

Dudás Levente¹ – Pápay Levente² – Gschwindt András – Seller Rudolf³

A MASAT-1 AUTOMATIZÁLT ÉS TÁVVEZÉRELT FÖLDI VEZÉRLŐ ÁLLOMÁSAI⁴

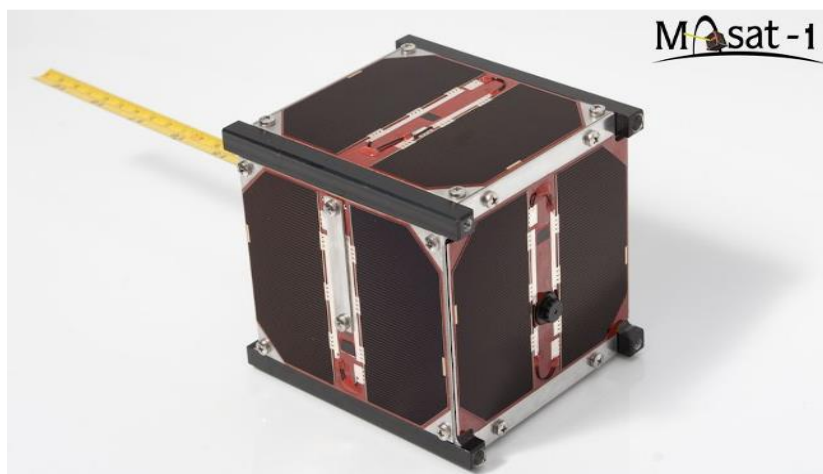
2007-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egy hallgatókból álló csapata elhatározta, hogy megépíti Magyarország első műholdját, a Masat-1-et. 2012-ben az ESA (Európai Űrügynökség) első saját hordozórakétájával, a VEGA-1 első repülésén a Francia-Guyana-i űrközpontból indulva állt Föld körüli elliptikus pályára a Masat-1. Manapság a Masat-1 még mindig kifogástalanul működik, habár a tervezett élettartama 3 hónap volt. A következőkben bemutatjuk a teljes mértékben automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomást melynek segítségével vezéreljük a Masat-1-et, illetve vesszük annak telemetria adatait.

Automated and Remote Controlled Ground Stations of Masat-1, the First Hungarian Satellite

In 2007, a group of students at Budapest University of Technology and Economics had decided to realize the first Hungarian satellite, called Masat-1. In 2012, Masat-1 was launched from French Guyana by VEGA maiden flight (the first really own rocket of European Space Agency – ESA) to an elliptical orbit. Nowadays, Masat-1 is still working, although the planned lifetime was only 3 months. Our aim was to develop a fully automated and remote controlled ground station (ground station network) for Masat-1 to be able to receive telemetry from, and send telecommands to the satellite without supervision.

MASAT-1

Magyarország első műholdja a Masat-1 egy 10×10×10 cm-es kocka alakú 998,5 g tömegű műhold – 1. ábra.



1. ábra Masat-1

¹ egyetemi tanársegéd, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, dudas@mht.bme.hu

² egyetemi hallgató, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, ha3pl.levi@gmail.com

³ egyetemi adjunktus, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, gschwindt@mht.bme.hu, seller@mht.bme.hu

⁴ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

A Masat-1 a következő alrendszeréből épül fel:

- Energiaellátó rendszer (EPS – Electrical Power System): a kocka oldalait háromrétegű napelemek borítják, melyek a beeső napsugárzás következtében képesek biztosítani a szükséges egyenáramú bemeneti teljesítményt. Minden napelem oldalra független maximális munkapont követő áramkör került, amely viszonylag nagy műhold fordulatszám mellett is képes a napelemek munkapontját a maximális teljesítményű pontban tartani. Erre kapcsolódik egy akkumulátortöltő és felügyelő egység, hiszen a Föld árnyékos oldalán való áthaladás esetén is biztosított kell, hogy legyen a műhold energiaellátása. Az egyes alrendszereket egy további áramhatároló kapcsoló hálózat figyeli, biztosítva az esetleges részecskesugárzásból adódó túláramvédelmet.
- Fedélzeti számítógép (OBC – On-Board Computer): két, redundáns (hidegtartalékolt) mikrokontroller, amelyek utasítás végrehajtási sebessége 4 MIPS, belső memóriája 4 MB.
- Fél-aktív mágneses stabilizáló rendszer (ADCS – Attitude Determination and Control System): a műholdfedélzeten egy permanens mágnes és két elektromágnes segítségével változó mágneses eredő erőteret kialakítva a pályán való keringés során a Föld mágneses terébe kapaszkodva, az elektromágnesekben folyó áram változtatásával a műhold mozgásállapotát hivatott befolyásolni.
- Kommunikációs rendszer (COM – Communication System): a 437/145 MHz-es sávban működő digitális rádiókommunikációs rendszer, amely megteremti az adatkapcsolatot a földi állomásokkal, vagy a földi állomások rendszerével.

A KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZER

Teljesítményviszonyok [4-7]

A Naptól 150 millió km távolságban, a világűrben, pesszimista feltételezéssel élve 1000 W/m^2 teljesítménysűrűség mérhető, ebből a műhold 10 cm-es oldalaira vonatkoztatva 10 W elvi teljesítmény nyerhető. Ez a gyakorlatban a napelem oldalakra szerelt szenzorika és a csúszó-élek felületei miatt 60%-ára csökken, valamint a napelem 30%-körüli hatásfoka miatt tovább csökkenve átlagos 2 W-ra redukálódik. Ha figyelembe vesszük azt a tényezőt, hogy a műhold a keringése során egy kör alatt nagyjából 60%-ot tölt Napon, és 40%-ot árnyékban, akkor körátlagban 1,2 W DC bemeneti teljesítménnyel számolhatunk.

