

HERMAN TIBOR* – DUDÁS LEVENTE** – PÁL ANDRÁS***

ZSEBBEN ELFÉRŐ ŪRTECHNOLÓGIA

ÖSSZEFOGLALÁS: A korábbi sikeres SMOG-projektekhez hasonlóan, az MRC-100 projektet is a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Szélessávú Hírközlés és Villamosságatan tanszék oktatói és hallgatói jegyzik. A fejlesztőcsapat ezúttal egy 50×50×192 mm méretű, PocketQube építésébe kezdett, amely több tudományos kísérletnek is teret biztosít, ezért több magyar egyetem is lehetőséget kapott, hogy az űrbe juttasson egy-egy kísérletet. A sikeres pályára állítást követően – az üzemeltetési feladatokkal párhuzamosan – már megkezdődött a következő műhold (az NMHH-1 projekt) tervezése is, amely szintén egy három egység méretű PocketQube lesz.

KULCSSZAVAK: PocketQube műholdak, MRC-100, BME, rádiófrekvenciás kommunikáció, Alapod

ABSTRACT: Similarly to the successful SMOG projects, the MRC-100 project is also a result of the work done by the teachers and students of Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Broadband Infocommunications and Electromagnetic Theory. This time, the development team started building a 50×50×192mm PocketQube, which provides room for several scientific experiments, thus giving the opportunity for several Hungarian universities to launch experiments into space. After successfully putting it into orbit, the design of the next satellite (the NMHH-1 project) – which will also be a three-unit-sized PocketQube – has already begun, in parallel with performing the operational tasks.

KEYWORDS: PocketQube satellites, MRC-100, Budapest University of Technology and Economics, radio frequency communication, Alapod

A műholdfejlesztés az utóbbi években a félvezető technológia előrehaladtával a miniaturizálás irányába mozdult el, ezáltal az egyetemek és hallgatók számára megnyílt a lehetőség kis méretű, tudományos küldetést végző műholdak tervezésére. A már szabványosított CubeSat (10×10×10 cm és többszörösei) méretű műholdakból több százat felbocsátottak már [1] [2], így ez egy igen kiforrott méretszabvány. A PocketQube egy még ennél is kisebb műhold-kategória, amelynek mérete 50×50×50 mm, és annak többszörösei. Az első „zsebműholdat” 10 évvel ezelőtt, 2013-ban állították pályára, és az első tíz évben a számuk meghaladja a CubeSat műholdak első tíz évben készült darabszámát

is (67). [3] Sajnos többségük nem kapcsolt be, így a technológia által adott lehetőségeket még nem sikerült kihasználni. Az első, 1P (egy egységnyi PocketQube, azaz 50×50×50 mm) méretű műhold, amely pályára állítás után bekapcsolt és üzemszerűen működött, a BME-n épült SMOG-P volt, amelyet később további három sikeres küldetés követett. Különösen figyelemre méltó, hogy ezeket az oktatásba integráltan, villamosmérnök hallgatók építették, oktatóik segítségével.

Hasonlóan a SMOG-projektekhez, az MRC-100 projektet is dr. Gschwindt András, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Szélessávú Hírközlés és Villamosságatan tanszék

címzetes egyetemi docense vezeti, akinek köszönhetően több intézmény és cég is felkarolta a fejlesztést. A két főtámogató a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (NMHH) és a Külgazdasági és Külügyminisztérium volt, míg a felbocsátás költségét az Amateur Radio Digital Communications állta. [4] A műhold a nevét a Műegyetemi Rádió Club (MRC) előtti tisztelgéséért kapta, amely 2024-ben lett 100 éves.

TELE TECHNOLÓGIÁVAL

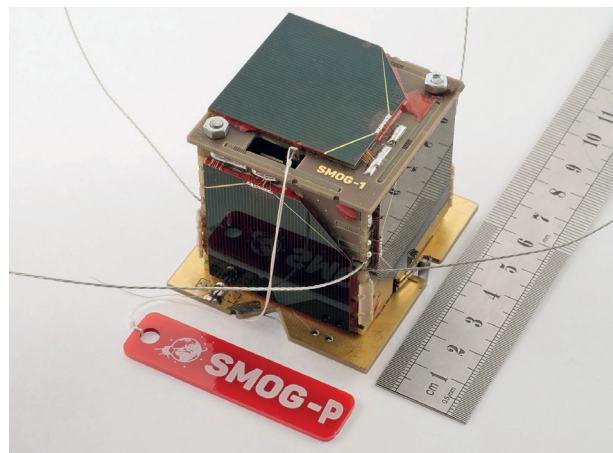
Felbuzdulva a SMOG-műholdak sikerén, a csapat ezúttal egy háromszoros méretű (50×50×192 mm) PocketQube építésébe kezdett, amely több tudományos kísérlet helyigényét is biztosítja, így több magyar egyetem is lehetőséget kapott, hogy az űrbe juttassanak egy-egy általuk választott kísérletet. Az alapvető fedélzeti rendszerek mellett több, mint 10 tudományos kísérlet kapott helyet, amelyeknek egy részét redundáns, hibatűrő módon tervezték meg.

