

## Az elmélet átültetése a gyakorlatba, avagy a hallgatói zsebműhold az űrben várakozáson felül teljesít

### Theory put into practice or pocket-satellite constructed by students works over expectation

*HÖDL Emil Viktor<sup>1</sup>, HERMAN Tibor<sup>1</sup>, GÉCZY Gábor<sup>1</sup>, KRISTÓF Timur<sup>1</sup>,  
KÁLMÁN Tibor<sup>1</sup>, JÓZSA Viktor<sup>2</sup>, PETRÓCZY Balázs<sup>3</sup>, DUDÁS Levente<sup>2</sup>  
CSARNAI Tibor<sup>3</sup>, NEMCSICS Ákos<sup>3,4</sup>, GSCHWINDT András<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosság-tanszék; 1111 Budapest, Egry József utca 18, (V1. épület);  
tel.: (+36 1) 463-1559; fax: (+36 1) 463-3289; honlap: <https://www.mht.bme.hu/>

<sup>2</sup>BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék; 1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6. (D. épület) 208;  
tel.: (+36 1) 463-2613; fax: (+36 1) 463-1762; honlap: <http://www.energia.bme.hu/>

<sup>3</sup>MTA-EK, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet; 1525 Budapest, Postafiók 49;  
tel.: (+36 1) 392 2224; honlap: <https://www.mfa.kfki.hu/>

<sup>4</sup>ÓE, Mikroelektronikai és Technológiai Intézet; 1084 Budapest, Tavaszmező utca 17.;;  
tel.: (+36 1) 666 5181; fax: (+36 1) 666-5199; <http://mti.kvk.uni-obuda.hu/>

#### Kivonat

*A SMOG-P nevű zsebműholdat 2019. december 6-án lőtték ki a világűrbe. Azóta is kifogástalanul működik. A zseb-műhold elődjéhez képest nyolcadakkora térfogatú. Mérete  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ . A műholdra GaAs-alapú kvantumvölgyes napelem került. A műholdunkkal azonos időben kilőtt berendezések közül csak a miénk működik. A szakértők szerint a vetélytársak a napelem-installáláson buktak el. Jelen dolgozatunkban röviden bemutatjuk a műholdat majd a GaAs napelemre fókuszálunk.*

**Kulcsszavak:** műhold, PocketCube, GaAs, kvantum-völgy, napelem

#### Abstract

*A pocket-satellite called SMOG-P was launched into the space on December 6, 2019. It has been working excellently ever since. Its volume is eight times smaller than its predecessor. The size of SMOG-P is  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ . The pocket-satellite is equipped with GaAs-based quantum-well solar cell. Of the satellites launched simultaneously, only ours is functional now. According to expert opinions, rival satellites failed in process of the installation of the solar cell. In this paper, the satellite is shortly described and afterwards we focus on the GaAs-based solar cells.*

**Keywords:** satellite, PocketCube, GaAs, quantum-well, solar cell

## 1. BEVEZETÉS

Ez év elején, a Műegyetem honlapján az „Egy hónapja várakozáson felül teljesít az űrben a műegyetemi zsebműhold” című híradás jelent meg. Oktatói irányítással, egyetemi hallgatók által és külső szakértők bevonásával készült az ún. PocketCube  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$  méretű zseb- vagy másképp piko-műhold, mely a SMOG-P nevet kapta. 2019. december 6-án bocsátották útjára az új-zélandi Mahia-félszigetről az amerikai Rocket Lab cég Electron típusú rakétája segítségével. A magyar műhold kiválóan működik. Ahhoz, hogy kellő képen értékelni tudjuk műholdunk működését, csupán össze kell hasonlítani az egy-időben pályára bocsátott zsebműholdakat. A statisztika azt mutatja, hogy a több száz, egyetemen vagy kis cégeknél készült kisműholdaknak általában kétharmada néma marad, azaz a kilövés után nem küld jeleket. A miénk kommunikál a földi állomással. Műholdunk várhatóan április közepén éri el az atmoszférát, melyben befejezi az életútját.