Ennek megfelelően egy fedélzetre helyezett rádióadónak a maximális teljesítmény fogyasztása nem lehet csak 1 W, hiszen a többi fedélzeti rendszernek is működnie kell valamiből.

A műholdfedélzeti rádióadó hatásfoka 40%, így az 1 W fogyasztott teljesítményből maximuman 400 mW rádiófrekvenciás teljesítmény adódik (biztonsági okokból a rádióadó kimeneti teljesítménye két fokozatba kapcsolható, ez 100 illetve 400 mW RF teljesítményt jelent – a továbbiakban a kisebb RF teljesítménnyel számolunk).

A Masat-1 pályája egy 1450/300 km-es elliptikus pálya. Ha az adott földi állomás felett található az 1450 km-es földtávolsági pont, akkor a horizontra vonatkoztatva 4500 km távolságot kell áthidalni az említett 100 mW lesugárzott RF teljesítményből.

bemeneti adat		
részeredmény		
végeredmény		
a pálya legmagasabb pontja	1450	km
az áthidalandó távolság	4536	km
frekvencia	437	MHz
szabadtéri szakaszcsillapítás	158	dB
műhold adóteljesítmény	20	dBm
műhold adóantenna nyereség	0	dBi
földi állomás antennanyereség	10	dBi
földi állomás vett jelszint	-128	dBm
adatsebesség	1250	bit/s
2FSK vételi sávszélesség	2500	Hz
vételi termikus zajteljesítmény	-138	dBm
vételi jel-zaj viszony	9	dB

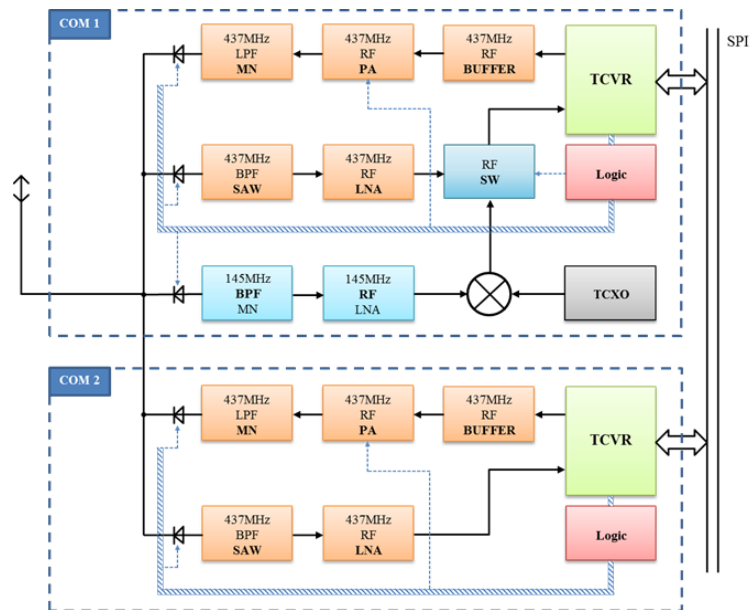
2. ábra A kommunikációs rendszer teljesítményviszonyai

A rádiófrekvenciás link egyszerűsített számítása látható a 2. ábrán. A számítás során szabadtéri terjedést feltételeztünk, valamint a földi állomás vevőantenna nyereségét 10 dBi-vel vettük figyelembe, amely valójában 22 dBi. Ez a fajta alulról becslés azért történt, mert egy adott földi vevő állomásnak nem biztos, hogy van olyan méretű és minőségű antennarendszere, mint a Masat-1 elsődleges földi vezérlő állomásának. Mivel a Masat-1 rádióamatőr műhold, hiszen rádióamatőr sávban dolgozik (437 és 145 MHz-es sáv), így számos rádióamatőrnek is lehetősége van venni a műhold jeleit, amihez egy szokványos rádióamatőr rádió és pl. egy 6 elemes Yagi antenna szükséges (ezért a 10 dBi) – világviszonylatban Masat-1 esetében 200 regisztrált rádióamatőr veszi a műholdunk jeleit, és küldi be a központi szerverünkre az általuk vett adatcsomagokat.

A számított vételi jel-zaj viszony értéke alapján az átviteli link zárul, amihez kb. 10^{-3} -os kódolatlan bit-hiba arány (BER) érték társul. Ez a gyakorlatban kiegészül adóoldalon egy $\frac{1}{2}$ -es kódarányú konvolúciós kódolóval, vevőoldalon pedig egy Viterbi-dekóderrel, amely után a tényleges BER két nagyságrenddel csökken.

A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer [4-7]

A műhold fedélzetén található kommunikációs rendszer felépítése látható a 3. ábrán.



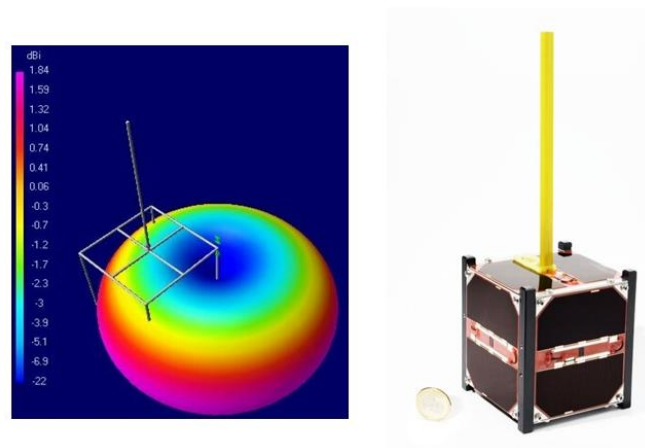
3. ábra A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer felépítése

A műhold fedélzetén elhelyezett összes létfontosságú alrendszerből legalább kettő található, az egy-pont meghibásodásra való méretezés és a tartalékolás miatt, így a kommunikációs rendszer is két részre osztható: COM-1 és COM-2, melyek egymás hidegtartalékai.

