

A SMOG-P-nek, a világ legkisebb műholdjának sikertörténete 2.

Géczy Gábor okl. villamosmérnök, HA7GG, geczygabor@gnd.bme.hu

Tervezés, építés, tesztelés, start

Csapatunk évekig dolgozott SMOG megépítésén, és felkészítettük, hogy bírja az űrben várható zord körülményeket. Extrém hőmérsékletekre készültünk, de mindössze szimulációkat lehetett végezni a várható viszonyokról, mivel korábban nem volt hasonló méretű műhold, ezáltal nem voltak elérhető mérési adatok.

Hőkamrás mérésekkel teszteltük a konstrukciót -45 és +85 °C között. Termovákuum-kamrás tesztekkel igazoltuk a műhold életképességét vákuumban, szélsőséges hőmérsékleti viszonyok mellett, valamint vibrációs tesztekkel bizonyosodtunk meg arról, hogy ez az apró szerkezet bírni fogja a rakéta felbocsátása során keletkező hatalmas mechanikai terheléseket. A fő mérőrendszerek működését speciális tesztekkel igazoltuk. A spektrumanalizátort magaslégköri ballonos kísérletek, míg a doziméter használhatóságát besugárzási tesztek eredményei igazolták.

SMOG már 2017-ben szinte teljesen elkészült, azonban nehéz volt egy ilyen új típusú műholdat

pályára állítani. A SMOG méretéhez igazodó PocketQube osztályú műholdakhoz nem volt elérhető hordozórakéta, sem pályára állító szerkezet, amelyek a MASAT-1 méretű CubeSat műholdakhoz már évek óta rendelkezésre állnak. Végül sikerült egy megfelelő lehetőséget találni. 2019 szeptemberében kiszállítottuk a struktúra első repülő példányát, a SMOG-P-t Skóciába, ahol rögzítettük az Alba Orbital nevű cég pályára állító szerkezetébe. Ez volt az utolsó alkalom, hogy láthattuk több évnyi munkánk eredményét, amely mindössze 183 grammot nyomott az integrációs eljárás során. Az eljárás részét képező tömegmérést láthatjuk a **12. ábrán**. Jól láthatók a dipólokat alkotó, még feltekereselt acélsodratok, az azokat rögzítő műanyag szállal.

Az integráció után a szerkezetet, benne a műhoddal, Új-Zélandra szállították a RocketLab indító bázisára, és rögzítették egy Elektron típusú rakéta orrkúpjában. A holdacskának el kellett jutnia Magyarországról bolygónk egyik legmesszebbi pontjára, hogy végül 2019 december 6-án elindulhasson az űrbe a RocketLab tizedik, „Running Out of Fingers” elnevezésű küldetése során. A **13. ábra** az indítás eseményét örökítette meg Mahia Peninsula (fotó: *Brendan Gully*).

Az indítás és pályára állítás a küldetés egyik legkritikusabb része. A több hónapnyi tárolás során az akkumulátornak nem szabad lemerülnie, viszont a műholdnak fel kell élednie és el kell indulnia a pályára állítást követően, majd sikeresen ki kell nyitnia az antennáit a kommunikáció biztosításához. Rengeteg műholdnak ez a kritikus szakasz nem sikerül, és ezért válik siker telenné sok küldetés az űrben.

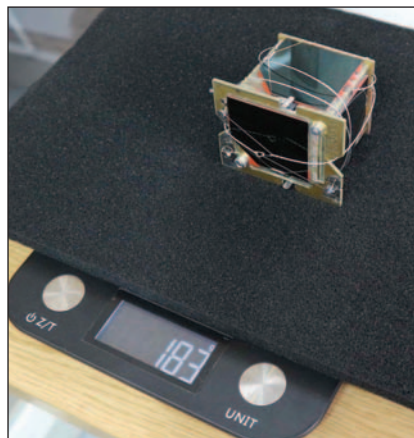
Néhány órával a felbocsátás után az első pályabecsléseket közzétették, és rádióamatőrök szerte a világban megerősítették, hogy SMOG-P feléledt, elkezdte küldetését, és rádiójelekkel kommunikál az űrből. Ezzel SMOG-P felállított egy új világrekordot, mivel eddig nem volt ilyen kis méretű működő műhold az emberiség történetében.

A csapat előkészített egy egyedi szoftvert, amellyel bárki képes a műhold által kibocsátott jelek dekódolására, és a vett csomagok továbbíthatók a serverünkre további feldolgozás céljából.

Mérési eredmények, tapasztalatok

A küldetés kezdete óta több mint 233 ezer csomagot vettek világszerte (2020. 09. 18-án érvényes adat), amelyek fontos információkat tartalmaznak a SMOG-P fedélzetéről. Ezen adatok felhasználásával készült el az első térkép az emberi tevékenységből adódó elektromágneses szennyezettségről (**14. ábra**).

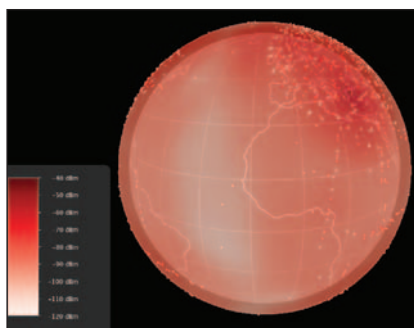
A leérkező adatok érdekes anomáliákat mutatnak. Kezdetől fogva gyakran tapasztalható,



12. ábra



13. ábra



14. ábra

hogy az energiaellátó rendszer védelmi elektronikáinak le kell kapcsolnia a védett rendszer túlárama miatt, és át kell kapcsolnia a tartalék egységre.

