

ÖT ÉVE ÁLLÍTOTTÁK PÁLYÁRA A MASAT-1-ET

Komáromi Annamária

Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium, Budapest

Immár több mint öt éve, 2012. február 13-án bocsátották pályára az első magyar tervezésű és építésű mesterséges holdat, a Masat-1-et, amelyet a francia guyanai Kourou melletti űrközpontból az Európai Űrügynökség (ESA) Vega hordozórakétája állított Föld körüli pályára. A Masat-1 (1. ábra) mindössze 1 kg tömegű, 10 cm élhosszúságú kocka alakú műhold volt.

A mostanában középiskolába kerülő diákok közül egyre kevesebben ismerik történetét. Fontosnak érzem, hogy mondjuk el fizikaórán, ezt az űreszközt oktatási céllal tervezték és készítették a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatói és oktatói az ESA Cubesat programjának keretében. Büszkék lehetnek rá tervezői és készítői, hiszen a kis mesterséges hold a tervezett 3 hónapos élettartamot messze meghaladóan, a számítások alapján a lehető leghosszabb ideig, majdnem 3 évig működött. Első hallásra talán meglepő, hogy a Masat-1 azon túl, hogy kiválóan alkalmas a műszaki pálya iránti érdeklődés felkeltésére, milyen sok témakörben felhasználható fizikatanításunk során. Éppen ezért a jelen cikkben nem csupán a hagyományos területeken (például Kepler-törvények) történő alkalmazásra utalok röviden, hanem olyan témakörökben is mutatok lehetőségeket, amelyekre – talán – nem is gondolnánk. Ilyen például az elektrosztatika, a termodinamika, vagy például a mechanikai rezgések.

A Masat-1 pályája

A Masat-1 elliptikus pályán keringett a Föld körül. Pályájának földtől legtávolabbi és Földhöz legközelebbi pontjainak ismeretében kiszámítjuk a pálya geometriai jellemzőit, keringési idejét, illetve a mozgás során előforduló legkisebb és legnagyobb sebességet.

Földközeli pont (perigeum): $r_{\min} = 300$ km, földtávololi pont (apogeum) $r_{\max} = 1450$ km. Az ellipszis alakú pálya geometriai jellemzői: a az ellipszis nagytenegyének fele, b a kistengely fele, c a fókuszpontok távolságának fele, e a numerikus excentricitás.

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatta.



Komáromi Annamária a budapesti Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium matematika-fizika szakos tanára és az ELTE Fizika Tanítása Doktori Iskola hallgatója. Az ELTE-MTA Fizika Tanítása Kutatócsoport tagja.



1. ábra. A Masat-1 „repülő példánya” a start előtt.

$$a = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} = R + \frac{b_{\min} + b_{\max}}{2} = 6371 + \frac{300 + 1450}{2} = 7246 \text{ km,}$$

$$c = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2} = \frac{1450 - 300}{2} = 575 \text{ km,}$$

$$e = \frac{c}{a} = \frac{575}{7246} = 0,079,$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} = \sqrt{7246^2 - 575^2} = 7223 \text{ km.}$$

Kepler III. törvénye,

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M + m)}{4\pi^2}$$

segítségével számíthatjuk ki a keringési időt. Tekintettel a Masat-1 mindössze $m = 1$ kg-os tömegére, a számítás során ettől a tömegtől eltekinthetünk. Szerecsés, ha minél több olyan feladattal találkozunk a diákok, amelyben előkerül az összemérhetőség, illetve összemérhetetlenség fogalma, és megbeszéljük, hogy mikor lehet például elhagyni egy tagot. A G gravitációs állandó értéke: $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, a

Föld M tömege $5,97 \cdot 10^{24}$ kg. Így a Masat–1 keringési ideje:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G(M+m)}} \approx 2\pi a \sqrt{\frac{a}{GM}} =$$

$$= 6,28 \cdot 7246 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{7246 \cdot 10^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24}}} =$$

$$= 6,14 \cdot 10^3 \text{ s} \approx 102 \text{ min.}$$

Mozgása során előforduló legnagyobb és legkisebb sebességet a földközeli és földtávoli pontokban éri el, és ezeket az alábbi összefüggés alapján lehet kiszámítani:

$$v^2 = GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \text{ ahol}$$

$$GM = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} = 3,98 \cdot 10^{14}, \text{ így}$$

$$v_{\text{közeli}} = \sqrt{3,98 \cdot 10^{14} \cdot \left(\frac{2}{6371 + 300} - \frac{1}{7246} \right)} \cdot 10^{-3} =$$

