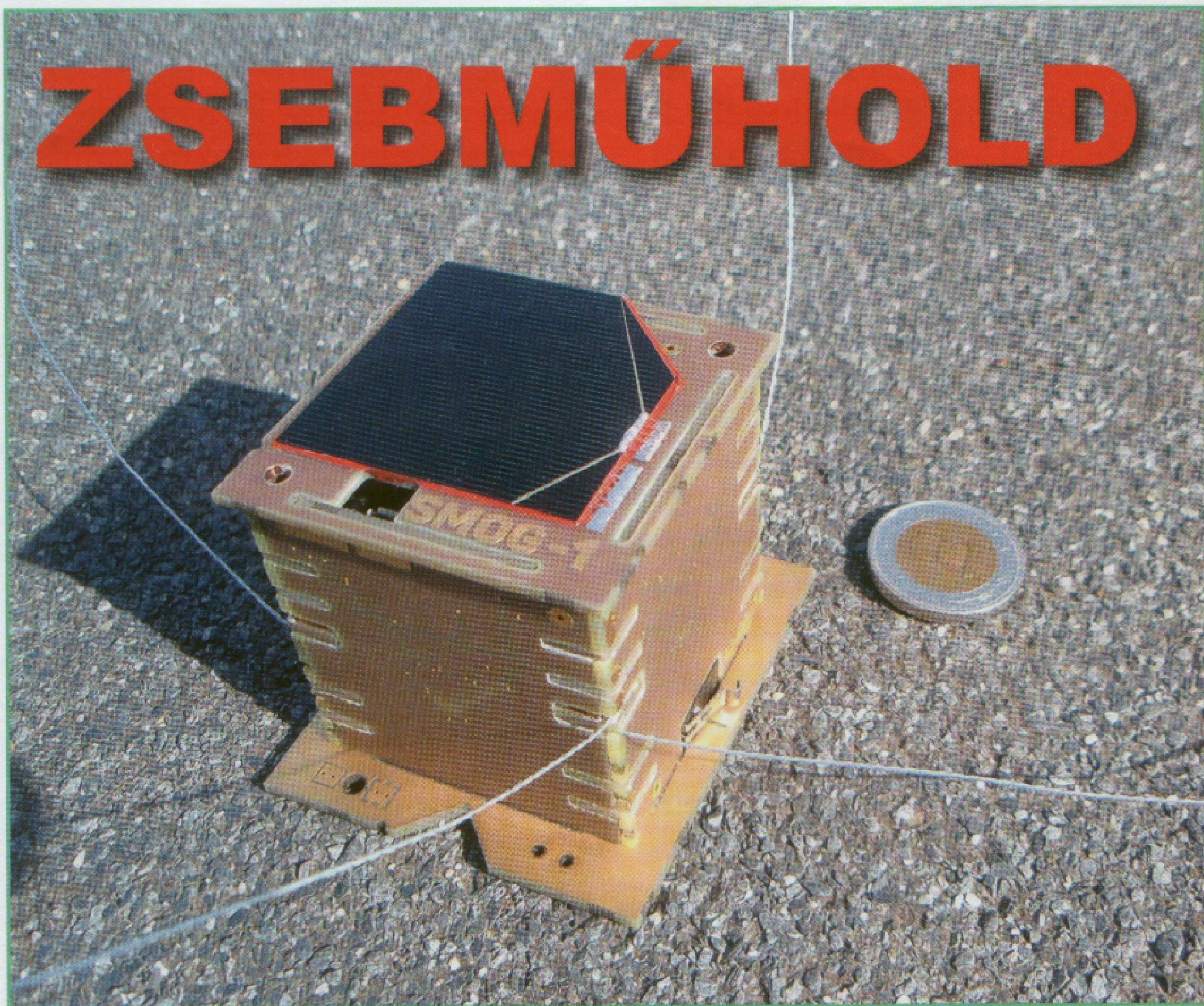


ZSEBMŰHOLD



A Masat-1, mint első magyar műhold oktatási vonalon történő folytatásaként, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, villamos- és gépészmérnök hallgatók közreműködésével, egyetemi oktatók-kutatók szakmai irányítása mellett 2014-ben belekezdünk egy 5 cm-es, kocka alakú műhold - PocketQube osztály, „zsebműhold” - fejlesztésébe. Ez a SMOG-1.