Nemzetközi frekvenciaengedélyeztetési okokból a műhold két, egymástól független frekvenciasávon kell, hogy üzemeljen, ezek a 437 és a 145 MHz-es rádióamatőr sávok. Ahogy a 3. ábrán látható, két 437 MHz-es rádióadó, két 437 MHz-es rádióvevő és egy 145 MHz-es rádióvevő dolgozik időosztásban ugyanarra a monopól antennára. Az adó-vevők egy Silabs gyártmányú (volt Integration, magyar fejlesztés) egychipes digitális rádiós IC-n alapulnak, kiegészülve a szükséges szűrő, kiszajú előerősítő és megfelelő teljesítményerősítő fokozatokkal.

A műhold antennája [4-7]

A műhold antennája és az antenna 3D sugárzási karakterisztikája látható a 4. ábrán.



4. ábra A műholdfedélzeti antenna

Az 1U (1 unit) méretű cubesat mechanikai paramétereit szabvány rögzíti, amely meghatározza, hogy az egyes oldalakból milyen mértékben lóghat ki egy-egy fedélzeti eszköz. Emiatt kellett a kommunikációhoz szükséges negyedhullámú monopól antennát nyitni a műholdon található antennadobozból. Maga az antenna szokványos mérőszalagból készült, melynek kiváló mechanikai tulajdonságai vannak és a felületi égetett festékrétegnek köszönhetően még vákuumban sem jön létre a hideghegedés jelensége.

A FÖLDI VEZÉRLŐ ÁLLOMÁSOK

A műhold üzemeltetésére szolgáló helyiségek

A Masat-1 2012. február 13-ai felbocsátását követő időszakban kezdődött a műhold tényleges üzemeltetése.

Nem szabad elfelejteni az emberi tényezőkről sem. Nem lehet a földi állomás az egyetemről távol. Az állomást használók, a műhold felügyeletét végzők szabadidejükben, önkéntes alapon végzik munkájukat.

Összesítve: olyan helyet kellett keresni, amelyik a Műegyetem területén van, az antenna nyaláb számára az égbolt minden irányába szabad „kilátást” biztosít. Az előző feltételnek egyetlen épület, a BME E-épület teteje felel meg.

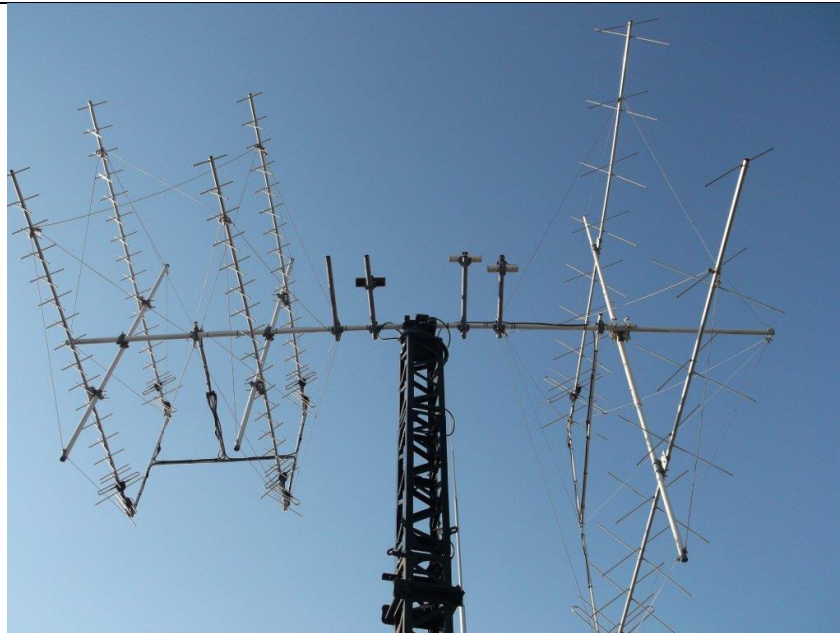
A városi környezetből adódóan viszont a környezet zaja illetve zavara nem elhanyagolható. Ezt tudomásul kellett venni, sikerült jól irányított antennával a zavaró hatásokat a tér meghatározott irányára koncentrálni (és egy elfogadható szintre csökkenteni).

Az antenna elhelyezésére a tetőn megfelelő szerelvények álltak rendelkezésre. Ezeket 20–30 évvel ezelőtt műholdak megfigyelésére használta a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék (az akkori Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék) Úrkutató Csoportja.

Az antenna kábeleivel az adó-vevőkre csatlakozik. A kábelveszteségek csökkentik a vett jel szintjét (rontják a vevőlánc zajtényezőjét), ezért hosszukat a lehető legrövidebben kell tartani.

Ez azt jelenti, hogy a műholddal történő kapcsolattartáshoz szükséges adó-vevőket, számítógépeket az antennához közeli helyiségben kell elhelyezni.

A számításba jöhető helyiségek az E épület 11. szintjén helyezkednek el. Ezen a szinten a Mérnök-továbbképző Intézet (MTI) tevékenykedik. Berendezéseink elhelyezésére, egy éves időtartamra kaptunk tőlük egy helyiség használatot. A közös használat nem járt üzemeltetési hátránnyal, csupán néhány alkalommal kellett a teljes helyiség használatát az MTI számára biztosítanunk.



5. ábra Az elsődleges földi vezérlő állomás antennarendszere

Az antennák (5. ábra) és a helyiség közötti közel 40 méter távolság okozta a vevőágban a jel-szint csökkenését, az antennaforogató motor vezérlési problémáit megfelelő kábelek alkalmazásával sikerült minimalizálnunk.

