

CubeSat fejlesztés a Műegyetemen

Kovács Zoltán György okl. villamosmérnök – Marosy Gábor Elemér okl. villamosmérnök
doktorandusz hallgatók, BME Elektronikus Eszközök Tanszéke

Szatellitekről általában

A bolygók körül keringő mesterséges űreszközöket műholdaknak nevezzük. Funkciójuk szerint beszélhetünk: csillagászati, távközlési, földfigyelő, navigációs, meteorológiai és katonai műholdakról. A tömegük szerint léteznek: normál (500 kg felett), mini (100 - 500 kg), mikro (10 - 100 kg), nano (1 - 10 kg), pikó (0,1 - 1 kg) műholdak. A műholdpályákat a Föld felszínétől mért távolságuk alapján osztályozzák, ennek megfelelően beszélhetünk: alacsony (LEO, Low Earth Orbit, 200 - 1200 km), közepes (MEO, Medium Earth Orbit, 1200 - 35 786 km), magas (HEO, High Earth Orbit, 35 786 km) Föld körüli pályákról. Természetesen van számos olyan pálya, ahol nem annyira a földfelszíntől mért távolság a jellemző, hanem az inklinációs szög. A teljesség igénye nélkül néhány fontosabbat összefoglalnánk.

Geoszinkron pályának (GEO, Geosynchronous Orbit) azt nevezzük, ha a műhold a Föld felszínétől 35 786 km-re kering a Föld egy adott pontja felett. Ha a geoszinkron pálya nulla fokos inklinációval bír, vagyis az Egyenlítővel 0 fokos szöget zár be, akkor geostacionárius pályáról (GSO, Geostationary Orbit) beszélünk. Poláris a pálya akkor, ha a műhold pályája során elhalad a sarkok felett. És végül helioszinkron vagy napzinkron pályáról (SSO, Sun Synchronous Orbit) beszélhetünk akkor, ha a műhold helyi idő szerint mindig ugyanakkor látható a Föld egy adott pontja felett.

CubeSat

A California Polytechnic State University kidolgozott egy pikó-szatellit szabványt, amit CubeSatnak nevezett el. A szabvány lé-

nyege, hogy méret- és tömegkorlátok közé szorítja a fejlesztendő űreszközt. A szabvány alapegységként (1U) egy 10 x 10 x 10 cm-es kockát, maximum 1 kg tömeggel definiál. Néhány példa: .5U Cube – 10 x 10 x 5 cm, 0,5 kg; 1U Cube – 10 x 10 x 10 cm, 1 kg; 2U Cube – 10 x 10 x 20 cm, 2 kg; 3U Cube – 10 x 10 x 30 cm, 3 kg; Mega Cube – 10 x 20 x 30 cm, 6 kg.

A szabvány kiter a CubeSatot pályára állító adapterre is, ami így szabványos interfészt biztosít rakéta és a műhold között. Több-

féle ilyen adapter létezik.

Közülük néhányat széles körben alkalmaznak, mert többször bizonyítottak már valós küldetésben és mindig kifogástalanul működtek. Közéjük tartozik a Poly-Picosatellite Orbital Deployer (P-POD) vagy éppen az eXperimental Push Out Deployer (X-POD). A legtöbb adapter egyszerre 3 darab 1U méretű CubeSatot képes pályára állítani (vagy 1 darab 3U méretű), de

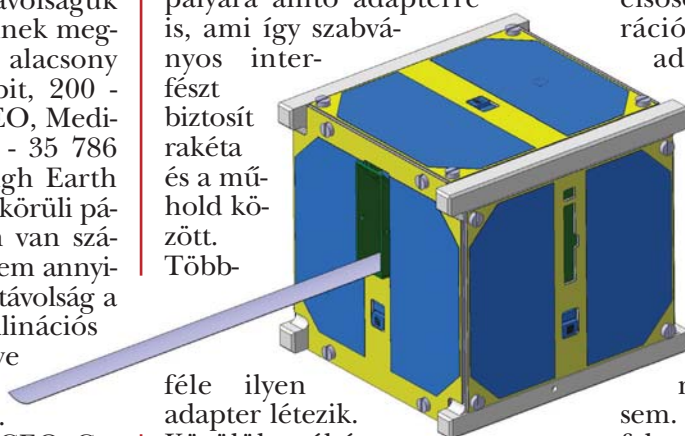
olyan is akad, amely csak egy egység számára készült. Így nagyobb rugalmassággal lehet válogatni, mind a startot szervező cég részéről, mind a fejlesztők részéről. Előre tervezhető, hogy az adaptert megosztják-e több egyetem kisműholdja között, vagy mindenki egyénileg kerül elhelyezésre.