Az alábbi cikk a Budapesti Műszaki Egyetem, a Pro Progressio Alapítvány és az Élet és Tudomány ismeretterjesztő cikkpályázatának I. helyezését érte el oktatói kategóriában.



A SMOG-1 küldetés célja az ember által keltett rádiófrekvenciás szennyezettség (innen a műhold neve) mérése alacsony Föld körüli műholdpályán keringve a digitális földfelszíni TV-adók (DVB-T – Digital Video Broadcasting Terrestrial) frekvenciasávjában, ami 430–860 MHz.

Az aprócska műhold felépítését tekintve redundáns, hideg tartalékolt, egy pont-meghibásodásra méretezett, és jól elkülöníthető részből áll. Az *energiaellátó rendszer* a kocka oldalán található napelemekből, a hozzájuk tartozó maximális munkapontkövető áramkörökből (hogy minden pillanatban a maximális teljesítményt tudjuk kiszedni a napelemekből), fedélzeti akkumulátorból (Li-ion cella), akkumulátortöltőből és felügyelő áramkörből, és túláramvédelmi kap-

csolókból (hogy egyes fogyasztók meghibásodása esetén a műhold továbbra is működőképes maradjon) áll. A *fedélzeti számítógép* két Cortex-M4 alapú mikrovezérlő, saját fejlesztésű, műhold vezérlésre optimalizált fedélzeti „operációs” rendszerrel. A kommunikációs rendszer a 437 MHz-es (70 cm-es hullámhossz) rádióamatőrök által használt frekvenciasávban fog kapcsolatot tartani a földi állomásokkal.

Ezekon felül a műhold hasznos terhe a spektrummonitorozó rendszer, amely a Földről érkező, az ember által üzemeltetett DVB-T adók jelenléte szintjét méri a Föld körüli keringés során, valamint az a rendszer, ami (főként) a Napból érkező nagyenergiájú ionizáló sugárzást méri, amely jelentősen befolyásolja a műholdakban található elektronika működési élettartamát.