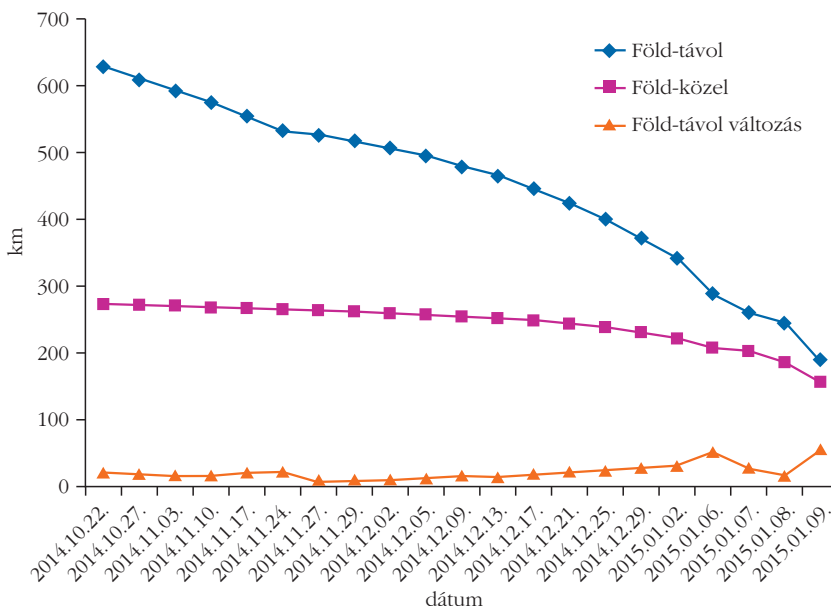
$$= 0,13 \cdot 10^5 = 13000 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right),$$

$$v_{\text{távoli}} = \sqrt{3,98 \cdot 10^{14} \cdot \left(\frac{2}{6371 + 1450} - \frac{1}{7246} \right)} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,068 \cdot 10^5 = 6800 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right).$$

Ezek után érdekes elemezni, miként változott a Masat–1 pályája az utolsó időszakban. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a Masat–1 életének utolsó pár

2. ábra. A Masat–1 pályája (saját szerkesztés <http://www.ha5mrc.hu/hamsat/sats.html> alapján).



hónapjában pályájának földtávoli pontja fokozatosan közelebb került a felszínhez, míg a földközeli pont alig változik, így pályának alakja egyre inkább körhöz közelített.

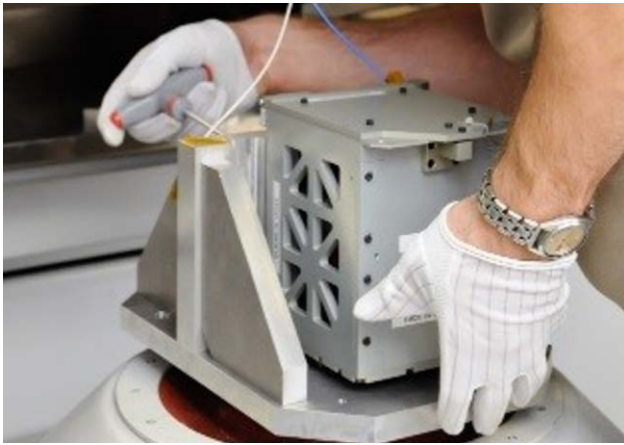
Mechanika: sűrűség, rezgések

A mechanika témakörében foglalkozunk a sűrűség fogalmával. A Masat–1 képét kivetítve, tömegét és méretét ismertetve, megkérdezhetjük sűrűségét. Igazából itt nincs szükség számolásra, hiszen azonnal adódik, hogy a víz sűrűségével egyező értéket kapunk. Itt tisztázhatjuk az átlagsűrűség fogalmát. Továbbfűzve az előbbi feladatot, elmondhatjuk, hogy a Masat–1 borító lemezét 1 mm vastag speciális repülőgép-alumíniumból készítették, így újabb feladatot adhatunk fel a diákoknak, amelyben a kocka méretének, illetve a lemez vastagságának figyelembevételével kiszámoltathatjuk a borításhoz felhasznált alumínium tömegét. A számítás során a $m = \rho V$ összefüggést alkalmazva a számítás eredményeként 162 gramot kapunk. Az alumínium sűrűségét a függvénytáblázatból véve utalhatunk arra, hogy számításunk hozzávetőleges, hiszen nem vettük figyelembe, hogy itt egy speciális repülőgép-alumíniumról van szó.