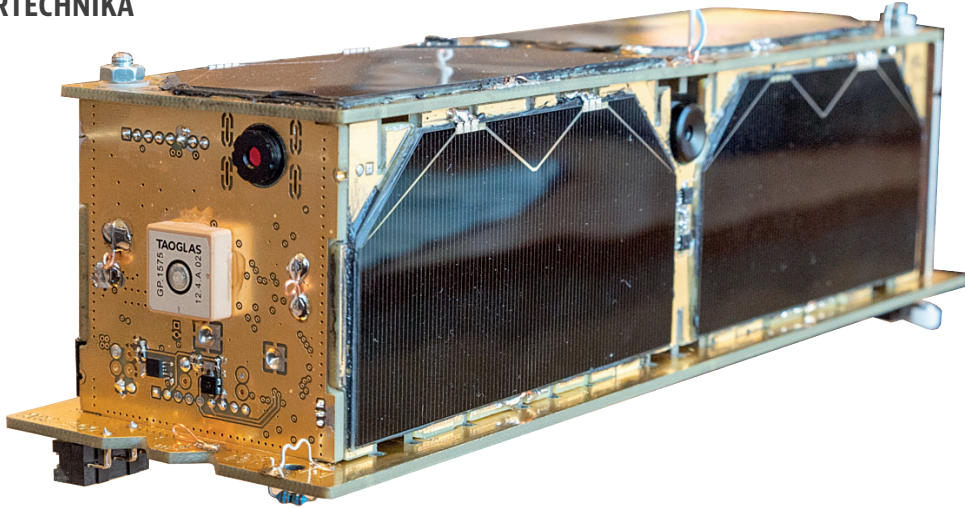
* Doktorandusz, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságatan Tanszék, tudományos segédmunkatárs. ORCID: 0000-0003-1168-5060

** PhD, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságatan Tanszék, adjunktus. ORCID: 0000-0001-9050-6061

*** Tudományos főmunkatárs, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet ORCID: 0000-0001-5449-2467

1. ÁBRA.
SMOG-P, a világszerte sikeres 1P műhold (A szerzők felvétele)





2. ÁBRA.
Az MRC-100 űrbe felbocsátott példánya (A szerzők felvétele)

Az MRC-100 (2. ábra) 578 g tömegű, energiaellátását 8 darab háromrétegű InGaP/GaAs/Ge napelemcella biztosítja. A cellák a Föld napos oldalán töltik be, belül található két Lilon akkumulátort a napelemek maximális teljesítményű munkapontjában, amit az MPPT (Maximum Power Point Tracking) állít be. Az átlagos bejövő DC-teljesítmény egy keringési körre vonatkoztatva 800 mW, amelyet a napelemes tápegység (MPPT) alakít át, hogy az akkumulátort tölteni lehessen. A 3. ábrán látható a műhold elektronikai felépítése, ahol a piros színnel a melegtartalékolt rendszerek láthatók, míg késsel azokat jelöltük, amelyek csak földi parancsra kapcsolnak be. Ezek közé tartoznak a nem létszükségletű alrendszerek, va-

lamint a kísérletek, ugyanis ezek nem tudnak azonos időben működni, mert együtt túl nagy teljesítményt vennének fel, és lemerítenék az akkumulátort. Ennek elkerülésére áramhatároló kapcsolókat (ÁHK) alkalmaztunk, amelyek automatikusan lekapcsolnak túláram esetén. (3. ábra)

VÁZSZERKEZET

A műhold felépítése követi az előző küldetések koncepcióját, azaz, nincs külön mechanikai tartószerkezete, hanem az elektronikai alkatrészeket hordozó áramköri lemezek alkotják a vázat, a 4. ábrán látható módon. A külső oldalakon látható bemarások tartják stabilan a belső lemezeket, valamint a belső panelek az oldallemezekeken keresztül csatlakoznak egymáshoz, ott

történik az energia és a jelek átvitele tüske-, illetve hüvelysorok segítségével. Ez a megoldás rendkívül hasznos a tesztelés során, ugyanis a rendszer alrendszerei így „plug-n-play”¹ módon működnek, tehát ha csak egy hasznos terhet szeretnénk tesztelni, akkor nem szükséges minden panelt csatlakoztatni. Elég az alapvető funkciókat megvalósító rendszereket (tápegység, fedélzeti számítógép, rádiókommunikációs rendszer), és a tesztelendő alrendszert beilleszteni.

A rádiófrekvenciás kommunikációhoz, illetve mérésekhez használatos antennák megosztott erőforrásként állnak rendelkezésre, amelyeket a felbocsátás során a vázszerkezet köré tekerve, egy rögzítődámmal tartott stabilan. A műhold a damilt egy ellenállással megvalósított hőkéssel automatikusan oldotta ki, miután kikerült a podból² az űrbe. Összesen négy antenna található az MRC-100-ason: egy szélessávú mérőantenna, egy UHF (Ultra High Frequency) sávú kommunikációs, egy L sávú (1–2 GHz) GNSS (Global Navigation Satellite System), és egy S sávú (2–4 GHz) patch antenna. Egyedi módon a BME zsebműholdjainak UHF-antennája nem a hagyományos mérőszalagos megoldást alkalmazta, hanem az eszközök kerékpár váltóbowdenből készültek, amely rugalmas, forrasztható és több irányba hajlítható, így optimalizálni lehet a műhold sugárzási karakterisztikáját.