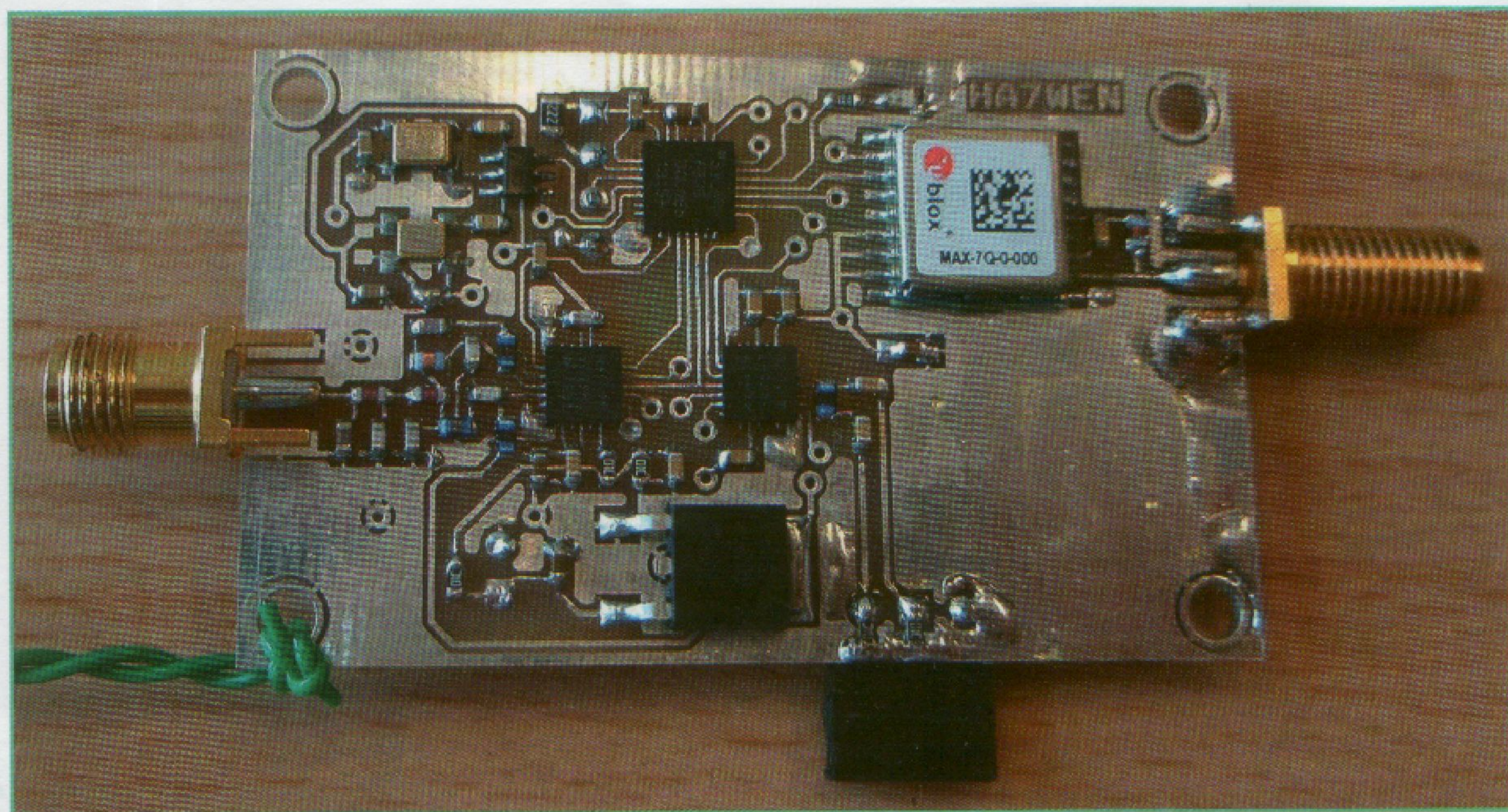
Egy cseppnyi energia

A Naptól 150 millió kilométer távolságban alacsony Föld körüli műholdpályán (300–3000 kilométer) 1×1 m-es felületen 1360 W teljesítmény mérhető, ha a felületre a Napsugarak merőlegesen esnek. A SMOG-1 esetében csupán 40×40 mm-es három rétegű napelemfelülettel számolhatunk, melynek hatásfoka 28%, így nagyjából 600 mW csúcsteljesítmény nyerhető. 600 kilométer-es

napszinkron körpálya esetén a keringési időnek (90 perc) 60%-át töltjük majd napon, 40%-át árnyékban, így 365 mW-hoz jutunk. Ez a teljesítmény egy mai, kikapcsolt állapotú tévékészülék fogyasztásának tized-huszdad része, amelyből műholdunknak üzemelnie kell, miközben kb. 7,6 kilométert megtéve másodpercenként körbeesi a Földet (első kozmikus sebesség).

A SMOG-1 maximális megengedett tömege 250 gramm, amely igen komoly kihívást jelent nemcsak az elektronikai, hanem a mechanikai és termikus (hőhátartás) rendszer tervezői számára is: 54 percig napon (1,5 fokos térszögben 5–6000 K, vagyis a Nap felszíne látszik), 36 percig árnyékban (283 K a Föld és 4 K a világűr sötétje mint termikus háttér) – a kis tömeg miatt gyorsan hűl és melegszik a műhold, valamint teljes vákuumban kering, vagyis a Földön tapasztalt 3 hőtranszport folyamatból csak a fémes hőelvezetés és a hősugárzás működik, a konvekció nem (nincs mit fűjni).

A pályára állítás rakéta segítségével történik, melynek során 3–3000 Hz közötti frekvenciatartományban mechanikai rázás (gyorsulás) terhelés éri a műholdat, amely 2–40 g közötti lehet (65 g-re már teszteltük a műholdunkat és bírta): az emberi szervezet 10 g felett felmondja a



szolgáltatást, frontális ütközésnél nem ritka a 15–20 g terhelés sem ($1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$).