A rezgések tárgyalásakor érdemes felhívni a figyelmet, hogy a valóságban a mechanikai rezgések túlnyomórészt nem tisztán harmonikus rezgések. Például a Masat–1 a rakétában, a startnál és pályára állítása során igen komoly, többnyire szabálytalan rezgéseknek volt kitéve. Éppen ezért a minősítési eljárások során rázópadon tesztelték (3. ábra), hogy az alkatrészek kibírják-e azokat az extrém körülményeket, amelyek a rakétában az út során kialakulnak. A rázópadon a tesztelést a Vega hordozórakéta profiljának megfelelő paramétereket beállítva végezték.

Elektrosztatika

Az elektrosztatikában hangsúlyos szerepe van a Faraday-kalitrának, illetve a hozzáfűzhető jelenségeknek. A Masat–1 földi vezérlőállomásának átalakításának bemutatása kiváló példa a gyakorlati életben történő alkalmazásra. A távolság az antennák és a vezérlőállomás berendezései között eredetileg 40 m volt. Így, amikor 2012 nyarán villámcsapás érte az antennákat, amelynek során az antennarendszer egynegyede tönkrement és az antennarendszer használhatatlanná vált, a nagy távolság miatt nem kellett félni attól, hogy a műszerek is tönkremennek. Egy elkerülhetetlen költözés miatt azonban a berendezéseket közel helyezték az antennákhoz. Ezért nagy



3. ábra. Rázópad a Masat-1 vizsgálatához [1].



4. ábra. A vezérlőállomást védő Faraday-kalitka építése [1].

figyelmet kellett fordítani annak a végig gondolására, hogy egy esetleges újabb villámcsapás ne tegye tönkre a beltéri egységeket is, sőt egy esetleges tragikus baleset is bekövetkezhetett volna a nagy áramerősség (30-50 ezer amper) következtében. Emiatt a berendezéseket tartalmazó helyiséget leárnyékolták, azaz létrehoztak egy Faraday-kalitkát. A Faraday-kalitkát lehet lemezes borítással is kialakítani, de – mint azt jó néhány erre vonatkozó oktató videóban is látni – meg lehet oldani sűrű fémháló alkalmazásával is. Itt is ezt a módszert alkalmazták. A kalitkához 5×5 cm-es 6 mm vastag acélhálót használtak (4. ábra). Természetesen akkor beszélhetünk Faraday-kalitkáról, ha az ablakokat is berácsozzák és az ajtók fémborításúak. Igen ám, de a Faraday-kalitka alkalmazása maga után vonta, hogy a helyiségbe elektromos áram alatt levő vezetékeket nem lehet bevinni. Ilyen módon tehát csak a kikapcsolt berendezéseket lehet a villámcsapástól megvédeni. Másképpen fogalmazva, csak viharmentes, villámmentes időben szabad ezeket a beltéri egységeket használni. Miután a műhold vezérléséhez folyamatos üzemre van szükség, így e problémára megoldást kellett találni. A tetőn úgynevezett rack szekrényeket alakítottak ki, amelyek igazából egy olyan automatizált állomást alkotnak, ahol emberek nem tartózkodnak. Ahhoz, hogy ez az automatizált és távvezérelt állomás független lehessen az épület elektromos hálózatától, négy napelemtábla segítségével önálló energiaellátó rendszert alakítottak ki [1].