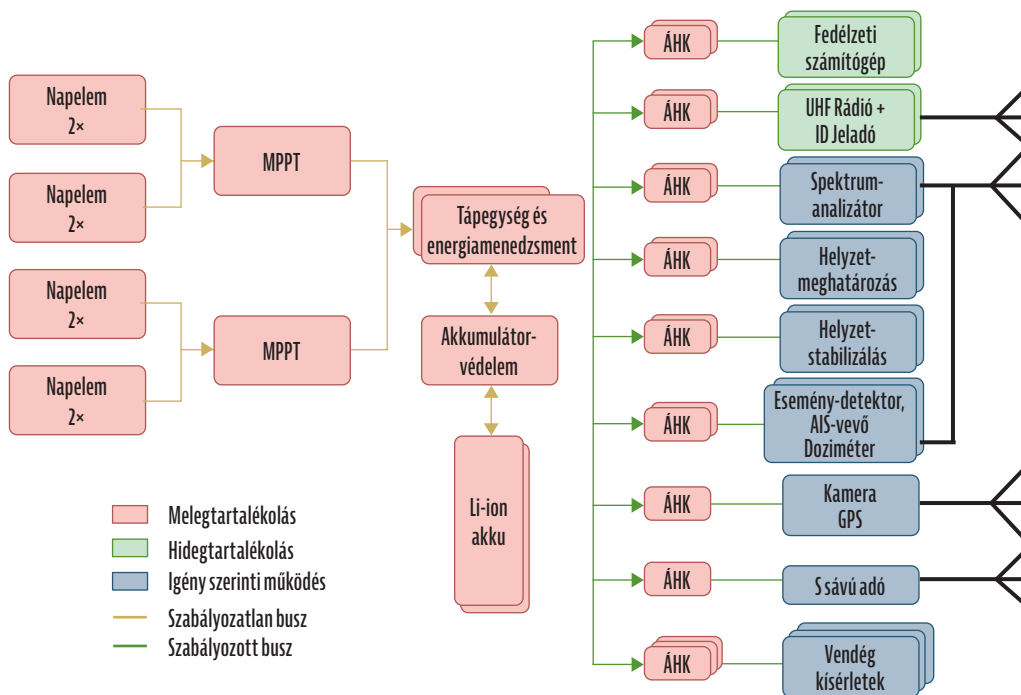
Miután összeállt a műhold szerkezete, az eszközt négy menetes szár segítségével rögzítettük, hogy kiállja a rakétaindítás során fellépő rázkódtást. Felbocsátás után a téglatest alsó, legnagyobb méretű oldalán található csúszóél biztosítja a szabad mozgást a kidobószerkezetben. Itt található a pályára állítást jelző mechanikus végálláskapcsoló. Az időzítőt a kidobást követő jelzés indítja el, amely az automatikus antennanyitást ütemezi.

ELEKTRONIKAI ALRENDSZEREK

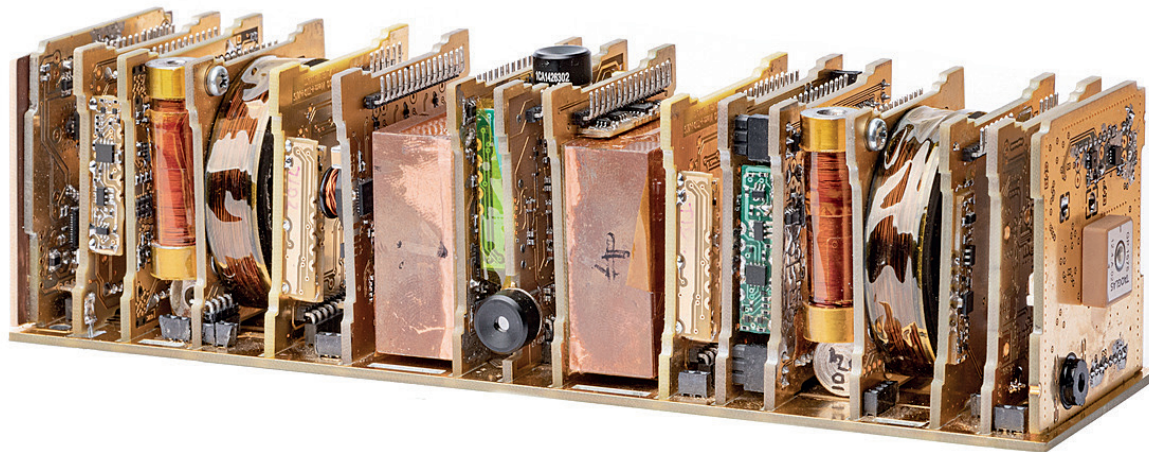
GPS-ES HELYMEGHATÁROZÁS

Manapság már szinte minden mobil eszközben megtalálható egy GPS – Global Positioning System, (pontosabban GNSS – Global Navigation

3. ÁBRA.
A műhold elektronikai felépítése (A szerzők szerkesztése)



1 „plug-n-play” jelentése: dugd be és használd. Funkciója: automatikus hardverfelismerés és -konfigurálás.
2 pod – tok (angol).



4. ÁBRA.
Az MRC-100 belső felépítése
(A szerzők felvétele)

Satellite System), ami annak az általános technológiának a megnevezése, amelynek egyik típusa az amerikai GPS) vevő. Az eszköz segítségével megállapítható, hogy éppen hol tartózkodunk. Nincs ez másként a műholdak esetében sem, azonban a földi vevőkészülékek – sebesség- és magasságbeli korlátozása miatt – nem alkalmazhatóak az űrben, ugyanis a nagysebességű repülő tárgyak biztonsági kockázatot jelenthetnek, különösen, ha éppen egy ballisztikus rakétáról van szó. Emiatt a műholdon is alkalmazható (nem katonai) vevőkészülék beszerzése bár igen nehézkes, de megoldható feladat, amely segít abban, hogy a Rubik-kocka méretű műholdak pályáját jobban megismerjük, és a követést megkönnyítsük.