Állomásunk a startot követő egy éven keresztül kifogástalanul üzemelt az MTI által biztosított „albérletben”. Előzetes számítások, becslések alapján a Masat-1 élettartama - legjobb esetben - néhány hétre, esetleg hónapra volt becsülhető. A gondos alkatrész válogatás, előzetes minősítések és nem utolsósorban a kifogástalan hőtechnikai tervezés a vártnál hosszabb élettartamot eredményezett (mind a mai napig működik).

Az MTI által biztosított helyiség (6. ábra) egyik oldalán helyezkedtek el a beltéri egységek (vezérlő, jelfeldolgozó számítógépek, kis szintű adó, tartalékkal ellátott vevő, tápellátás, monitorok). A felépítés kettős célt szolgált. Egyrészt el kellett látni a műhold vezérléséhez szükséges funkciókat, másrészt az **oktatást**, a földi állomás valamint a Masat-1 **bemutatását** is biztosítani kellett.

Az adó jelét nagy szintre erősítő egységek, a vételi rendszer előerősítői, szűrői az E épület lift-házában helyezkedtek el. A két helyiséget koaxiális és nagy átmérőjű erősáramú (antennaforogató motorok táplálása) kábelek kötötték össze.



6. ábra A régi műholdvezérlő helyiség - MTI

Egy év után az MTI joggal kérte, hogy költözzünk ki. A kiköltözést többek között az is indokolta, hogy egyre gyakrabban kellett a helyiséget oktatási célra is igénybe vennünk, bemutatva Masat-1 működését, jeleinek analizálását egy-egy 10-20 főből álló egyetemi hallgatói csoportnak (a helyiség a méreteiből adódóan nem volt alkalmas 10-20 fő fogadására).

A helység elhagyására csak akkor kerülhetett sor, ha találunk másikat, az üzemeltetéshez és a bemutató állomásnak is megfelelőt.

Felmerült olyan lehetőség is, amellyel az állomás berendezéseit zárt, fém szekrényekben helyeznénk el a külső tető szinten. Ezt elvetettük, mert ezzel kizártuk volna az oktatásba történő bevonás lehetőségét. Hallgatókat nem vihetünk a tetőre életvédelmi okokból.

Az E épület korszerűsítésével kiürültek gépészeti helyiségek a liftházban. Ezek az antenna közelség szempontjából jobb helyen voltak, mint az MTI által biztosított helyiség. Nem volt más megoldásunk, mint az állomás áthelyezése az egyik, meglehetősen „lerobbant”, felújításra szoruló liftházba (pontosabban annak egy részébe).

A villámok elvezetése

A helységváltotatással együtt merült fel a villámok elvezetésének problémája. Addig, amíg a vételi hely az épület alacsonyabb szintjén, az antennáktól távol helyezkedett el, ez a berendezésekre nézve nem jelentett veszélyt, illetve a túlfeszültség védelem egyszerűen megoldható volt.

Az antennák azonban az E épület legmagasabb pontját jelentik. Ahogy ez várható volt, 2012 nyarán, az antennánkat villámcsapás érte. A nagy nyereségű antenna rendszer negyede megsemmisült, a teljes rendszer használhatatlanná vált.

A régi tervezési elveknek megfelelően valamennyi, a tetőn lévő szerelvény elektromosan ekvipotenciálissá van téve. A becsapó villám útja az antennákon keresztül a földbe vezetett.

Az antennák javítása után, az új helység elhelyezkedését is figyelembe véve kellett a régi rendszerhez igazodó, az antennáinkat védő villámelvezetési rendszert kialakítanunk.

Ennek első lépése az antennák védelme volt a közvetlen villámcsapástól. Miután szponzoraink

biztosították a pénzügyi háttérrel, három a tető fölé 14 m magasan kinyúló villámlevezető osz-
loppal (nagy valószínűséggel) biztosítottuk a villámok útját.

Egy villámvédelmi felfogó képét mutatja a 7. ábra.



7. ábra A villámvédelmi levezető

Ezzel a villámcsapások közvetlen romboló hatásától mentesültünk.

A három villámvédelmi felfogó az új vezérlő állomást magába foglaló helyiség mellett áll, va-
lamint méretéből adódóan az épület így a környék villámvédelmi szempontból legmagasabb
építményévé vált.

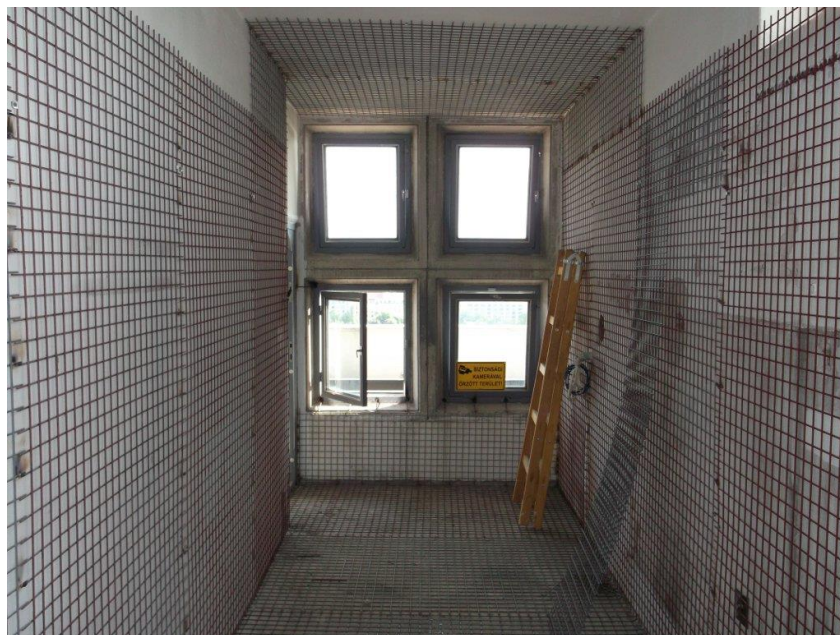
Villámcsapás esetén akár 30–50 ezer Amper is folyhat a föld felé. Ennek közvetett hatásaként a
környezetében, a helyiségen belül lévő vezetékekben igen nagy feszültség indukálódhat (ezek a
vezetékek akár a berendezések belsejében is lehetnek), ezért a hozzájuk kapcsolódó berendezést
tönkretelhetik, nem beszélve a helyiségben tartózkodó személyzetre gyakorolt élettani hatásokról.