Jelenleg a világon közel 40 ilyen CubeSat projekt fut és évente 5-10 műhold készül el. Ezeknek a műholdaknak a célja elsősorban oktatási és demonstrációs jellegű. A méretükből

adódóan nem várható, hogy „komoly” kísérleteket hordozzanak, de számos olyan dolgot lehet velük demonstrálni és kikísérletezni költséghatékony módon, amik meglapozhatnának egy nagyobb műholdas kísérletet.

A kísérletek kivitelezhetősége függ attól, hogy a műhold stabilizált-e vagy sem. Ha igen, akkor legtöbbször fekete-fehér vagy színes CMOS kamerákat helyeznek el a fedélzeten, vagy olyan irányérzékeny műszereket, amelyek a kozmikus sugárzást vizsgálják, a Napból származó töltött részecskéket vagy épp a Föld légkörét. Természetesen gyakorlati szempontból jelentős dolgokat is vizsgálhatunk egy CubeSat-tal. Például műholdstabilizációs algoritmusokat, kommunikációs berendezéseket (antenna, különféle protokollok).

Napjainkban aktív kutatási területnek számítanak a LEO pályás műholdakon elhelyezett kísérletek. Ezek általában GPS-alapú mérések és alkalmazások. Ez azért lehetséges, mert a GPS-műholdak sokkal magasabb pályán keringenek, mint a legtöbb CubeSat vagy akár a Nemzetközi Űrállomás, így ott is lehetőség van GPS-alapú navigálásra, ami az űrrendevük alkalmával vagy éppen



Knipfer Balázs és Czifra Dávid, akik az energiaellátást készítik

formációrepülések alatt nagy segítség lehet. Mivel egy-egy CubeSat sokkal kisebb költségvetésű, rövidebb átfutási idejű, mint a nagy kutató műholdak megvalósítása, ezért nagymértékben megkönnyíti az olyan mérések elvégzését, ahol sok helyen kell egy időben adatokat gyűjteni. Még hozzá úgy, hogy az egyes mérőállomások olcsók, gyorsan reprodukálhatók. Földi, ipari alkalmazásokban is használnak szenzorhálózatokon alapuló mérőrendszereket. Sok olcsó, kicsi, de intelligens „porszem” alkot egy nagy és kiterjedt megfigyelőrendszert.

A pikoműholdakról elmondható, hogy megépítésük során ugyanazokat a problémákat kell megoldani, mint a nagyobb műholdak esetében. Ahhoz, hogy műholdról beszéljünk, meg kell valósítani a három alrendszer, ami a tápellátásból, a kommunikációból és fedélzeti számítógépből áll. Az alrendszerekre ráépülnek és szorosan együttműködnek az alrendszerek. Ilyenek lehetnek: a navigációs és orientációs rendszer, a meghajtást vezérlő rendszer, a termikus stabilitásért felelős rendszer, a kamerarendszer, az egyes méréseket és kísérleteket végző rendszerek, a kommunikációt átjátszó rendszerek stb. Általában egy ilyen fejlesztés 2-3 évig tart, melynek során a hallgatók csapatban dolgozva hoznak létre egy kilövésre kész üreszközt.