Energia

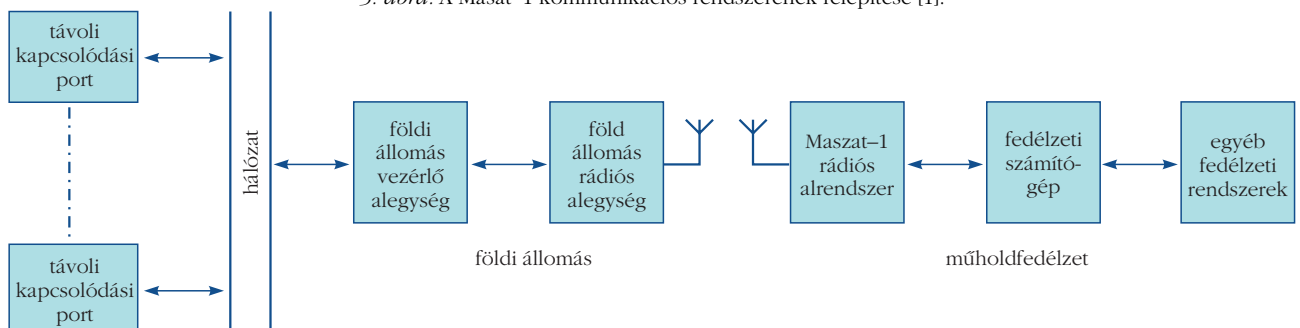
A Masat-1-nél a napelemek mellett szükség volt egy másodlagos energiaellátó rendszerre is, ami egy lítiumion akkumulátor, ez tette ki a kocka térfogatának egyharmad részét és annak tömegében is nagy arányt képviselt. Segítségével volt biztosítva a műhold energiaellátása olyankor is, amikor az a Föld árnyékos oldalán haladt. Az energia szétosztását a fedélzeti számítógép vezérelte.

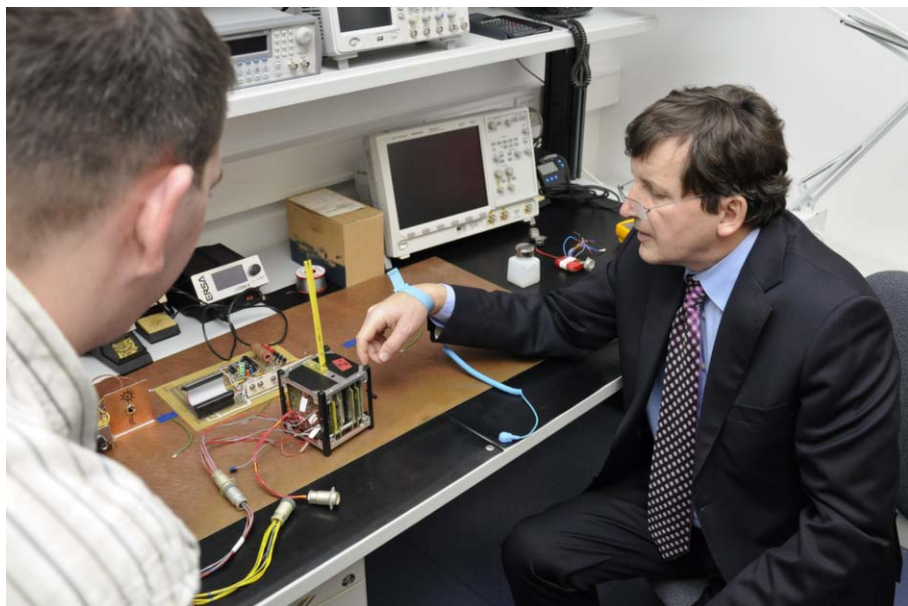
Megbeszélhetjük, hogy a Li-ion akkumulátor az akkumulátortípusok közül az egyik legdinamikusabban fejlődő típus, nevét onnan kapta, hogy benne a lítiumionok biztosítják a töltéstárolást. Egyre szélesebb körben alkalmazzák az űrparban [2].

Félvezetők

A félvezetők témakörében megemlítjük a napelemeket, amelyek jelentősége nem csak a Földön említésre méltó, hanem az űrben is. Az űreszközök esetében meghatározó tényező a Nap sugárzásából származó energia, amelyet napelemek segítségével alakítanak át elektromos energiává. A Masat-1 esetében a kocka mind a hat oldalán elhelyeztek napelemet, ez volt az elsődleges energiaforrás. Elmondhatjuk, hogy szigorú nemzetközi előírások szabályozzák, milyen lehet egy műhold elsődleges energiaforrása. A Masat-1 esetében is úgynevezett űrminősített napelemekről beszél-

5. ábra. A Masat-1 kommunikációs rendszerének felépítése [1].