UHF SÁVÚ TELEMETRIA

Mint a Műegyetemen készült minden eddigi műhold, az MRC-100 is a 70 cm-es hullámsávon sugározza a telemetria adatokat, 436,72 MHz-en. A rádióadóvevő egy kompakt digitális modul (ACSiP S68F), amely képes FSK (Frequency Shift Keying) és LoRa (Long Range) modulációt alkalmazni mind az adás, mind a vétel irányban. Előbbit a spektrum optimális kihasználása érdekében GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) módban használjuk, különböző adatsebességek mellett. Automata módban 6+2 csomagot küld a műhold rendszeresen, amelyek az összes alrendszerrel tartalmazznak alapvető adatokat, mint pl. feszültségek, áramok, hőmérsékletek, szenzoradatok, kommunikációs vonalon található csomag-hibaarány, és még sok más egyéb adat. Minden információhoz tartozik egy időbélyeg is, amellyel ellenőrizhető az adat érvényessége.

A plusz két adatcsomag más szerepet tölt be: az egyik egy vételt szinkronizáló csomag, amelynek modulációja és tartalma minden alkalommal azonos, és ez segít abban, hogy az automatizált földi állomás időzített parancsokat tudjon küldeni a fedélzetre. A másik csomag egy LoRa modulált azonosító, amely a műhold GNSS-koordinátáit sugározza.

PIKOMŰHOLD-AZONOSÍTÁS

A NORAD (North American Aerospace Defense Command) minden 10 cm-nél nagyobb kiterjedésű űrben keringő tárgyhoz rendel egy 9 jegyű azonosítót, amit NORAD ID-nek neveznek. A tárgyakhoz tartozó pályaleíró adatokat a 18th Space Defense Squadron készíti, amelyek alapján az eszközök pályáit azonosítani és követni lehet. Mivel a zsebműholdak méretei gyakran ennél kisebbek, így a hozzájuk tartozó követési adatok (főleg a küldetés elején) pontatlanabbak, mint a nagyobb eszközök esetén. A műholdon található egy rádiós azonosító rendszer, amely egy robusztus jeladóként funkcionál, és lesugározza a GNSS-vevőből kapott koordinátákat, hogy a vett adatokból pontosabb becslést adhassunk a pályájáról, mint amit a NORAD-radarok mérnek. [5] A LoRa manapság egy igen elterjedt modulációs eljárás, amellyel nagy távolságon lehet kommunikálni, alacsony kisugárzott teljesítmény mellett. A technológia nagy előnye, hogy nagymértékben immunis a frekvenciahibára, ezért ideális választás a Doppler frekvenciával terhelt Föld-műhold kapcsolatok esetében. Hátránya azonban, hogy az adatsebesség jelentős mértékben lecsökken, cserébe megnő a modulációs nyereség, és a vevő bemenetén

akár zajteljesítményszint alatti jelszintű csomagok vétele is lehetséges. [5]

SPEKTRUMANALIZÁTOR

Korábban a SMOG-műholdak és az ATL-1 (Advanced Technology of Laser) is végeztek rádiófrekvenciás szennyezettségmérést, amelynek eredményeként 2020-ban elkészült az első elektromágneses szennyezettségi térkép a földfelszíni TV műsorszórá sávjában.

A mérési adatokat a fedélzeten található spektrumanalizátorok biztosították, amelyek egy hardverrádió alapúak. Ezúttal egy jóval nagyobb tartományban végez mérést az MRC-100: az egyik vevő 28 MHz és 1776 MHz között, a másik vevő 2000 MHz és 3120 MHz között működik. Előbbi egy szuperheterodin elvű szoftverrádió, amely a lekevert jelet digitalizálja és analizálja. Az alacsonyabb frekvenciatartományban a keverő az RTL-SDR-ből ismert integrált áramkör, az R820T, a jelfeldolgozást pedig egy RP2040 végzi. [6] Az RTL-SDR a hibrid szoftverrádiók családjába tartozó jellegzetes felépítésű készülék, nevét a Realtek gyártmányú RTL2832U-ról kapta. A felső sávban egy EFR32MG rádiós mikrokontroller található, amely hasonló elven működik, mint a SMOG-műholdak analizátora. [7]

S SÁVÚ ADÓ

Nagy mennyiségű adat letöltésekor szükség van az UHF-sávon megengedettnél nagyobb sáv szélességre, ezért a műhold egyik végén található egy S sávú, 2267,5 MHz-es rádióadó. A redundáns modul patch antennája laboron belül készült, amely 4 dB-es nyereséggel rendelkezik. Az így lesugárzott teljesítmény 30 dBm EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)

és az elérhető adatátviteli sebesség 100 kbps – 2 Mbps, GMSK modulációval. [8]

A vétel a földi állomáson található 3 m-es parabola antennával történik, amelynek primer sugárzóját egy másik hallgató tervezte. A vett csomagok mennyiségének optimalizálására polarizáció diverziti-t alkalmaz a vevő, azaz két egymásra merőleges polarizációjú antenna veszi a jelet, amelyből utófeldolgozással több csomag nyerhető ki, mint a két antennáról külön-külön. [9]

FEDÉLZETI KAMERA

A GNSS-vevő mellé került egy apró, de nagy felbontású kamera, amelyet eredetileg Raspberry Pi számítógépekhez terveztek, és méretéből adódóan ideális választás a PocketQube műhold fedélzetén történő alkalmazásra. A kamera digitális kimenetét egy RP2040 mikrokontroller dolgozza fel és tárolja el a tömörített képeket, hogy azok később rádióan keresztül sugározhatók legyenek. Az 5. ábrán látható néhány kép, amelyek az űrben készültek az MRC-100 kamerájával. A képek jobb felső részén látható a széles sávú mérőantenna, amely jó indikátora annak, hogy az antennanyitás sikeres volt.