A mérnökké válásnak ez egy fontos lépése lehet, mert a hallgatók megtanulnak rendszerben, projektben gondolkodni. A tervezési feladat megvalósítása során számos szigorú dokumentálási és tervezési követelménynek kell megfelelniük ahhoz, hogy a létrejövő rendszer szélsőséges környezeti feltételek mellett is megbízhatóan és stabilan működjön. A rendszernek $-40...+80^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet-tartományban, vákuumban, a kilövési mechanikai behatásoknak (vibráció, g-terhelés) ellenállóan, megbízhatóan kell működnie.

Magyar Szatellit (MaSat)

Pikoszatellit építésére számos egyetem vállalkozott az elmúlt

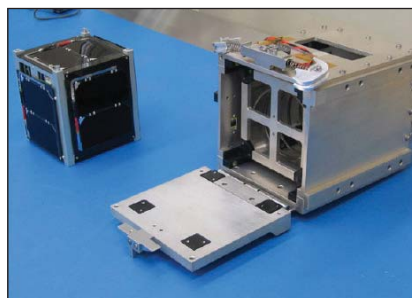


Az MRC műholdas antennái

évek során. Ezek példáján felbuzdulva a BME Villamos és Informatikai karon 2007-ben hallgatók egy csoportja elhatározta, hogy megépít egy pikoszatellit. Az elhatározást tett követte, amely során az Elektronikus Eszközök Tanszéke, a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék és a BME Úrkutató Csoportja között egy együttműködési megállapodás született. Természetesen a projekt sikeréhez számos innovatív ipari résztvevő is csatlakozott, és ki-ki a maga szakterületének és profiljának megfelelően igen nagyvonalúan támogatja a projektet.

Misszó

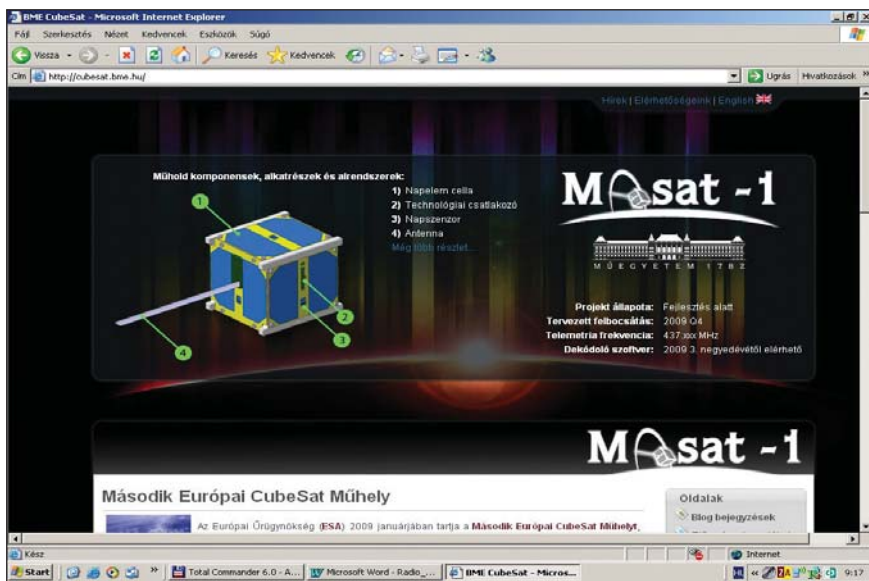
A projekt oktatási és kutatási célú. Oktatási, mert olyan lehetőséget szeretnénk teremteni, amely során hallgatóknak lehetőségük nyílik betekinteni az üreszközök fejlesztésének világába. Kutatási, mert lehetőséget biztosít, hogy kicsiben összerakható kísérleteket helyezünk el rajtuk a későbbiekben. Bár számos cég forgalmaz a LEGO mintájára előre elkészített modulokat, a korábban említett oktatási célok miatt mi magunk vállalkoztunk az egyes rendszerek megépítésére.