MO-72, jelezve ezzel, hogy a Masat-1 a világon a 72-es számú rádióamatőr műhold. Az elsőt 1961-ben magánpénzből bocsátották fel.

Az OSCAR mozaikszó jelentése angolul: *Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio* [3]. A megadott hivatkozásnál el lehet olvasni az OSCAR szám kiadásának feltételeit.

Külön szót érdemel a Masat-1 antennája, amely nem űrminősített anyagból készült, de ennek ellenére kifogástalanul működött. Az antenna egy – minden barkácsboltban kapható – fém mérőszalag 17 cm-es darabja. Előzetesen természetesen tesztelték, és tapasztalták a tervezők, hogy ez a fém mérőszalag tökéletesen működik űrbeli körülmények között is.

6. ábra. 2011. május 30. Charles Simonyi, kétszeres űrhajós-úrturista a Masat-1 mérnöki példánya fölött beszélget Marosy Gáborral, az űreszköz egyik alkotójával (fotó: Czifra Dávid, forrás: Index).

hetünk. Megemlíthetjük, hogy egyedül ezek voltak az első magyar műhold nem magyar gyártású alkatrészei. Érdekességgéppen megjegyezhetjük, hogy a napelemeket a Budapesti Operettszínház színpadán a színház erős reflektoraival tesztelték.

Elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok gyakorlati alkalmazásánál nagy figyelmet érdemelnek a műholdak. Minden műholdnak – ha lehet ilyet mondani – a lelke a távérzékelés, amely az általa észlelt, illetve kibocsátott elektromágneses hullámok érzékelését foglalja magában. A Masat-1 esetében ezt a kommunikációs alrendszer testesíti meg, amelyből a többi létfontosságú alrendszerhez hasonlóan – üzembiztonsági okokból – kettő volt. Tömege 75 g, működési hőmérsékleti tartománya $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedt.

Nemzetközi frekvenciaengedélyezési okok miatt a műhold két egymástól független frekvencián üzemelt: a 437 és a 145 MHz-es rádióamatőr frekvenciákon. Ennek következtében a budapesti irányító központ folyamatosan megkapta a Masat-1 jeleit, mert az észlelt jeleket a rádióamatőrök világszerte az ingyen letölthető szoftver segítségével továbbították a központnak. Érdekességgéppen elmondhatjuk, hogy felbocsátása után 3 nappal megkapta az OSCAR számot:

sen működik űrbeli körülmények között is. A műszaki leírásból megtudhatjuk, hogy a CubeSat típusú űreszközökből kinyúló fedélzeti eszközökre is szigorú nemzetközi előírások vonatkoznak, és különböző teszteknek kell megfelelniük. Adódik egy újabb egyszerű számítási feladat, ha 437 MHz a rádióvevő frekvenciája, akkor ez a 17 cm a hullámhossz hányadrészének felel meg? Tekintettel arra, hogy ismerjük az elektromágneses hullámok terjedési sebességét, így a $c = \lambda f$ összefüggést alkalmazva megkapjuk, hogy az antenna megközelítően a hullámhossz negyede. A műszaki adatok leírásánál olvashatjuk, hogy a Doppler-eltolódás értéke $\pm 10\text{ kHz}$ [3].

A fentiekből látható, hogy tanításunk során egy-egy konkrét műszaki alkotás is sok-sok hivatkozási, alkalmazási lehetőséget rejthet magában.

Irodalom

1. http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/54_Dudas_Levente-Varga_Lajos.pdf
2. <http://cubesat.bme.hu/projektek/masat-1/muszaki-bemutatas/>
3. <https://www.amsat.org/?s=Masat>
4. K. Woellert, P. Ehrenfreund, A. J. Ricco, H. Hertzfeld: Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. *Adv. Space Res.* 47 (2011) 663–684.
5. A. Komáromi: With space research for more lovable physics classes, In A. Király, T. Tél (ed.): Proceedings of the International Conference Teaching Physics Innovately. *PARRISE TPI-15*, 17–19. Aug. 2015, ELTE Budapest (2016) 157–162., http://parrise.elte.hu/tpi-15/papers/Proceedings_of_TPI_15.pdf



**Az Eötvös Társulat
főnt van a facebook-on!**