Ballonos mérés

Előzetesen magaslégköri meteorológiai ballonos méréseket végeztünk a műhold elsődleges hasznos terhe, a spektrummonitorozó rendszer működőképességének visszaigazolására, illetve annak bizonyítására, hogy az ember által keltett DVB-T sávú rádiófrekvenciás szennyezettség jelen van a magaslégkörben. A ballonos mérés esetén a ballon egy egyszerűsített mérőrendszert vitt magával, amely tartalmazott egy tápegységet (szárazelemlről üzemelt), egy mikrovezérlőt, egy GPS-t a ballon pozíciójának meghatározására (szélesség, hosszúság, magasság, időbélyeg), egy kommunikációs rendszert, amely a digitális adatkapcsolatot biztosította a földi állomás és a ballon között, és egy spektrummonitorozó rendszert, amely a méréseket végezte.

Mivel a 430–860 MHz-es frekvenciájú rádiójelek esetében már nem érvényesül a földi ionoszféra többszörös törés miatti visszahajlító (refraktáló) hatása, így ezen jelek kijutnak a világűrbe, és ott – főként az alacsony Föld körüli pályán keringő műholdak fedélzeti kommunikációs rendszereinek interferenciát okoznak. Nem mellesleg, ha egyes tévéadók antennáit úgy terveznénk, hogy minél kevesebbet sugározzon kifelé a világűrbe, akkor nagyságrendileg feleakkora adóteljesítménnyel el lehetne látni az adó vételkörzetét minőségromlás nélkül, amely egy 100 kW-os TV-adó esetében kb. 400 kW

fogyasztott teljesítmény mellett feleakkorára csökkenthetné az adó „villanyszámláját”.

A ballonos mérés eredményét látva a következőket állapíthatjuk meg: néhány 100 méter magasságban csupán a helyi TV-adók egy-egy 8 MHz-es jele látszik jelentős teljesítménnyel. Amint a ballon magassága növekszik, a ballon kísérleti mérőrendszere által látott rádióhorizont kitágul, vagyis egyre messzebbre látunk, amely azt eredményezi, hogy a szomszédos országok TV-adóinak a jele is láthatóvá válik – 1000 m felett gyakorlatilag megtelik adókkal a TV-sáv. A földfelszíntől 34 km magas-