A most kilőtt műholdunk elődje az ún. MASAT-1 volt. Ez volt az első magyar műhold. Ez a műhold 2012. február 13-án került a világűrbe és 2015. január 10-én lépett be a légkörbe ahol a súrolódás okán megsemmisült. A futamidő alatt ez a műhold is kifogástalanul működött. Jelen műholdunk már a második, az ún. PocketCube kategóriába tartozik (1. ábra). Az előírás szerint a 125 cm<sup>3</sup>-es kocka műhold tömege legfeljebb 250 g lehet. A térfogat és a tömeg jelentős csökkentésével a felbocsátási költség drasztikusan csökkenthető. A működéshez szükséges elektromos energiát a kocka-műhold hat lapján elhelyezkedő napelemek biztosítják. A második generációs műhold lényegesen kisebb felszíne miatt új napelemes technológiát igényelt.

Ez a műhold is akárcsak az elődje méréseket végez a világűrben. Célja a tapasztalatszerzés. Feladata az elektro-szmozg mérése, azaz a Föld rádiófrekvenciás környezetének vizsgálata a 470–800 MHz-es frekvenciasávban. Az adatszerzésen kívül oktatási szerepe is nagyon fontos, hiszen oktatói segítséggel hallgatók készítették. Egy ilyen műhold egy igazi mechatronikai rendszer. Az antennanyitást kivéve, mozgó alkatrész ugyan nincsen benne, de a feljuttatás mechanikai igénybevétele és a világűri működés extrém hőmérsékleti és sugárzási körülményei igen stabil mechanikát igényelnek. Így a fejlesztő csapat nemcsak villamosmérnök hallgatókból ill. oktatókból, szakértőkből állt, hanem tudatosan gépészmérnök hallgatókat is bevontunk a berendezés-építési munkába.



1. ábra Kézben a kész SMOG-P műhold

2018-ban a marosvásárhelyi OGÉT-en már ismertettük a készülő műholdat [1]. Miért kerül újra terítékre? Egyrészt azért, mert elkészült a műhold és tavaly évvégén a világűrbe is került. Másrészt az a szenzációs hír ad aktualitást a cikkünknek, hogy a miénk az egyetlen működőképes műhold, amit a fent jelzett alkalommal a világűrbe bocsátottak. Amerikai és nyugat-európai műholdakkal együtt került a magyar SMOG-P is kilövésre (2. ábra).

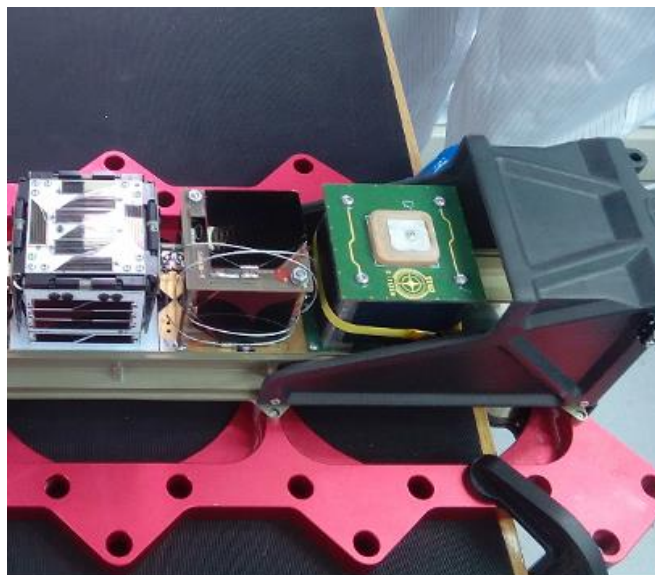
Az előadásunk elején röviden bemutatjuk a műhold felépítését, majd áttérünk az energiaellátás problematikájára. A korábbi kisműholdakhoz képest jelen esetben a jelentős méretcsökkenés okán a zseb-műhold oldallapjaira nagyon-nagy hatásfokú (kb. 40%) GaAs-alapú ún. kvantumvölgyes napelem került. A szakértők szerint az energia ellátás lehet az a sarkalatos pont, amin a vetélytárs-műholdak elvéreztek. Ezen okból a napelemes energiaellátásnak a műszaki és technológiai hátterét részletezzük.