Az új vezérlőállomás villámvédelme

A föld felé haladó villámok árama által keltett mágneses tér elleni védelem klasszikus megol-
dása a védendő helyiség mágneses árnyékolása. Erre a célra legjobban megfelel a falak vasle-
mezzel történő borítása. Ez az ún. Faraday-kalickás védelem mely erősen lecsökkenti, árnyé-
kolja a külső mágneses tér hatását.

A lemezes védelem helyett megfelelő mértékű védelmet biztosít a sűrű vashálós megoldás is.
Esetünkben 5x5 cm-es, 6 mm vastagságú acél hálót használtunk a lemezbitorítás helyett. Termé-
szetesen a hatásos védelemhez hozzátartoztak a vaslemez borítású ajtók és a rácsozott ablakok
is. Az árnyékolt térrészbe nem vihetünk be illetve ki elektromos vezetékeket sem. Ez gondot
jelentett a motorokat tápláló kábelek kivezetésekor illetve a nagyfrekvenciás koaxiális kábelek

esetében. A szerelés közbeni állapotot mutatja a 8. ábra.



8. ábra A bemutató állomás helyisége a Faraday-kalickával

Az acél hálóból kialakított struktúra esztétikussá tétele gipszkarton borítással történt.

Röviden szólva a Faraday kalickás megoldás megvédi a beltérben elhelyezett, kikapcsolt állapotban lévő berendezéseket, de nem oldja meg az állomás üzemét a villámlások ideje alatt!

Az elrendezés nem alkalmas az állomás felügyelet nélküli üzemére, hiszen a ki- és befutó vezetékeket bontani kell, amikor a kezelő személyzet távozik az állomásról. A felügyeletmentes, automatizált üzemeltetés megvalósításához más megoldáshoz kellett folyamodnunk.

A két, egymástól függetlenül működtethető állomás elve

A Masat-1 vezérlő állomásnak kettős feladatot kell ellátni:

Egyrészt, a nap 24 órájában biztosítani kell a műhold jeleinek vételét, feldolgozását és az esetleges, rádió útján történő beavatkozást, a fedélzeti rendszerek vezérlését, parancsok felvitelét.

Másrészt az egyetemi oktatás részeként lehetőséget kell adnia hallgatóknak, a műhold működésének, vezérlésének tanulmányozására, a kutatóknak, oktatóknak az állomás üzemeltetésére, kutatási feladatok ellátására.

Olyan állomás kialakítást kellett biztosítani ahol egy-egy hallgatói csoport számára előadást, élő bemutatókat lehet tartani. Az égi mechanika alapjainak bemutatásához, a műhold mozgásának követéséhez szükség van nagy felületű monitorok beépítésére is.

A vezérlő állomásnak azonban üzemelni kell olyan esetben is, amikor viharos, villámokkal tért az időjárás. Ezen feltétel csak speciális elrendezéssel teljesíthető.

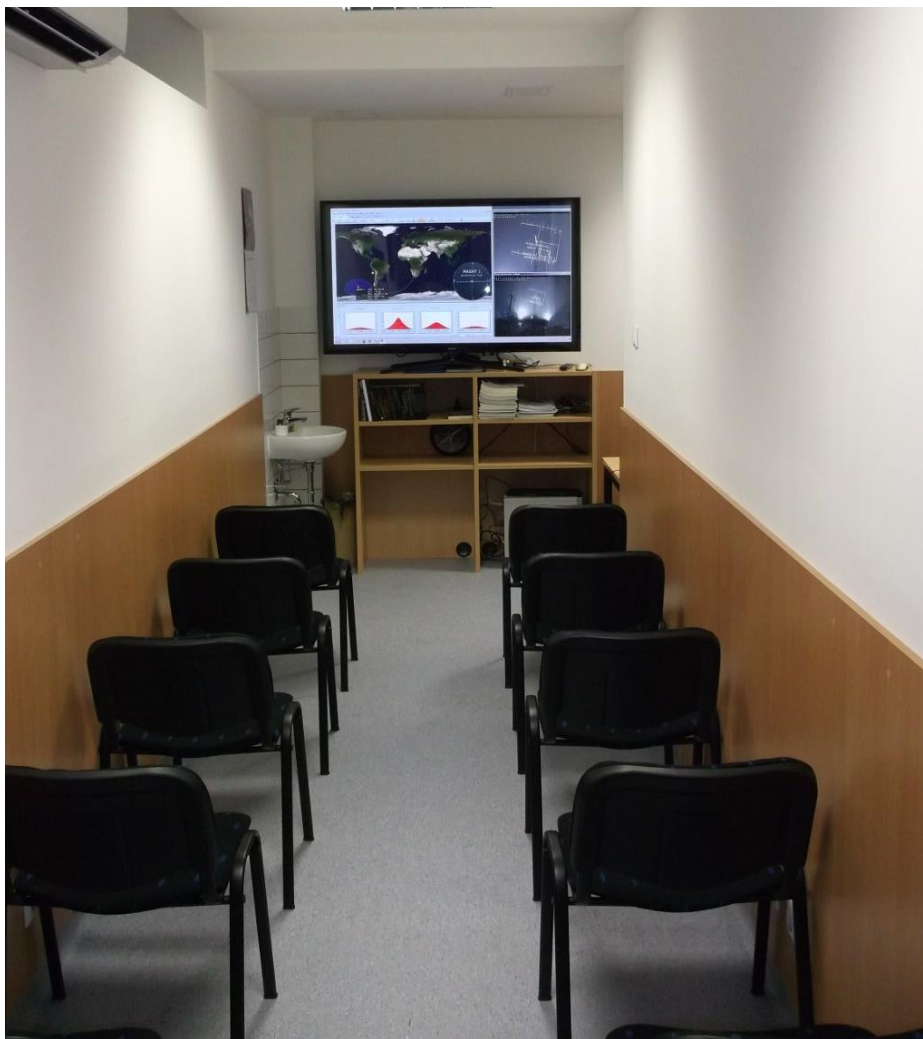
Így alapvetően két részre bontható az állomásunk: első a Faraday kalickával védett tér, ahol a bemutatók is tarthatók, második pedig a tetőn levő rack szekrényekből kialakított automatizált állomás (ahol emberek üzemszerűen nem tartózkodnak).