INFRAKAMERA

Kis méretének köszönhetően a műholdon helyet kapott négy darab kis felbontású, de nagy látószögű, a közepes infravörös tartományban működő hőérzékelő is. Ezek összességében a teljes belátható tér mintegy kétharmadát látják, amelybe tehát biztosan belesik a Föld horizontja is, illetve a pálya nappali oldalán igen jó eséllyel a Nap is. A műhold fedélzeti rendszere így a négy szenzor képéből valós időben meg tudja állapítani az eszköz abszolút térbeli helyzetét, hiszen a Föld, illetve Nap iránya már egyértelműen kijelöli ezeket az irányokat. [10] Amennyiben a Nap éppen nem látható, akkor a korábbi adatokból, a műhold forgásából, és opcionálisan más szenzorok adatait kombinálva is egészen pontosan megmondható az orientáció a pálya mintegy fél órászaki szakaszain. [11] A szenzorrendszer élesztése, valamint a fedélzeti algoritmus finomítása jelenleg is zajlik, így a későbbiekben várhatóan tízed fok, vagy akár annál pontosabb nagyságrendben is ismerhetjük a műhold helyzetét.

MÁGNESES HELYZETSTABILIZÁLÁS

Az S sávú antenna irányított patch antennáját adatátvitel során a földi állomás felé kell irányítani a rádiókapcsolat

létrejöttéhez. Ez akkor lehetséges, ha a műhold orientációját irányítani lehet. A mechanikai egyszerűsége és a mozgó alkatrészek hiánya miatt mágneses nyomatékeltőket építettünk a fedélzetre [12], mivel azok kevesebb energiát fogyasztanak, és kisebb térfogatot igényelnek, mint egy lendkeres vagy fűvókás beavatkozó. Mivel a PocketQube szabvány viszonylag új, még csak kevés számú küldetés került az űrbe, és még kevesebb kapcsolt be sikeresen pályára állítás után. A kategóriában létezik néhány műhold, amelyen található helyzetstabilizátor, azonban eddig egyik sem bizonyult működőképesnek, annak ellenére, hogy nyilvánvalóan szükség van ilyen kis eszközökre.

AIS-VEVŐ

Helyet kapott a fedélzeten egy hardverrádió alapú AIS (Automatic Identification System) vevő is, amely eredetileg egy hajók követésére és azonosítására szolgáló biztonsági rendszer. Műholdas szegmensre akkor van szüksége ennek a szolgáltatásnak, amikor a Föld görbülete miatt, a parttól távol közlekedő hajók jele nem jut el a szárazföldre. A kísérlet azt hivatott megvizsgálni, hogy egy egyszerű és kis méretű vevővel lehetséges-e venni ezeknek a hajóknak a jeleit, amelyeket a műhold később lesugároz. Vételre a spektrumanalizátorral közös antennát használja, amely éppen az AIS 162 MHz-es frekvenciáján rezonáns a maximális jelszint elérése érdekében. [13]

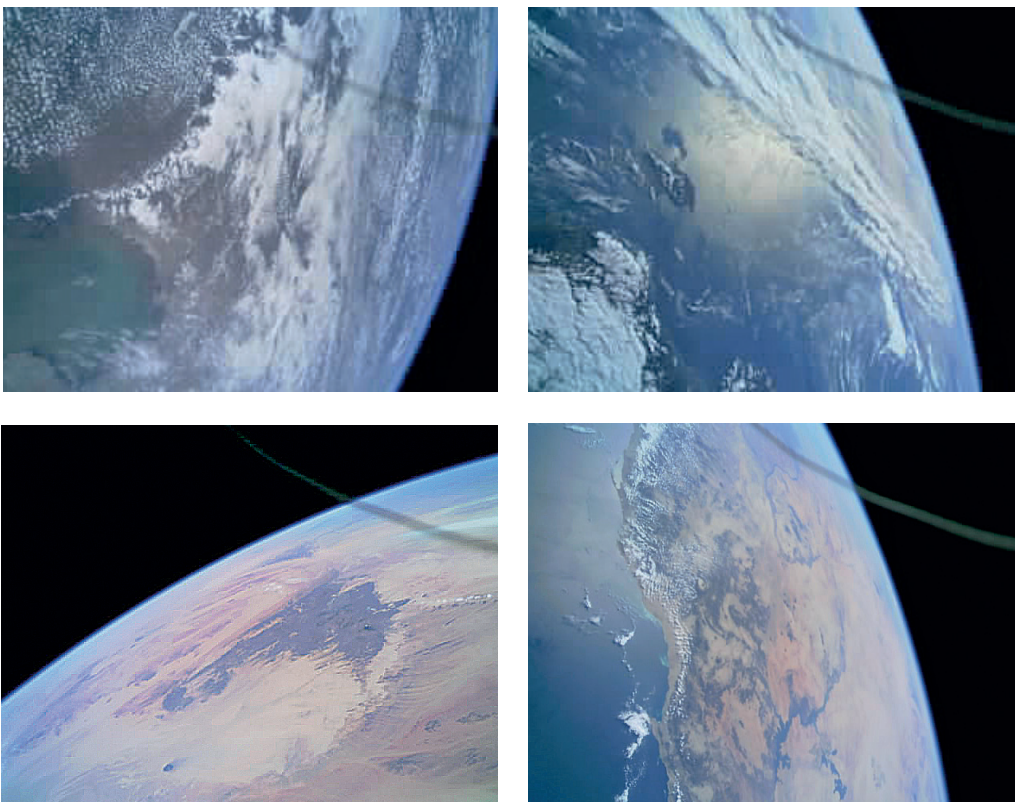
DOZIMÉTER

A SMOG-P és SMOG-1 másodlagos küldetése egy totál ionizáló dózismérő kísérlet volt, amely félvezető alapon adott becslést az ionizáló háttérsugárzás mértékéről az űrben. A kísérlet annyira jól sikerült, hogy a tervező (azóta már végzett mérnök) hallgató elkészítette, és a maximális TRL9 (Technology Readiness Level) szintre juttatta az eredeti áramkör integrált változatát, ami azt jelenti, hogy a működési környezetben bevált a tényleges rendszer, készen áll a teljes kereskedelmi bevezetésre, és ez az eszköz is helyett kapott a műholdon.

