánvállalkozásban készült űreszköz. Mérete a SMOG-ok kétszerese, azaz 5×5×10 cm. A két műhold a kidobó szerkezetbe helyezésre várva a 6. ábrán látható. ATL-1 feladata egy speciális szigetelőanyag vizsgálata, amelyet a műholdon akkumulátorok hőszigetelésével tesztelnek. Együtt állt pályára SMOG-P-vel és az első hónapos üzeme után elmondható, kitűnően működik. Fejlesztésében kulcsszerepet kaptak a műegyetem hallgatói. Érdemes megjegyezni, hogy ugyanazon rakétával, a két magyarral együtt négy másik kicsi műhold is pályára állt. Egyikük sem adott életjelet, igazolva a statisztikát, amely szerint nem több, mint harmaduk szólal meg. A különböző méretű és tömegű két kicsi műhold kidobásuk után különböző mértékben fékeződött. Az első magyar űrflotta tagjai 2020 januárjában több mint 1000 km-re távolodtak el egymástól (7. ábra).



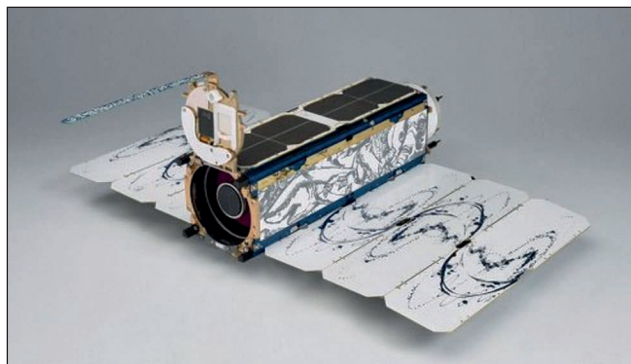


7. ábra. A magyar űrflotta Ausztráliához közeledve. A köztük lévő távolság 2020 januárjában 1000 km volt

A NAGYOKBÓL KICSIK LETTEK

Twiggs professzor a kockákkal az oktatás területére akart erősen űrmotivált szakembereket toborozni. Sikerült, hiszen egyetemeken, közép- és általános iskolákban több méretváltozatban ma is sok kis műhold van készülődésben, vagy éppen startra várva. A professzionális műholdak fejlesztőinek figyelmét is felébresztette a kicsik sikere. Egy példát kiragadva: a Föld felületét kamerákkal figyelő műholdak tömege tonna nagyságrendű. Egy-egy azonos területről több tíznapos gyakorisággal készítenek felvételeket. A Planetlab cég 10×10×30 cm-es műholdjaiból több tucat kering a Föld körül, és akár napi gyakorisággal tudnak egy adott területről képet küldeni (8. ábra). A távoli bolygókat vizsgáló kis műholdak olcsóbbá teszik a fejlesztés költségeit. Működésük gyors, az űrben keringő műszerek bevizs-

8. ábra. A Planetlab cég cubesat családba illeszkedő 10×10×30 cm-es, távérzékelési feladatokat ellátó műholdja, amelyből több mint száz állt pályára



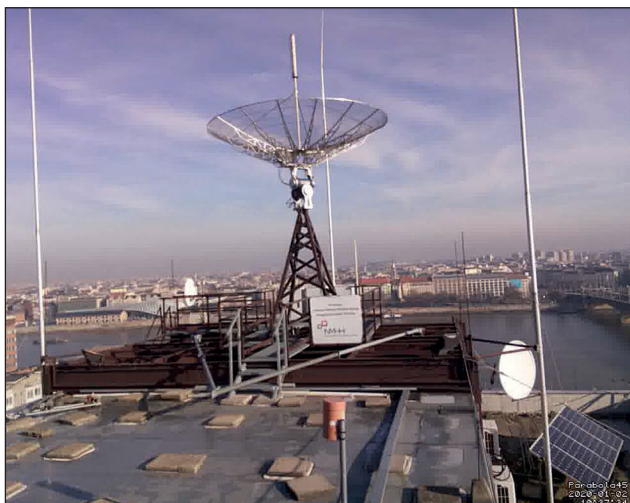
gálására is ideálisak. A méretek szabványossá tételével, a pályára juttatás is egyszerűbbé vált. Gyakran a Nemzetközi Űrállomásról (International Space Station – ISS) is állítanak pályára kis műholdakat. Kis cégek alakultak, amelyek félig kész, alapszolgáltatást biztosító műholdakat, azok részegységeit gyártják. Gyakran a start lebonyolítását, a vett adatok feldolgozását is vállalják.