A villámok okozta gondok miatt a Faraday kalickával védett térben csak vihar, villámmentes időszakban történhet üzemeltetés (manuálisan, ha szükséges). A helyiség méretéből, alakjából adódóan 10 fő hallgató vagy bemutatót látogató vendég számára van elegendő hely. A szoba egy része az előadó, másik része az állomást kezelők számára van fenntartva.

Az oktatást, kutatást segítő elrendezés – az emberi tartózkodásra alkalmas védett tér

Az „L” alakú védett (vashálóval borított) helyiség elrendezése két részre osztja a teret.

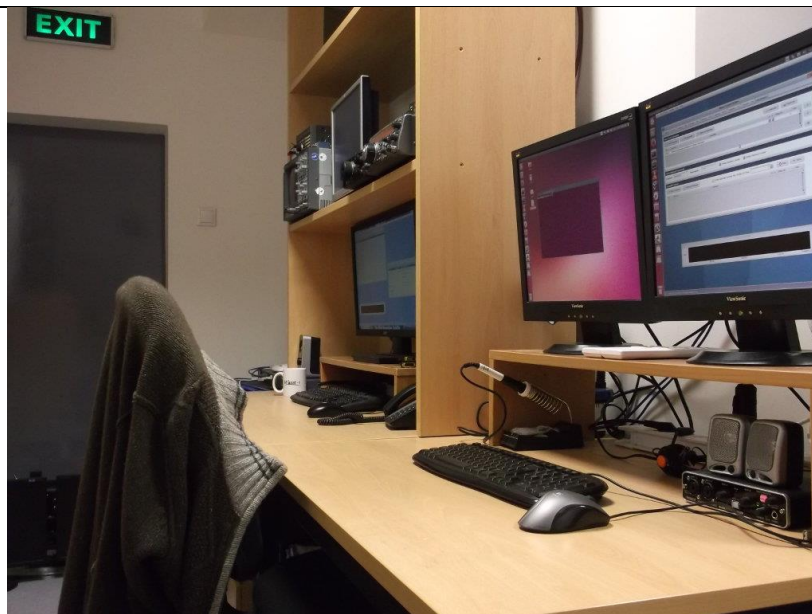
Az „L” hosszabbik ága, tíz fő fogadására alkalmas. A tíz szék bármelyikéről jól látható a nagyméretű monitoron megjelenő kép. Az osztott képernyő a Föld vetületén mutatja a műhold mozgását. Szélén az antennák kamerák által közvetített képe jelenik meg, lehetővé téve mozgásuk követését. Az elrendezést mutatja a 9. ábra.



9. ábra A bemutató állomás helyisége

Az előadó számára a monitor mellett van hely (az „L” rövidebb ága - 10. ábra).

A vezérlőállomás oldalsó részében a műholdak vételéhez, vezérléséhez szükséges berendezések helyezkednek el. Két munkahelyről tekinthetők át a monitorok, kezelhetők a számítógépek, vevő berendezések (10. ábra).



10. ábra A helyiség előadói része

Az elsődleges automatizált és távvezérelt földi Masat-1 vezérlő állomás felépítése – a tető szinten [1-3, 8-9]

Azért, hogy az automatizált és távvezérelt állomás teljes mértékben (főként villámvédelmi szempontból) független tudjon lenni az épület energiaellátó elektromos hálózatától, támogatóink segítségével egy független, szigetüzemű autonóm energiaellátó rendszert alakítottunk ki.

Az energiaforrás 4 darab 240W-os napelemtábla az alacsonyabb tetőszinten - 11. ábra



11. ábra A napelemes energiaellátó rendszer

A napelemekből jövő energia tárolására szolgál 4 darab 100 Ah 12 V ólomakkumulátor (akkumulátor rack a napelemek szintjén – 12. ábra – jobbra fent látható a fekete színű töltésvezérlő amely a napelemek és az akkumulátor egység közé kapcsolódik).



12. ábra Az akkumulátorok

A névleges 48 V-os akkumulátorfeszültségből egy 48 V/230 V-os inverter állítja elő a szigetüzemű 230 V-os hálózati feszültséget több, mint 1 kW-os terhelhetőség mellett - 13. ábra.



13. ábra A 48/230 V-os inverter

A liftgépház tetején található az antennarendszer és az egyes rádiófrekvenciás sávokhoz tartozó berendezések számára fenntartott rack-szekrények.

Az elsődleges földi vezérlő állomás antennarendszere a forgatón látható a 14. ábrán.