EGYETEMI KÍSÉRLETEK

Három magyar egyetem képviselteti magát a fedélzeten: a Szegedi Tudo-

5. ÁBRA. A Föld és az antenna a fedélzetről nézve (A szerzők felvétele)



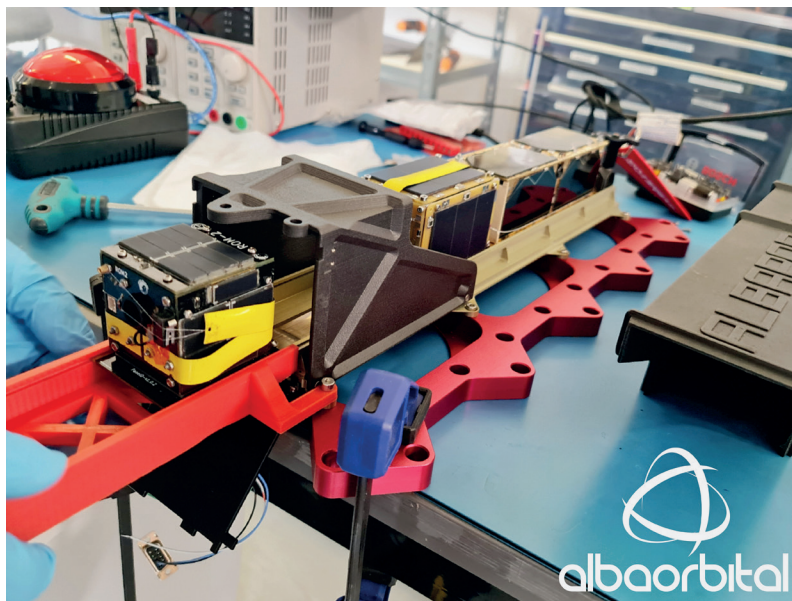
mányegyetem akadémiai és diákmoldjai különböző hőmérsékletmérési módszereket hasonlítanak össze űrbéli körülmények között; a győri Széchenyi István Egyetem kísérlete az alacsony fogyasztású mikrokontrollerek űrbeli működésének vizsgálatára irányul; míg a Debreceni Egyetem egy mikrovezérlő által irányított kísérleti dózismérő eszközt helyezett el a műholdra azzal a céllal, hogy az űreszköz pályája mentén tapasztalható radioaktív sugárzási térről információt szolgáltatson.

INTEGRÁLÁS, START ÉS AZ ELSŐ VÉTEL

Jelenleg három cég foglalkozik üzletszerűen PocketQube műholdak pályára állításával, közülük a skót Alba Orbitalhoz fűződik a legtöbb indítás, nekik köszönhetően került az űrbe a SMOG-P, az ATL-1 és most már az MRC-100 is. Ezúttal a 2023. év elején került az Alba Podba a műhold, amelynek két szomszédja volt induláskor, a ROM-2 és az URESAT-1. (6. ábra) Különleges módon videófelvételen is látható volt, hogy elindul saját útjára az űreszköz, amelyből egy képkockán (7. ábra) látszik a három fényes folt, amelyek közül a legnagyobb az MRC-100.

A sikeres pályára állítás videós megerősítését követően nem sokkal, már a BME műholdvezérlő állomásán is vettük az első jeleket, amelyek igazolták, hogy az antennák sikeresen kinyíltak, így megkezdődhetett a helyes TLE (Two-Line Element) adat sorok azonosítása. A TLE egy pályaleíró adat, amely kétsoros formátumú, és a NORAD földi radarjainak mérési eredményei alapján teszik közzé. A műhold kis méretéből adódóan a kezdeti mérések pontatlanok, így nehéz meghatározni, hogy melyik a legjobb adatsor, azonban ez több vevőállomás összefogásával, a megfelelő belső algoritmus segítségével néhány nap alatt meghatározható. Miután megbizonyosodtunk az optimális TLE-azonosítójáról jeleztünk a NORAD-nak, hogy a műhold nevét rendeljék hozzá a publikus adatbázisban annak érdekében, hogy a többi követő állomás könnyedén azonosíthassa azt.

Fontos megemlíteni, hogy a műegyetemi műholdak mindegyike rendelkezik rádióamatőr engedély-



6. ÁBRA.
Az MRC-100 integrálása az AlbaPodba (Forrás: Alba Orbital Ltd.)

lyel és hívójellel, így az HA100MRC a 436,72 MHz-es rádióamatőr frekvencián sugározza a telemetria-adatokat, amelyek bárki számára szabadon hozzáférhetők akár saját vevőkészülékkel, vagy a műhold weblapján keresztül. [14] Ennek köszönhetően lelkes (nem kizárólag) rádióamatőrök csoportja követi aktívan a műholdat napjában többször, amikor Magyarország felett vonul át, és küldi be a vett, dekódolt adatsomagokat. Ebben segítségükre van a fejlesztőcsapat által készített vevőprogram, a smogcli2 [15], amely elvégzi a jelek demodulálását és az adatok dekódolását, valamint automatikusan korrigálja a keringési sebességből adódó Doppler-frekvenciát is.