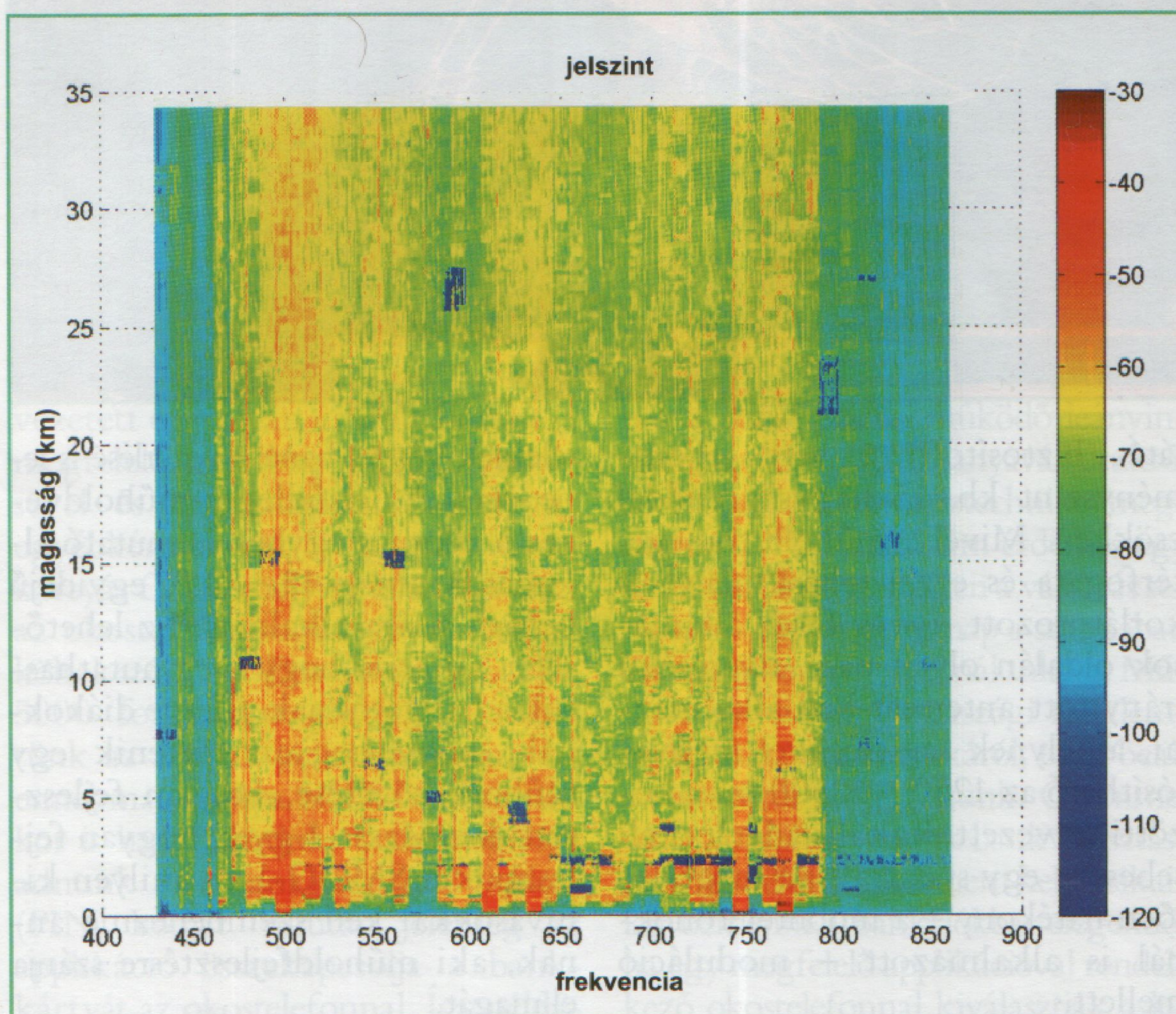
ságban is igen nagyszintű jelek láthatók, valamint 770 MHz-en 7–8 kilométer magasságban is rendkívül nagy jelszintet mértünk, holott ebben a magasságban aligha akad tévénező – vagyis fölöslegesen fűtjük a világűrt és zavarjuk a műholdjainkat.

Láthatóság és kapcsolat

A SMOG-1 naponta 6–8 alkalommal lesz látható Magyarországról, az egyes áthaladások időtartama 1–12 perc közötti horizont felett, miközben a műhold 90 perc alatt megkerüli a Földet és közben a Föld kiforog alóla, ahogy telik az idő – így lehetséges az, hogy globális rádiófrekvenciás szennyezettségi térkép készülhessen, hiszen a Föld teljes felülete 2–3 nap alatt látható lesz a műhold mérőrendszere számára. Mindez egy olyan 5 centiméteres kocka alakú műhold fedélzetén, amelyhez hasonló működő műhold jelenleg nincs a világűrben.

600 kilométeres napszinkron körpályát és 6370 kilométeres Föld sugarat feltételezve a maximális áthidalandó távolság közel 3000 km. 365 mW-os körátlagra vonatkoztatott bemeneti tápteljesítmény esetén 27%-os adóhatásfok mellett 100 mW-os rádiófrek-

A grafikonon a vízszintes tengely a frekvencia – maga a TV sáv, a függőleges tengely a ballon földfelszínhez képesti magassága, a szín pedig a vett jel szintje logaritmikus skálán



venciás adóteljesítményt tudunk realizálni a SMOG-1 fedélzeti antennája által lesugározva a 70 centiméteres rádióamatőr sávban (a műhold hívójele HA5BME a hatályos frekvenciaengedély szerint).

Ellentétben a Masat-1-gyel, ez most nem űrminősített mérőszalag monopólanternát, hanem V-alakú „űrminősített” bicikli bowden dipólanternát jelent. Ennek iránykarakteristikáját igyekeztünk úgy kialakítani, hogy ne legyen nullhelye (vagyis olyan irány, amerre nem sugároz) és kvázi egyenletes legyen a lesugározott teljesítménye (ne lehetetlenüljön el a jelek vétele), ugyanis a műhold a keringése során pörgő, forgó, precesszáló mozgást végez, vagyis a kockának mindig más és más oldala néz a Föld, illetve a földi állomások irányába.