CubeSat és az adapter

Mivel Magyarországon ez idáig teljes körű műholdépítés nem történt, ezért számos ismeretlen problémával kell megküzdenünk, s így célszerűnek tűnt a kis lépések elvét követni. Célul azt tűztük ki, hogy egy nagy megbízhatóságú, egy pont meghibásodás ellen védett alrendszer dolgozzon ki. A projekt során több siker-mérföldkövet helyeztünk el. *Minimális* sikernek azt nevezzük, ha a csoportnak sikerül elkészítenie az eszközt és letesztelt állapotban kilövésre kerül, majd sikeresen pályára áll. Továbbá a földi vételre alkalmas a hét minden napján, a nap huszonegy órájában rendelkezésre álló adó-vevő állomás üzemszerűen működik. *Közepes* sikerről akkor beszélünk, ha tudunk venni és adni telemetria és telekommand csomagokat, valamint a műhold minden egyes alrendszeréről érkeznek normál működést megerősítő adatok. *Teljes* sikernek pedig azt hívjuk, ha az eszköz a kilövéstől számított harmadik hónapig üzemszerűen működik és gyűjti és továbbítja a tudományos és fedélzeti adatokat.

A műholdon fedélzeti és adatgyűjtő, tápellátó, kommunikációs, navigációs és orientációs rendszer került kialakításra. Az alrendszerek redundánsak és egymásnak hideg tartalékolt párijai. A napelemek felől érkező energia előzetes számítások alapján $1...2\text{ W}$ közötti, s ezen a kevés energián osztoznak az alrendszerek, szigorú ütemezés szerint. A műhold rádiókapcsolaton keresztül sugározza a telemetria-csomagokat. A $0,6\text{ W}$ -os adó fél-duplex kommunikációt valósít meg 1200 bps -os FSK modulációval. A műhold a HA5MASAT hívójelet kapta és a tervek szerint a $435...438\text{ MHz}$ -es rádióamatőr sáv részben (U sáv) fog sugározni. Ez azt jelenti, hogy egy tipikus OSCAR (Orbital Satellite Carrying Amateur Radio) vevővel és egy PC segítségével vehetőek és dekódolhatóak lesznek az adatok. Optimálisan – napszinkron pályára kerülés esetén – a műhold naponta 2-3-szor lesz látható Magyarországról. Az átrepülé-



Részlet a projekt honlapjáról

sek során a láthatósági idő 1...8 perc között fog mozogni. A műholdat a BME földi állomása segítségével lehet majd venni, illetve távvezérelni az áthaladások alkalmával. Az állomás jelenleg próbaüzemben működik és az előkészületek nagy erővel folynak azért, hogy a jövőben teljesen automata követést és adatgyűjtést tudjunk megvalósítani.

Céljaink között szerepel egy olyan szoftver elkészítése és publikálása, amely a rádióval vett adatokat a PC hangkártyáját felhasználva dekódolni tudja. A szoftver segítségével a vett adatok elküldhetőek egy központi adatbázisba és így a világ bármely pontjáról vett adatok befuthatnak hozzánk. A cél az, hogy minél több adatot tudjunk „lehozni” és összegyűjteni. A legértékesebb adatok közé tartoznak az egyes alrendszerek hőmérséklet-, feszültség- és áramadatai, valamint az orientációs alrendszerből származó napszenzor, mágneses tér, gyorsulás és szögsebesség érzékelőinek adatai. A programot a honlapunkon keresztül lehet majd elérni, és ennek segítségével minden lelkes rádióamatőr veheti és dekódolhatja a teljes telemetriaadást. Hasonló módon képzeljük el, mint a holland egyetemisták RASCAL programja, ami a Delfi-C3 műhold adásának dekódolására lett kifejlesztve.

A terveink szerinti projekt ütemezésének fontosabb mérföldkövei a következők szerint foglалhatók össze:

- Egyeztetések:* 2007. szept. – OK
- Kick-off:* 2008. jan. – OK
- Tervezés:*
- 2008. jan. – 2008. szept. – OK
- Megvalósítás:*
- 2008. okt. – 2009. márc.
- Tesztelés:* 2009. ápr. – 2009. máj.
- Véglegesítés:* 2009. jún. – 2009. szept.
- Start:* 2009. decembertől lehetséges