TELEMETRIA VÉTEL

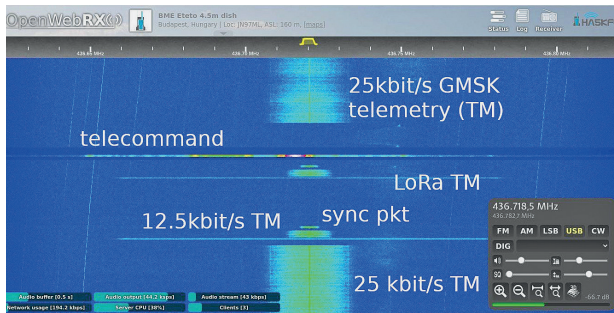
Annak érdekében, hogy a rádiókommunikációs kapcsolat robusztusan működjön, és rossz vételi körülmények között is dekódolható legyen a vett jel, a műholdon változtatható a lesugárzott jel adat-, illetve sávzélessége. A földi állomás parancsára a pálya jellegétől függően megnövelhető vagy lecsökkenthető az adatsebesség (8. ábra), amennyiben jobbak vagy rosszabbak a vételi viszonyok, illetve, ha a fedélzeti számítógép energiamegazdálkodása úgy ítéli meg, hogy változtatni kell. A telemetria adatsebességeket úgy választottuk meg, hogy a szoftverrádióból érkező mintákat a smogcli2 vevőprogram tetszőleges adatsebesség mellett, 1250 bps-től akár 50 kbps-ig is képes demodulálni. Ezt úgy éri el, hogy

több szálon futtat minden egyes értékhez tartozóan egy demodulátort, így nem kell előre tudnia, hogy éppen milyen paraméterekkel érkezik az adatsomag. Amennyiben az adott demodulátor talál érvényes csomagot, akkor a kimenetén megjelenik az adat. Továbbá a küldött csomagokat repeat-accumulate hibajavító kódolással látták el, amely 1/2-es kódaránnyal kódolja a biteket, azaz minden egyes adatbithez két kiküldött adatbit tartozik. Ennek köszönhetően 2 dB (azaz a kódolatlan modulációhoz képest 7 dB-lel kisebb) jel-zaj viszony mellett elérhető el a 10^{-5} bithiba arány additív gaussis zajos csatornában. (9. ábra)

Indulása óta a műhold folyamatosan működik, és a Magyarország feletti áthaladások alkalmával képesek vagyunk kommunikálni az eszközzel. Jelen cikk írásakor (2024 február) több, mint 800 ezer vett csomagot küldtek be a vevőállomások a BME szerverére, és a dekódolt adatokat a földi állomás honlapján élőben lehet követni. [14]

7. ÁBRA.
A pályára állítás pillanata (Forrás: Alba Orbital YouTube csatornája)





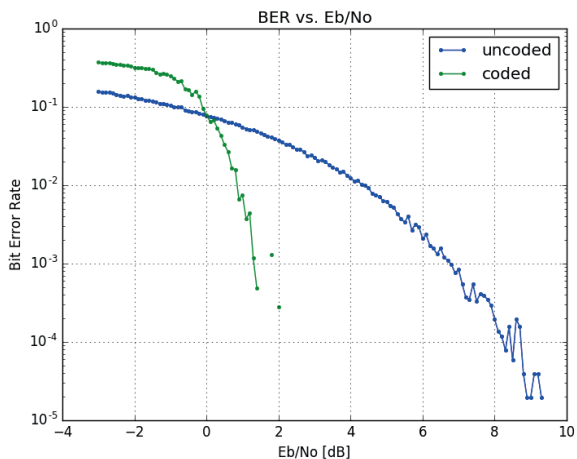
8. ÁBRA. A műhold által szolgáltatott telemetria jelek (A szerzők felvétele)

Az üzemeltetés során több zavarjelenséget tapasztaltunk a műhold koordinált frekvenciatartományában, a vezérlőállomáson. Állandó jelleggel megtalálható 30 kHz-cel a vívőfrekvencia felett az egyik kábeltévé szolgáltató tévéműsorának FM (frekvencia modulált) hangskája. Ez a zavaró tünet valószínűleg a helytelen csatlakozószerezési munka eredménye, amely nyomán a koaxiális kábelek antennaként funkcionálnak, és sugároznak az adott frekvencián. Ez rendszeresen elrontja a vételt, különösen az alacsony elevációs szögek esetében. A hibát orvosolni rendkívül nehéz, mert az egész városban tapasztalható ez a jelenség, és a tévészolgáltatót rákényszeríteni a frekvencia megváltoztatására nehézkes, és hosszú bürokratikus folyamat.

Időnként megjelenik egy szélessávú zavarjel is (10. ábra), amely iránymérés alapján a Gellért-hegyről származik, ahol valószínűleg egy rádiós darukezelő eszköz működik olyan frekvencián, amely átfedésben van a műhold downlink frekvenciájával. A hatóság-hoz történt bejelentés után egy időre megszűnt ez a fajta zavarás, azonban később újra visszatért, szerencsére azonban nem állandó jelleggel.