A zsebműhold és a földi állomások közötti szabadtéri terjedést feltelezve (vagyis ha az optikai rá-

A BME E-épületének tetején található a Masat-1 és a SMOG-1 elsődleges földi vezérlő állomása, amely jelenleg egy 4,5 méter átmérőjű parabolaantennával büszkélkedhet. Az antenna körpolazirált elektromágneses hullámot gerjeszt, és a fő sugárzási irányába százszoros teljesítménysűrűséget képes létrehozni a negyedhullámú monopól mint referenciaantenna teljesítménysűrűségéhez képest – csak így realizálható a 10 kbit/s nagyságrendű adatátviteli sebesség. Az állomás az alacsonypályás műholdkövetéshez megfelelő antennaforgatóval rendelkezik, amely azimutban 0–360 fok, elevációban 0–180 fok szögtartományt jelent, vagyis az antenna fő sugárzási irányát fizikailag a műhold irányába képes fordítani az áthaladások során.

Az állomás teljes mértékben automatizált és távvezérelt, vagyis teljesen alacsonypályás műhold követhető vele. Nemcsak a műhold

Mindenki bekapcsolódhat

A SMOG-1 jeleinek vétele megfelelő földi állomás esetén lényegében bárki számára lehetséges, és itt nem feltétlen kell a BME E-tető jellegű állomásra gondolni, bár az állomás vett jele interneten elérhető egy WebSDR segítségével: <http://gnd.bme.hu/ham.php>.

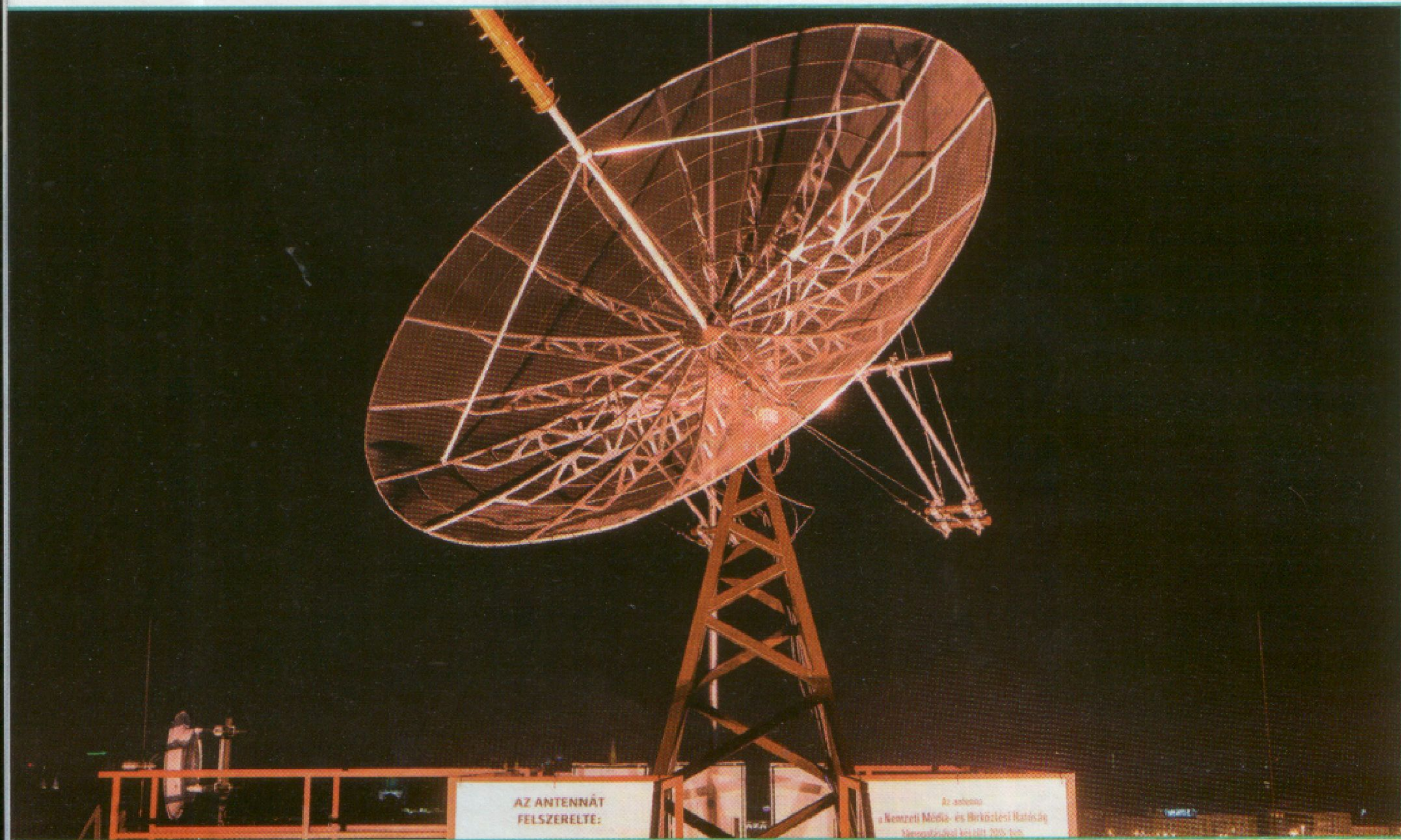
Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy nemcsak a világ rádióamatőreit szeretnénk bevonni a műhold követésébe, hanem kifejezetten SMOG-1 vételre készítünk egy hardverrádió alapú USB-s SMOG-1 vevőt, amelyhez tartozik egy mérőszalagból készült 6 elemes kézi Yagi antenna is (az egész antenna mérete kisebb 1 m-nél).