MŰHOLDPÁLYÁK, ŰRSZEMÉT

Jól ismert, ember keltette szennyezési forma az űrszemét. Egyre több aktív, működésen kívüli, illetve selejt műhold, valamint rakéta részegység kering a Föld körül. Az alacsony pályán keringők (500 km alatt) várhatóan 15-40 éven belül, a légkör sűrűbb rétegeibe lépve elégnak. A magasabb pályákon keringők akár több száz vagy ezer évig is az űrben maradnak. A kis műholdakat általában valamelyik nagyobb, magasabb pályára álló műhold mellé helyezték el. Ez szükségtelenül hosszú élettartamot biztosított, hiszen a nem űrminősített alkatrészek beépítésével a hibátlan működés ideje lerövidült. Hosszabb távon a kozmoszból érkező kemény sugárzás „gyilkolja” a nagy bonyolultságú eszközöket pl. a számítógépekben lévő, sugárzás ellen nem védett, olcsó, nagy bonyolultságú integrált áramköröket. A kicsik várható működési élettartama miatt, az űrszemetelés kényszerét is figyelembe véve, az optimális pálya magassága 360-400 km körül van. Ezzel 4-6 hónapos, eléggésszel befejeződő élettartamot lehet elérni. Az utóbbi években, a piaci igényt kielégítendő, felgyorsult a kis rakéták fejlesztése. SMOG-P is ilyenekkel került 360 km-es pályára. A pálya a Föld két sarkán halad keresztül, ezzel biztosítva a teljes földfelszín megfigyelését. Intenzív kis rakéta-fejlesztések folynak Spanyolországban, Skóciában, Japánban. Sajnálatos, hogy nem sikerül nemzetközi együttműködést kialakítani az űrszemetelés mérséklésére. Az Elon Musk által finanszírozott, a földfelszíni internet-ellátottságot javító több tízezres műholdas rendszerek már a csillagászok megfigyeléseit is zavarni fogják.

A HELYZETSTABILIZÁLÁS FONTOSSÁGA

A rakéta orrában lévő kidobó szerkezet egy előfeszített rugó segítségével tolja ki a kis műholdakat a világűrbe. Mozgása általában – a rugóerő irányától függően – lassabban vagy gyorsabban bukdácsoló, pörgő mozgás. SMOG-P esetében ez 40 fordulat/perc míg ATL-1-nél alig ennek tizede volt. A Föld körül száguldó műholdra ható erők közül az inhomogén gravitációs tér, a változó mágneses térerő, a Napból, világútból érkező részecskék „bombázása” (napszél) a legfontosabb. Ezek hatására a műhold bukdácsoló mozgása megmarad. Ennek ismeretében nem lehet alkalmazni pl. állandóan a Földre néző kamerát, vagy irányított antennarendszert. A forgás nem minden szempontból hátrányos. A naps oldalán repülve pl. nem tud egyik oldala sem túlmelegedni. A mozgás lassítása a műholdba épített nagy hiszterézis veszteségű anyaggal történhet. Ennek átmágnesezése mozgási energiát von el a repülő testből, amely lassulni fog. Egy állandó mágnes műholdba helyezésével, igyekszik a Föld mágneses terébe beállni. Ezzel egy érdekes, de stabil helyzethez jut, amely követi a Föld mágneses terének irányítotttságát, azaz a sarkokon át fog fordulni. Ezt a két elvet alkalmazva a MASAT-1, Földre irányított kamerájával sikeresen készít jó képeket. A SMOG-P és ATL-1 nem alkalmazott ilyen megoldást. A műhold belseje különböző hosszúságú vezető



9. ábra. A SMOG-P-vel és ATL-1-el kapcsolatot tartó, a Budapesti Műszaki Egyetem E épületének tetején lévő antenna

hurkokat rejt. Ezekben a mágneses tér metszésekor olyan áramirány alakul ki, amelyik a pörgést fékezi. Ezt az elvet használva sikerült a SMOG-P pörgését egy hónap alatt 40 fordulat/percről 20 fordulat/percre csökkenteni. Természetesen alkalmazhatunk aktív stabilizálást is. Magnetométerrel mérjük a műhold mágneses térben elfoglalt helyét, majd a belsejébe helyezett tekercseken szabályozottan átfolyó áramok segítségével a két tér egymásra hatásával a kívánt mértékben elmozdítjuk a műholdat. Nagy előnye, hogy nincs szükség semmilyen, földről felvitt hajtóanyagra. Számításba jöhetnek még a nagy műholdakon alkalmazott egyéb eljárások: lendkerék-, gáz- vagy ionhajtóművek.