Egy alkalommal megfigyeltünk FM beszédátvitelt is, ahol valószínűleg

9. ÁBRA. Hibajavító kódoló bithiba görbéje (A szerzők szerkesztése)



HIVATKOZÁSOK

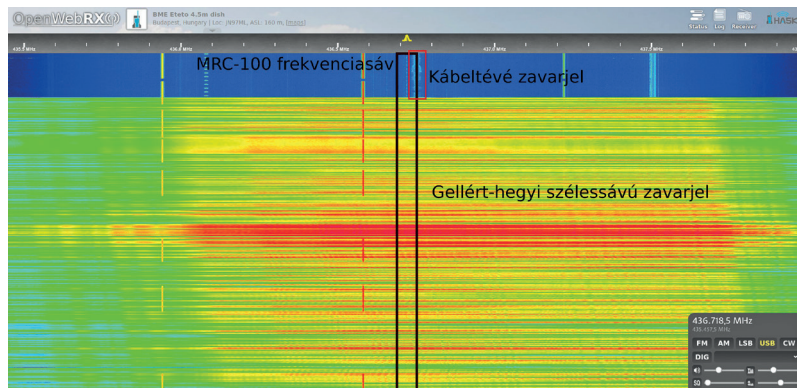
- [1] Horváth, Attila (2021) Nanoműholdak alkalmazhatósága védelmi és biztonsági célú űrműveletekben I. rész. Haditechnika, 55 (6). pp. 26–31. ISSN 0230-6891 <https://doi.org/10.23713/HT.55.6.05>;
- [2] Horváth, Attila (2022) Nanoműholdak alkalmazhatósága védelmi és biztonsági célú űrműveletekben II. rész. HADITECHNIKA, 56 (1). pp. 42–49. ISSN 0230-6891 <https://doi.org/10.23713/HT.56.1.09>;
- [3] Nanosats Database <https://www.nanosats.eu/> <https://www.nanosats.eu/> (Letöltve: 2024.2.7.);
- [4] BME GND Földi Állomás műholdkövetés, vezérlés <https://gnd.bme.hu/> (Letöltve: 2024.2.7.);
- [5] Herman, T., Dudás, L. (2022) „Satellite identification beacon system for PocketQube mission,” 2022 24th International Microwave and Radar Conference (MIKON), Gdansk, Poland, pp. 1–5., <https://doi.org/10.23919/MIKON54314.2022.9924648>;
- [6] Nagy Dominik Gábor. (2022) MRC-100 egyetemi műhold elsődleges hasznos terhe, TDK dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem;
- [7] Humad, Y. A. I., Dudás, L. (2022) „Extended Wide-band Spectrum Monitoring System from 2.2 GHz to 2.6 GHz by MRC-100 3-PocketQube Class Student Satellite,” 2022 24th International Microwave and Radar Conference (MIKON), Gdansk, Poland, pp. 1–5., <https://doi.org/10.23919/MIKON54314.2022.9924834>;
- [8] Miklós Barnabás. (2022) S sávú adó fejlesztése 3-PQ méretű diákműholdhoz, diplomamunka, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem;
- [9] Bányász László. (2023) Az MRC-100 3-PQ méretű diákműhold S sávú polarizáció diverziti vétele, TDK dolgozat 2023, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem;
- [10] Kapás, K., Bozóki, T., Dálya, G., Takátsy, J., Mészáros, L., Pál, A. (2021) “Attitude determination for nano-satellites - I. Spherical projections for large field of view infrasersors”, Experimental Astronomy, vol. 51, no. 2, pp. 515–527., 2021. <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09730-y>;
- [11] Takátsy, J., Bozóki, T., Dálya, G., Kapás, K., Mészáros, L., Pál, A. (2022) “Attitude determination for nano-satellites - II. Dead reckoning with a multiplicative extended Kalman filter”, Experimental Astronomy, vol. 53, no. 1, pp. 209–223., <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09818-5>;
- [12] Herman, T., Dudás, L. (2023) „The redundant attitude control system of MRC-100 PocketQube satellite,” 2023 New Trends in Aviation Development (NTAD), Stary Smokovec, Slovakia, pp. 95–99., <https://doi.org/10.1109/NTAD61230.2023.10380140>;
- [13] Herman, T., Dudás, L. (2023) „The Vessel Tracking Experiment of MRC-100 PocketQube Satellite,” 2023 New Trends in Aviation Development (NTAD), Stary Smokovec, Slovakia, pp. 100–104., <https://doi.org/10.1109/NTAD61230.2023.10380150>;
- [14] Az MRC-100 műhold műszerfala. <https://gnd.bme.hu/mrc100status> (Letöltve: 2024.2.7.);
- [15] A smogcli2 weboldala. <https://gitlab.com/phorvath/smogcli2> (Letöltve: 2024.2.7.).

kínai nyelven folyt a kommunikáció. Az áthaladás során, az állomásunk által sugárzott parancsok hatására ellehetetlenült a csatorna szabálytalan használata általuk, így egy idő után már nem lehetett hallani őket.

A MUNKA FOLYTATÓDIK

Nem hagyjuk abba a munkát, és az üzemeltetési feladatokkal párhuzamosan már megkezdődött a következő műhold tervezése, amely szintén egy három egység méretű PocketQube lesz.

Az NMHH-1 projekt a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság támogatásával indult el 2024 elején, a BME és a Széchenyi István Egyetem közös munkájával készül, a Műegyetem vezetése alatt. Célunk egy olyan robusztus és redundáns rendszer építése, amely alkalmas kis méretű tudományos kísérletekhez a szükséges alaprendszerek biztosítására. Az energiaellátást ezúttal nyitható napelemtáblák nyújtják, amelyek nagyobb felületükkel nagyobb teljesítményű fogyasztók használatára biztosítanak lehetőséget. ■



10. ÁBRA. Rádiófrekvenciás zavarjelek az MRC-100 frekvenciáján (A szerzők szerkesztése)