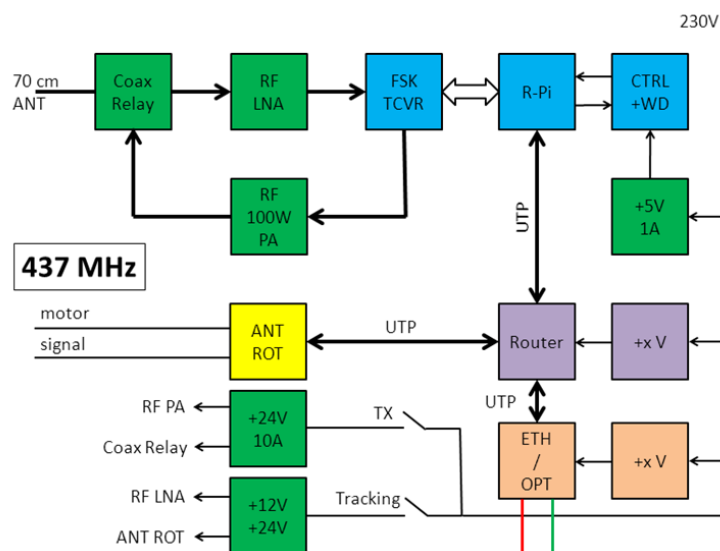
14. ábra Az antennarendszer a forgatóval

Az antennarendszer talppontjában található rack-szekrények (balra a 430-440 MHz-es sávra, jobbra a 144-146 MHz-es sávra) láthatóak a 15. ábrán



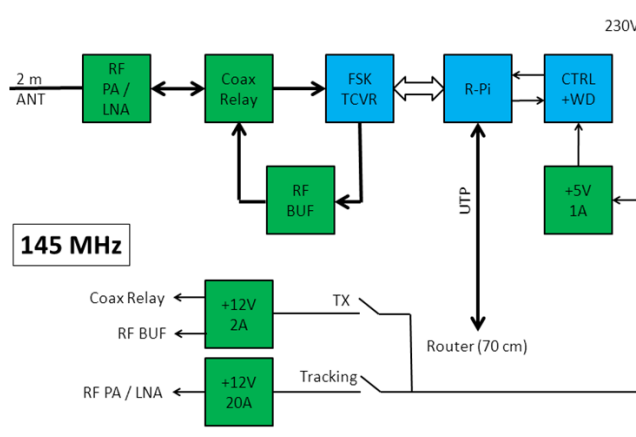
15. ábra A RF rack szekrények az antennarendszer talppontjában

A 430-440 MHz-es RF ághoz tartozó távvezérelt és automatizált adó-vevő rendszer felépítése a következő (az adatok optikai szálon keresztül az Internetre kapcsolva, tápellátás a szigetüzemű 230 V-os hálózatról) – elkészült, szeptember eleje óta üzemben - 16. ábra.



16. ábra A 437 MHz-es RF adó-vevő rendszer felépítése

A 144-146 MHz-es RF ág (az említett jobb oldali rack) felépítését mutatja a 17. ábra.



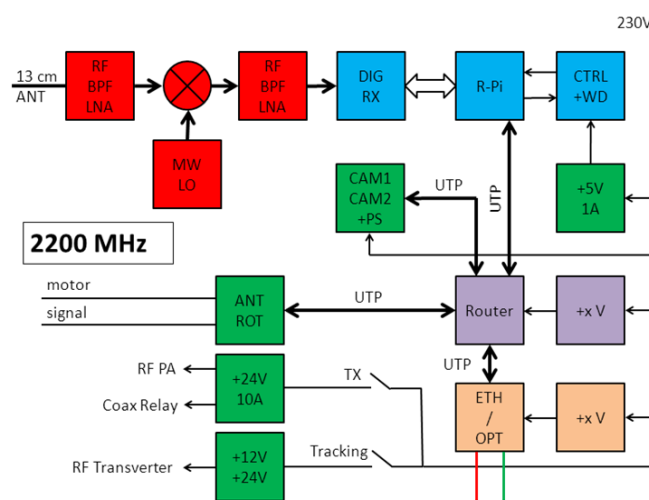
17. ábra A 145 MHz-es RF adó-vevő rendszer felépítése

Egy régi, még a BME V2 épületről megmentett parabola – e helyére kerül egy 3 méter átmérőjű rácsparabola, 2,4 GHz-es üzemre valamint a hozzá tartozó kültéri rack szekrény illetve a már meglévő 0,2 fokos beállási pontosságú antennaforgató - 18. ábra.



18. ábra A 2,4 GHz-es RF adó-vevő antennája

A 2,4 GHz-es ág vevőoldalának felépítését mutatja a 19. ábra.