KAPCSOLAT A KICSIKKEL

A fedélzeten rendelkezésre álló energia a Naptól származik. A kis műholdak felületének nagysága határozza meg, hogy mekkora teljesítmény használható a fedélzeti berendezések táplálására. A SMOG-P esetében ez mindössze 300 mW. A legnagyobb fogyasztást a fedélzeti telemetriaadó jelentette, amely adáskor 300 mW-ot fogyaszt. Ez a mennyiség arra elég, hogy egy 100 mW teljesítményű adó működjön. A fedélzeti antenna kialakítása nem egyszerű feladat. A bukácsolás miatt lehetőleg a tér minden irányába egyenletesen kell sugározni. Rádásul olyan anyagból kell elkészíteni, amely a kidobásban teljesen a kocka köré tekerve, a kidobás után visszanyeri eredeti formáját. MASAT-1 esetében ez egy mérőszalag darab volt, míg

SMOG-P-nél egy kerékpár bowden-vezetékéből származó acélhuzal. Mindkettő kiválóan működött. A fedélzeti fogyasztást csak az adóteljesítmény csökkentésével vagy időszakossá tételével lehet megvalósítani. A fedélzeten összegyűjtött mérési adatokat a műegyetemi vezérlőállomás fölötti tartózkodás ideje alatt kellett leadni. Ehhez gyors adatátviteli sebességre van szükség. A másik kapcsolati ág a fedélzetre történő jelátvitel (vezérlés), amely „megmondja” a műholdnak, hogy mikor milyen adatokat, milyen sebességgel küldjön le. A műhold vevőjébe nagy földi területről érkehetnek zavaró jelek. Okulva a MASAT-1 működése során szerzett tapasztalatokból, a SMOG-1 irányába kisugárzott teljesítményt több, mint tízszeresére emeltük. Így sikerült teljesen üzembiztossá tenni a vezérlést. A földi adó-vevő antenna egy 4,5 m átmérőjű parabolarefektorú elrendezés (9. ábra). A 8°-os nyílásszög megkívánta a műhold helyzetének pontos ismeretét. A pálya adatait az USA Air Force megfigyelő/bemérő állomásától kapjuk.

Összefoglalva: Robert Twiggs professzornak az űrmotivált oktatást javítani szándékozó ötlete túlnyúlt az indító elképzelésen. A kis műholdak az űraktivitás szerves részévé váltak. A műegyetemen készült világszerte ismert műszer lendületet adott az űrmérnök-képzés megindításához azzal a reménnyel, hogy a jövőben, oktatási keretben készüljék társaik nagyban emelik az oktatás színvonalát.

FORRÁSOK

- Peralta, R. and Y. Fairuzov, M. Navarrete, J. Aguirre, F. Serranfa. "Structural design, development and testing of a small experimental satellite: SATEX-1" Letöltés: 2020.01.13. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2703&context=smallsat>;
- Sandau, Rainer, Hans-Peter Röser, and Arnoldo Valenzuela, eds. *Small Satellites for Earth Observation*. Springer, 2008. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6943-7>;
- Howell, Elizabeth. "CubeSats: Tiny Payloads, Huge Benefits for Space Research" *space.com*, 2018. 06. 19. Letöltés: 2020. 01. 13. <https://www.space.com/34324-cubesats.html>;
- "What is a CubeSat & other picosatellites" *Nanosats Database* Letöltés. 2020. 01.13. <https://www.nanosats.eu/cubesat>;
- „Egy hónapja várakozáson felül teljesít az űrben a műegyetemi zsebműhold” *bme.hu*, 2020.01.07. Letöltés: 2020.01.13. https://www.bme.hu/hirek/20200107/Egy_honapja_varakozason_felul_teljesit_az_urben_a_muegytemi_zsebmuhold.

(Fotók a szerző gyűjteményéből)

HADITECHNIKA FOLYÓIRAT

A Haditechnika megvásárolható:

Líra Könyvruház, Récsei Center 1146 Bp., Istvánmezei út 6., (telefon: 411-1543);
 Stúdió könyvesbolt 1138 Bp., Népfürdő u. 15/D, (telefon/fax: 359-1964, 359-6461);
 HM Zrínyi Nonprofit Kft. Ügyfélszolgálat (Budapest II., Fillér u. 14., 1087 Budapest Kerepesi út 29/b.
 Nyitva tartás: H.–P. 9–15 óra www.topomap.hu).