A legvalószínűbb magyarázat ezekre a véletlenszerű jelenségekre az, hogy ilyenkor nagy energiájú részecske becsapódás éri a védett áramkört (latch-up jelenség), amely ezáltal maradandóan károsodna az egyedi védelem hiányában. Szerencsére a műhold védelme tökéletesen levizsgázott az űrben, már számos alkalommal mentette meg a küldetést!

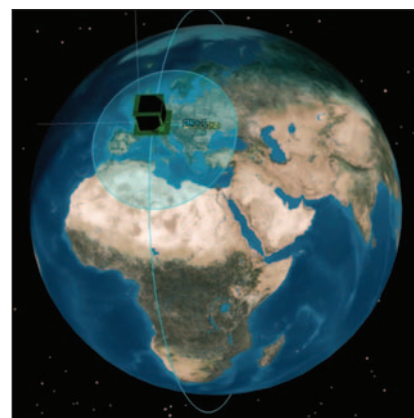
A küldetés kezdetén minden az elvárások szerint alakult. Az indítás után az akkumulátor közel teljesen fel volt töltve, nem merült le a több hónapos tárolás és szállítás során, a gondos tervezésnek köszönhetően. A napsütötte pályaszakaszokon teljesen fel tudott tölteni, és a sötét szakaszok során is mindössze a teljes töltés 15%-át használta fel a műhold.

A SMOG-P pályájának közel 60%-át éri napfény, míg a pálya 40%-a a Föld árnyékában húzódik. A műhold közel 91 perc alatt

teszt meg egy teljes kört a bolygó körül, a napfényes és sötét szakaszok periodikusan váltják egymást. Egy pályaszimuláció-részletet láthatunk a **15. ábrán**.

Váratlan módon az energiamérleg megváltozását tapasztaltuk a küldetés során. Észlelhető volt az akkumulátor merülése, és közel 10 nap enyhén negatív energiamérleg mellett a műhold új energiaegyensúlyba került. A SMOG folyamatosan méri az akkumulátor töltöttségét, és automatikusan energiatakarékos üzemmódba vált, ha a töltöttség csökken. Az energiával úgy tud spórolni, hogy a kommunikációs rendszer adásainak időtartamát és gyakoriságát kezdi el korlátozni, mivel a vevőállomásokkal szükséges kommunikáció fenntartásához használja fel az energia nagy részét. Esetenként több, mint 2200 km-es távolságot kell a rádiós linknek megbízhatóan áthidalnia. Az adóteljesítmény 100 mW (+20 dBm), az antennanyereség kb. 0 dBi.

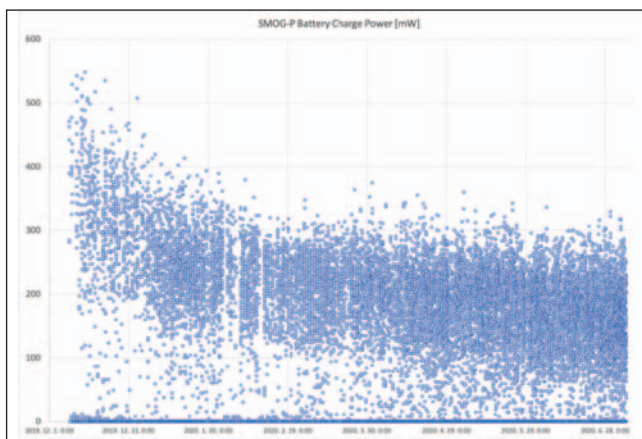
Az anomália megjelenésekor nem tudtuk megállapítani mi okozhatja az energiamérleg ilyen mértékű drasztikus megváltozását. Mára azonban a több ezer vett adatsomagnak köszönhetően a vizsgálatom képes volt kimutatni a probléma forrását. Az akkumulátortöltő teljesítményének mért értékeiből kimutatható, hogy a napelemekről beérkező töltőteljesítmény drámai módon csökkent a küldetés kezdete óta. Ezekkel a teljesítményekkel jól jellemezhető az energiamérleg pozitív oldala, míg az



15. ábra

akkumulátort merítő teljesítmények jól jellemzik a műhold által felvett energiát a mérleg másik oldalaként. A feldolgozott adatokból egyértelműen kimutatható, hogy a műhold próbál alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez azáltal, hogy az alacsonyabb, energiatakarékos üzemmódokban egyre több időt tölt. A fedélzeten a küldetés során mért akkumulátortöltő teljesítmény változását a **16. ábra**, az akkumulátor merítő teljesítményét a **17. ábra** szemlélteti

A SMOG-P mérte a napelemek feszültségét és töltő áramerősségét, amelyekből számítható a töltő teljesítmény, és ezáltal a napelemek állapota. Ezekből az adatokból jól megmutatkozik, hogy mind a hat napelem erősen degradálódott a küldetés során, és a beérkező teljesítmény csökkent (**18. ábra**). Ennek legvalószínűbb oka az, hogy bár űrminősített, de védőréteg nélküli cellákat használtunk fel a mű-



16. ábra



17. ábra