## 2. A BERENDEZÉS BEMUTATÁSA

A SMOG-P zseb-műhold esetében az elődhöz képest a jelentős térfogat- és felület-csökkentés alapvetően megváltoztatta az energiaellátás és a belső elektronika elrendezését. A műholdunk egy ún. elsődleges- és másodlagos energiaellátó egységből, valamint egy kommunikációs egységből és egy rádiófrekvenciás szmogot mérő spektrum-analizátorból, fedélzeti számítógépből és az antenna-panelből áll. Minden egyes egység legalább egyszeresen tartalékkolt és egy pont meghibásodás kezelésére méretezett.

A műholdunknak mind a hat oldalát napelem fedi (1. ábra). Az időszakos besugárzás okán akkumulátoros energiatárolást kellett alkalmaznunk. Az alkalmazott akkumulátor 700 mAh kapacitású Li-ion típusú, melynek kiválasztása a kamera akkumulátorok közül hőkamrás vizsgálatok alapján történt.

A műhold fedélzeti számítógépének lelkét egy ARM Cortex M4 típusú processzor alkotja. Itt egy 8 Mbyte kapacitású flash memória tárolja a mérési adatokat. A fedélzeti számítógép feladata az egyes alegységek vezérlése, nagy-hatótávolságú adatok gyűjtése és ezek alapján a műhold pozíciójának meghatározása. A kommunikációs egység feladata a kapcsolattartás a földi irányító állomással. A spektrum-analizátoros egység feladata a rádiófrekvenciás szmog mérése. Kettő-kettő antenna szolgál két nagy-hatótávolságú adó/vevő egység számára. A másik Kettő-kettő pedig a spektrum-analizátoros egységet szolgálja [2-7].



2.ábra Kilövés előtt a magyar SMOG-P közepén. Jobbra tőle az USA/német kooperációban, balra pedig a spanyol zseb-szatelit

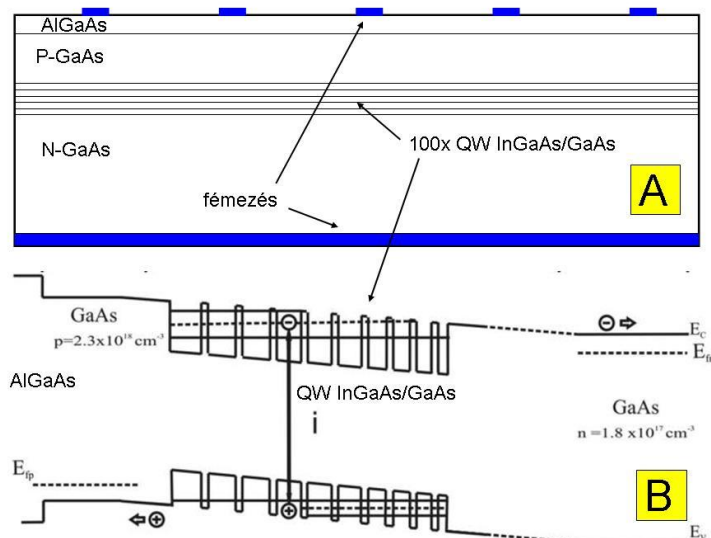
Az antennák szintén kritikus részei a rendszernek, melyeknek a pályára állást követően kell kinyílniuk. Az antennák kerékpár bowden-sodronyának 3 db elemi-szálából, ill. ezek újrasodrása által készült. Az antenna a kilövés előtt még feltekert állapotban van (2. ábra). Az antennanyitás a műhold további működése szempontjából kritikus művelet. Ha az antennák nem nyílnának ki, abban az esetben nincsen kommunikáció. Esetünkben van kommunikáció, így tudható, hogy az antennanyitás sikeres volt. Az antennanyitás az egyik első fázisa a világűri működésnek, így ez az akkumulátor energiájára támaszkodik.

### 3. A NAGY-HATÁSFOKÚ NAPELEMRŐL

A napelemek terhelése egy maximális munkapont kereső áramkör. Továbbá minden egyes oldallapon napsugárzást érzékelő foto-tranzisztor is van, mely a Naphoz képesti helyzet-meghatározásra szolgál. A napelemekről bejövő átlag teljesítmény világűri körülmények között (AM0) kb. 300 mW. Az áramkör még ellátja a napelemek kimeneti feszültségének stabilizálását, az akkumulátor töltését, a túlfeszültség- ill. túláram-védelmét.