Távlati célok

Szeretnénk a jövőben 2-3U nagyságú pikoműholda(ka)t építeni, mert úgy gondoljuk, hogy a kicsitől lehet eljutni egy esetleges nagy műhold megvalósításáig. A megnövekedő méret lehetővé teszi, hogy egyre fejlettebb és tudományos szempontból egyre jelentősebb kísérleteket lehessen elhelyezni ezeken az űreszközökön. Ahhoz, hogy jó minőségű méréseket lehessen végezni, még számos problémát kell megoldanunk. Ilyen például a stabilizálás, orientáció és a navigálás kérdése, illetve a nagy mennyiségű adatok biztonságos lehozatala. A stabilizált nagyobb műhold magában hordozza annak lehetőségét, hogy utat nyisson nemcsak a tudományos, hanem távérzékelési, kommunikációs, műsorszóró és

egyéb műholdas alkalmazások számára. Ez azért fontos, mert az űrtevékenység nemcsak tudományos szempontok szerinti vizsgálatókat is, mint például az időjárás- és katasztrófa-előrejelzés, műsorszórás, navigációs megoldások vagy új anyagok és gyógyszerek előállításának lehetősége. A Műegyetemen jelenleg zajló fejlesztésről a következő honlapon lehet tájékozódni: <http://cubesat.bme.hu>

A doktoranduszok beszámolóját ki egészítendő következzenek egy kis honi, rádióamatőr műholdtörténelem dr. Gschwindt András (HA5WH) úr, az MRC tanár-elnökének, a MaSat-1 projektvezetőjének tollából (- a szerk.):

A Műegyetemi Rádió Club és a műholdak

Az 1924-ben alapított MRC 1972-ben BME MHSZ-KISZ Rádióklubja néven újraéledt. A régi név használatát nem engedélyező környezet elfogadta, hogy a klub profilja a műszaki újdonságokhoz kapcsolódjon. Ezek között természetesen első helyen a műholdak szerepeltek. Először a telemetriák vétele, majd később a forgalmazás. Kiemelkedő esemény volt az OS-CAR-6 (O6) rádióamatőr műhold vezérlése.

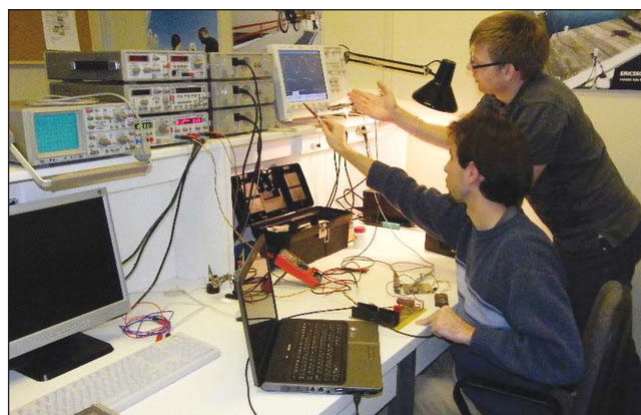
A nagy lelkesedés szinte hozta magával a műholdak konstrukciójába történő bekapcsolódást. Ez viszonylag könnyen ment, hiszen a háttérben dolgozott az egyetemen a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék Űrkutató Csoportja. Amit az Interkozmosz nem engedett fejleszteni (elsőd-



Megérkeztek a Microchip fejlesztőeszközök. HA7WEN Levente OM is a csapat tagja



Klubélet: MaSat-1 munkálatok az MRC-ben



Fejlesztés az Ericsson-laborban

leges energiaellátó egység, BCR), azt a rádióamatőr műholdakon meg lehetett valósítani.

Az Űrcsoport tagjai között több rádióamatőr is volt/van. Megszületett az O10, majd az O13 tápellátórendszer, melyet az akkori társadalmi rend is engedélyezett, hiszen határeset volt. Nem minősült hivatalos együttműködésnek, a rádiósportba még ez a kapcsolat belefért. Az OSCAR-10 22 éves élettartam rekordja meggyőzte a profikat, hogy egyszerűbb eszközökkel is lehet ürminőségű műholdakat csinálni.