19. ábra A 2,2 / 2,4 GHz-es vevőág felépítése

A másodlagos Masat-1 földi vezérlő állomás

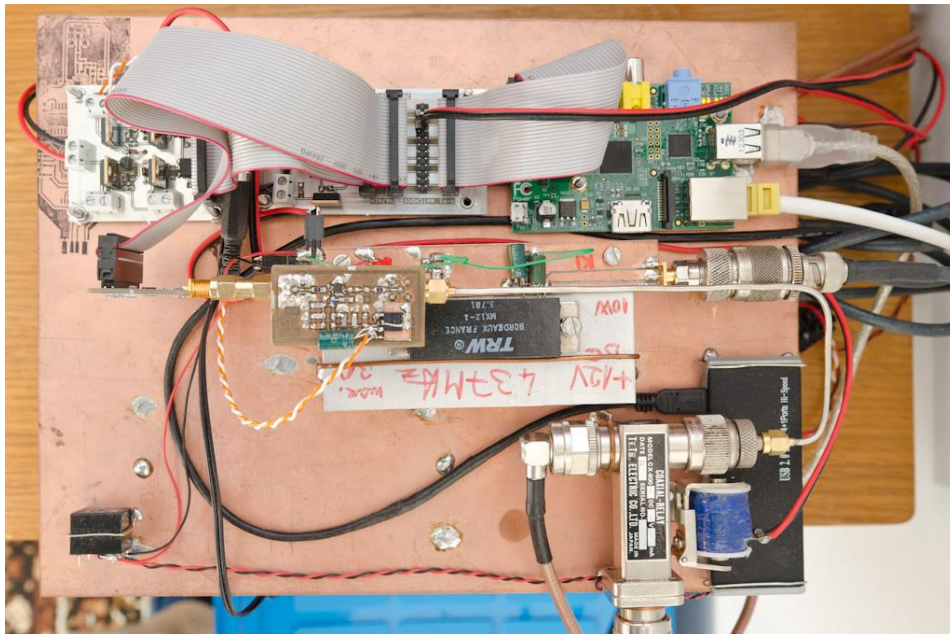
A felújítás illetve átépítés ideje alatt a hivatalos másodlagos vezérlő állomásról – Érd - történt a Masat-1 üzemeltetése (a tartalékolás, mint alapelv, a földi vezérlő állomások viszonylatában is érvényes).

A másodlagos vezérlő állomás antennarendszere látható a 20. ábrán a G5500-as antennaforgatóval.



20. ábra A másodlagos földi vezérlő állomás antennája

A nyár folyamán kifejlesztett és július közepe óta folyamatosan tesztelt automatizált földi vezérlő állomás hardver kezdeti verziója (~prototípusa) a következő (21. ábra):



21. ábra Az automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomások vezérlő hardverének kezdeti verziója

Az egyes részegységek (panelek, modulok):

- balra fent: adás-vétel illetve műholdkövetés-készenlét kapcsoló logika
- középen fent: watchdog áramkör (a vezérlő számítógéphez)
- jobbra fent: Raspberry-Pi, mint vezérlő számítógép (pályaszámítás, követés, rádió, forgató, adás-vétel vezérlés, Internet kapcsolat...)
- balra középen – élével látszó panel: FSK adó-vevő (a kommunikáció lelke)
- középen – TRW felíratú modul: végfokmeghajtó fokozat
- felette SMA csatlakozóval bekötve az LNA
- jobbra lent az adás-vételt kapcsoló koax-relé

A vezérlő állomások teljesítményfelvétele a következő:

- készenléti üzem: Raspberry-Pi 5 W, WiFi router 12 W
- követés (forgató, végfok... bekapcsolva, forgatás közben): 25 W
- műhold vezérlés (adás): 300 W

Az említett kísérleti hardver továbbfejlesztett változata került be az elsődleges állomás 430-440 MHz-es rack-szekrényébe, az antennaforgatóval és üregrezonátorral (mint RF bemeneti sávszűrővel) együtt.

2013. december 15-én egy hasonló, távolról elérhető és automatizált vevőhardver (itt konkrétan csak vevő) került beüzemelésre egy másik érdei állomáshelyen (az antennarendszer illetve a forgató ugyanolyan, mint a másodlagos állomáson).

A Masat-1, mint Magyarország első műholdja a 2012. február 13-ai felbocsátást követően megkezdte működését. A tervezett 3 hónapos élettartamhoz képest mind a mai napig lényegében kifogástalanul üzemel (természetesen különböző napszéltevékenységek és részecskesugárzások következtében történtek fedélzeti zavarok, azonban a redundáns és hibatűrő fedélzeti rendszerek ezeket a zavarokat megfelelően kezelni tudták – eddig).

A Masat-1 működtetéséhez két egymástól független, de rendszerbe kapcsolható, távvezérelt és teljes mértékben automatizált, valamint autonóm energaiellátással rendelkező földi vezérlő állomást alakítottunk ki, amely 2013. nyara óta megkezdte működését.

Az elsődleges földi vezérlő állomás viszonylatában egy bemutató, az oktatást és a kutatást segítő állomást alakítottunk ki, amely az elmúlt időszakban több, mint 30 alkalommal fogadott hallgatói és látogatói csoportokat (10-12 fő / csoport).

Köszönetnyilvánítás

A Masat-1 automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomásainak kialakítása a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával valósult meg (a szerződés száma: ED_13-1-2013-0003).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PROAKIS, J. G. "Digital Communications" Fourth Edition, McGraw Hill Higher Education, 2004
- [2] RODDY, D., "Satellite Communications" Fourth Edition, McGraw Hill Higher Education, 2006
- [3] BALANIS, C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design", Wiley-Interscience, 2005
- [4] LEVENTE DUDÁS, LAJOS VARGA, RUDOLF SELLER, "The Communication Subsystem of Masat-1, the First Hungarian Satellite", Signal Processing, Symposium. Jachranka, Poland, 2009, pp. 1-4.
- [5] CSÁSZÁR JÁNOS, DUDÁS LEVENTE, "Rádiós kapcsolat a Nemzetközi Űrállomással és a Masat-1 – az első magyar műhold – kommunikációs alrendszerének tesztje", Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem – Kommunikáció 2009, Budapest 2009. pp. 1-4, Paper KOM2009-4.
- [6] LEVENTE DUDÁS, LAJOS VARGA, "Masat-1 COM", Antenna Systems & Sensors for Information Society Technologies COST Action IC0603, Dubrovnik, 2010
- [7] DUDÁS LEVENTE, VARGA LAJOS, "MaSat-1 – az első magyar műhold kommunikációs alrendszere – pályára állás, műhold vétel és vezérlés, üzemszerű működés", Repüléstudományi Közlemények, pp. 652-673, 2012
- [8] <http://www.raspberrypi.org/> - Raspberry Pi Linux based card-computer.
- [9] <http://www.silabs.com/products/wireless/EZRadioPRO/Pages/default.aspx>