Az elektromos energiát a GaAs-alapú kvantumvölgyes (InGaP/GaAs/Ge heteroátmeneteket tartalmazó) TJ Solar Cell 3G30C típusú napelemek szolgáltatják. A hetero-átmenetek segítségével kvantumvölgyeket alakítanak ki, melyek segítségével érik el a nagy hatásfokot (3. ábra) [8]. A zseb-műhold mérete okán a beszerzett napelemeket méretre kellett vágni. A művelet nem volt triviális feladat, mivel a hagyományos keresztbevágás az aktív-réteg lesöntölődését okozza. A korlátozott mintaszám miatt a pattintással való kísérletezés sem volt járható út. Mivel a napelem belső struktúrájáról sajnos információ nem állt rendelkezésünkre, a következőt csináltuk: Az anyag abszorpciós tulajdonságából

meghatároztuk az aktív réteg homlokoldaltól való lehetséges mélységét. Majd a szelet vastagságát megmérve, bevágtuk a szeletet hátoldalról, úgy, hogy az aktív réteget még biztosan ne érjük el. Így elértük, hogy az így kigyengített szeletet a kristálytani iránynak megfelelően el tudtuk pattintani az adott helyen.



3. ábra A miénkhez hasonló GaAs-alapú MQWnapelem metszete (A) és energia-sáv diagramja (B)

A szakértők szerint a napelemes energia ellátás lehet az a kritikus terület, amelyen a konkurenseink megbuktak. Ezt a vélekedést erősíti G. A. projektvezető meglátása is, aki utalt arra, hogy elég megnézni a vetélytársak által készített műholdakon lévő napelemeket. Nekik csak kis darabokban sikerült működőképes napelemet installálniuk (2. ábra). Első rátekintésre gondolhatnánk ezt a napelem-illesztést egyszerű technikai kérdésnek, de nem ez a helyzet, hiszen aligha hihető, hogy az amerikai, német vagy akár a spanyol szakemberek számára (2. ábra) ne állt volna legalább olyan, ha nem külön műszaki háttér a rendelkezésére, mint nekünk. (De tovább erősíti a napelemes „tézist” az a körülmény is, hogy a svájci-német támogatású nepáli zseb-műhold projekt napelemeit is mi készítettük német felkérésre. Nemcsak a mieinket, de a nepáliakét is elsőre, egyetlen selejt nélkül tudtuk elkészíteni, ami nem kis fegyvertény, ha belegondolunk, hogy nem olcsó mulatság a kísérletezgetés a drága, világűri napelemekkel.) Végül, sikeres életutat kívánunk a műholdunknak!

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Hödl Emil Viktor, Herman Tibor, Géczy Gábor, Kristóf Timur, Kálmán Tibor, Józsa Viktor, Petróczy Balázs, Dudás Levente, Csarnai Tibor, Nemcsics Ákos, Gschwindt András: Hallgatók által készített nagy hatásfokú napelemmel működő műhold; Proc. of XXVI. OGÉT, Marosvásárhely, pp 204-207 (2018).
- [2] Levente Dudás, László Szücs, dr. András Gschwindt: The Spectrum Monitoring System of Smog-1 Satellite, 2016.
- [3] Dudás Levente: Zseb-műhold – kocka az űrben; Élet és Tudomány; vol. 27 pp 838-840 (2017).
- [4] Kristóf Timur: A SMOG-1 PocketQube műhold redundáns fedélzeti számítógépének hardver és szoftver fejlesztése, TDK dolgozat, (2015).
- [5] Herman Tibor: A SMOG-1 PocketQube elsődleges energiaellátó rendszere, diplomamunka, (2015).
- [6] Géczy Gábor: A SMOG-1 pocketcube másodlagos energiaellátó rendszere, diplomamunka, (2016).
- [7] Hödl Emil Viktor, Herman Tibor, Géczy Gábor, Kristóf Timur, Kálmán Tibor, Józsa Viktor, Petróczy Balázs, Dudás Levente, Csarnai Tibor, Nemcsics Ákos, Gschwindt András: SMOG-1 hallgatói műhold; Proc. of XXXIII Kandó Konferencia, Budapest, pp. 61-75. (2017).
- [8] Nemcsics Ákos: A napelem és fejlesztési perspektívái; Akadémiai Kiadó, Bp. (2001).