Az O40 már „igazi”, nagy műhold volt. Napelemei 650 W-ot adtak le, melyet a klubunkban készült BCR kezelt. Saját hajtóművel igyekezett magas elliptikus pályára jutni, de közben máig azonosítatlan, drasztikus, a pályáját is módosító meghibásodás, feltehetően robbanás történt a fedélzetén. Túlélte, de a kudarcok sorozata folytatódott és végül az elsődleges akkumulátor teljes kimerülése egy beragadt állapotba vitte, ahonnan nem sikerült időben a tartalékra átkapcsolni. Azóta is hallgat. Sajnos, ezen a műholdon volt az MRC-ben készült Monitor kísér-

let, melynek feladata az ionosféra fölötti térség 1 ... 30 MHz-es tartományban történő megfigyelése lett volna. Bekapcsolására nem került sor.

A szovjet válasz a nyugati rádióamatőr műholdakra az RS előnevet viselő műholdak voltak. Többszöri próbálkozásunk, a nyugati országokkal elért eredményeink ellenére sem engedtek részegységeket konstruálni fedélzetükre. Örülhettünk sikereiknek és várták a jó gondolatainkat.

Az O40 kudarcra után az előremenekülés egy új célt, a Mars megközelítést hozta előtérbe. A nagyon sok, új követelmény megkívánja egy előkészítő, a tervezési elveket igazoló, műhold elkészítését. Ezt a feladatot az előkészületben lévő O10/13 struktúrára épülő P-3-Express szeretné ellátni. Folytatása a Marsot megcélzó P-5-A lesz. Nagy célok és álmok!

A rendszerváltás óta eredeti nevét visszanyert MRC-t ismét felkérték az energiaellátó rendszerek fejlesztésére. Javaslatunkra a feladatunk kibővült az akkukat figyelő alrendszerrel, mely időben figyelmeztetne egy várható cellameghibásodásra. A P-3-E majd-

nem teljesen elkészült. Klubunkban közvetlenül befejezés előtt áll a tápellátó rendszere. Startjának időpontja még nyitott, hiszen napjainkban senki nem akar 120 kg-ot ingyen pályára állítani...

A szinte megfizethetetlen startok az utóbbi években a kisműholdakat hozták előtérbe (kis pénz - kis műhold). A CubeSat-sorozat startjai megfizethetők. A kis térfogatba kerülő elektronika szinte magával hozta a rádióamatőr mozgalom legfőbb célkitűzésének, az önképzésnek a műholdak fejlesztése/üzemeltetése területén történő megvalósítását. A bázisok az egyetemek. Itt rendelkezésre áll a továbbfejlesztésre váró szakutad. A leendő szakembereket valóságos fejlesztésekbe lehet bevonni.

Természetesen a MaSat-1 megvalósításából az MRC sem maradhat ki! Laborjában lelkes egyetemi hallgatók a fedélzeti egységek fejlesztésén dolgoznak és földi adó- és vevőállomása, a szponzorok jóvoltából, CubeSatok vételére/vezérlésére alakul át. A hallgatók között természetesen rádióamatőrök is vannak, de legnagyobb örömünkre többen jelezték, hogy „valódi” rádióamatőrök szeretnének lenni.

SEGÍTSÜNK!

Szerkesztőségünk ezúton is felkéri valamennyi kedves Olvasóját – cégeket és magánszemélyeket egyaránt -, hogy csatlakozzanak hozzánk, és nyújtsanak anyagi segítséget ehhez a támogatásra igazán méltó, kiváló kezdeményezéshez!

A magyar pikoműhold projekt költségvetése alapvetően két nagyobb volumenű rovatból áll. A műhold és annak földi állomásának kivitelezése kb. 5-7 millió forintot tesz ki, a felbocsátás költsége 15-20 millió forint közöttire taksálható. A fejlesztőcsapat elszántságára jellemző, hogy a műhold elektronikájának első néhány alkatrészét saját zsebpénzükből vásárolták meg a mérnöki fiúk... Széles körű összefogással nem lesz lehetetlen a felbocsátás költségeinek előteremtése sem! (Támogatási infók a <http://cubesat.bme.hu> honlapon.)