Az USB-s vevőt egy számítógéphez csatlakoztatva és a honlapunkról letöltött publikus SMOG-1 vevő szoftvert futtatva adott földrajzi helyről a program megmondja, hogy mikor, milyen irányba forduljunk a kézben tartott irányított antennával, és ha online vagyunk (van internethozzáférése a vétel közben), akkor a vett adatok a műholdfejlesztő csapat számára szinte azonnal láthatóvá válnak. A Masat-1 üzemeltetése során szerzett tapasztalatok szerint a rádióamatőrök, illetve a műholdvételek iránt érdeklődők bevonása a műhold követésébe gyakorlatilag megkészszerzi az adott idő alatt a műholdról lehozható adatmennyiséget. Továbbá lehetőséget biztosítunk a kereskedelemben kapható TV-vételre kifejlesztett szoftverrádiós alapú vevők (pl. <http://www.rtl-sdr.com/>, 2–7000 Ft egy ilyen vevő ára) használhatóságára – a vevőprogram már támogatja.

A SMOG-1 pályára állítása várhatóan a jövő évben történik majd meg. Jelenleg az úgynevezett kvalifikációs példányunk tesztelése és minősítő mérése zajlik, amely rázópados, hőkamrás, termo-vákuum kamrás tesztek jelent, valamint a nyár folyamán a repülő példányt is elkészítjük, mindeközben folyamatosan zajlanak a szoftveres tesztek.

DUDÁS LEVENTE

További (aktuális) infó a <http://gnd.bme.hu> honlapon, illetve a <http://facebook.com/smog1official> oldalon található.



látás biztosított) a vett teljesítményszint kb. 15 nagyságrenddel csökken. Mivel a műhold tömege, térfogata és ezzel teljesítménye is korlátozott, így a földi állomások oldalán olyan nagy nyereségű irányított antennát kell alkalmazni, amelynek segítségével megvalósítható az 1250 – 12500 bit/s közötti tervezett digitális adatátviteli sebesség egy spektrálisan megfelelően hatékony – a mobiltelefonoknál is alkalmazott – moduláció mellett.

jeleinek vétele, hanem vezérlése is lehetséges. Az elsődleges műholdvezérlő állomás egyben bemutató állomás is, amely 12 – 14 fő egyidejű befogadására alkalmas. Ez lehetőséget ad arra, hogy megmutathassuk a hallgatónak, illetve diákoknak, hogy hogyan történik egy műhold követése, hogyan fejlesztjük a Masat-1-gyet, hogyan fejlesztjük a SMOG-1-et, milyen kihívásokkal kell szembenéznie annak, aki műholdfejlesztésre szánja el magát.