Az MRC-100 5x5x15 cm-es diákműhold

Jelen dokumentum a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság és a Műegyetemi Rádió Club Egyesület között létrejött Támogatási Megállapodás szakmai beszámolója.

1. Az MRC-100 (előző megnevezése SMOG-2) projekt

MRC-100-at megelőző PQ méretű (5x5x5cm) kis műholdak (SMOG-P és SMOG-1) alapvető feladata Föld körüli térség elektromágneses szennyezettségének feltárása, mérése a földi TV adók frekvencia sávjában. Mindkettő sikeresen végezte feladatát és méréseikre alapozva megszületett a világban első, az adott sáv szennyezettségét bemutató térkép. Az MRC-100 elsődleges feladata egy sokkal szélesebb frekvencia tartomány vizsgálata.

Elkészült és a műhold fedélzetére került egy olyan mérőrendszer a hozzá tartozó antennával mely a 28 - 1766 MHz-es és 2000 - 3120 MHz-es frekvencia sávban képes méréseket végezni.

A mérések eredményét a 436 MHz-es és a 2,2 GHz-es sávban sugározza le a földre.

MRC-100 tervezett start időpontja 2022 decembere volt. Ez később két alkalommal is módosult. Jelen beszámoló írásakor a tervezett időpont 2023 júniusa.

A pályára állító hordozó az Elon Musk SpaceX cége által üzemeltetett Falcon-9 típusú rakéta lesz. A több, PQ méret kategóriába eső műholdat, MRC-100-al együtt a skóciai (Glasgow) Alba Orbital cég rakta az általa fejlesztett kidobó szerkezetbe 2022 decemberében. A rendezvényről illetve a hozzá kapcsolódó munkaértekezletről részletes beszámoló olvasható ezen a web oldalon: `https://www.urvilag.hu/kis_ureszkozok_nagy_szerepe/20230104_pq_alkotok_egymas_kozott`

MRC-100 a rakétába helyezést engedélyező, minősítő vizsgálatokon kifogástalanul megfelelt, Glasgowban maradt, ahonnan előbb Olaszországban fogják egy nagyobb olasz műholdba integrálni, majd a nagyobb műholddal együtt irány Florida.

Az MRC-100 által sugárzott jelek vétele és a műhold üzemeltetése a Műegyetem műhold vezérlő állomásán történik.

Az állomáshoz a 2,2 GHz sáv vételéhez szükséges kiegészítések (primer sugárzó, sávszűrő, előerősítő, SDR vevő, jelfeldolgozó egységek) elkészültek.

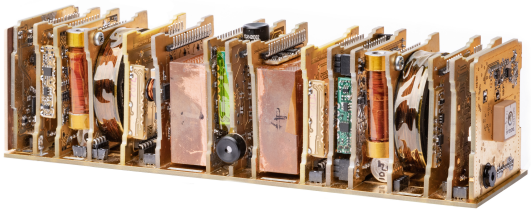
Próbájukra az ESA Proba-5 műholdjának vételével került sor. A berendezések kifogástalanul működtek.

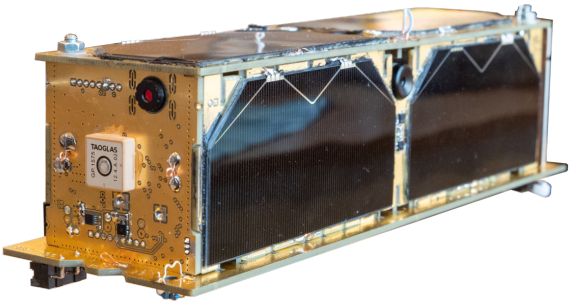
Összességében megállapítható, hogy a Támogatási Szerződésben definiált feladatoknak MRC-100 és a hozzá csatlakozó vevőállomás fejlesztés mindenben megfelelt.

2. Az MRC-100 fedélzetén lévő további egységek és azok feladatai

2.1. Budapesti Műszaki Egyetem

2.1.1. Vázszerkezet

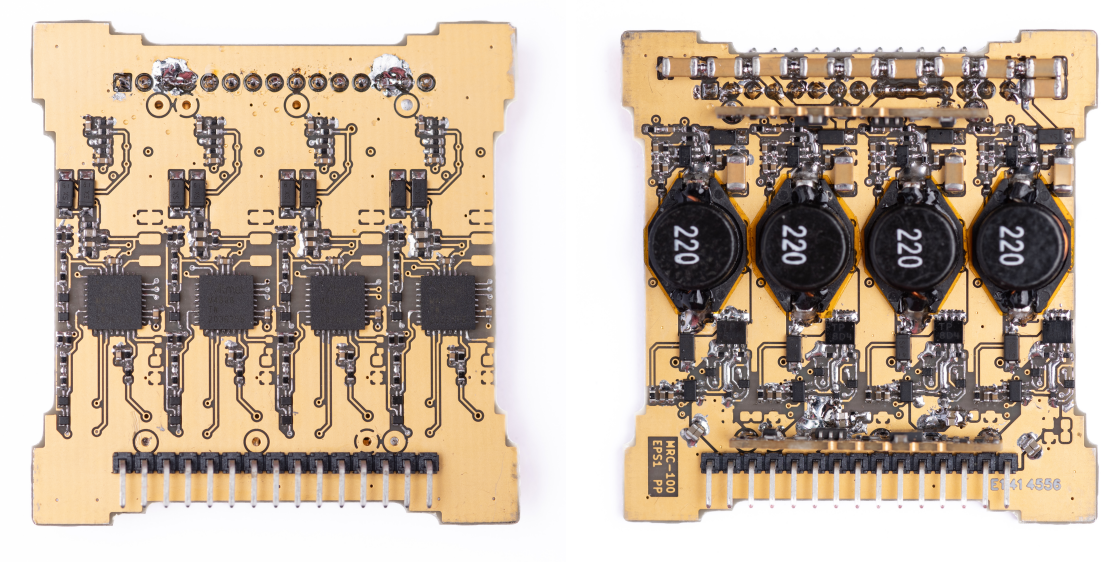




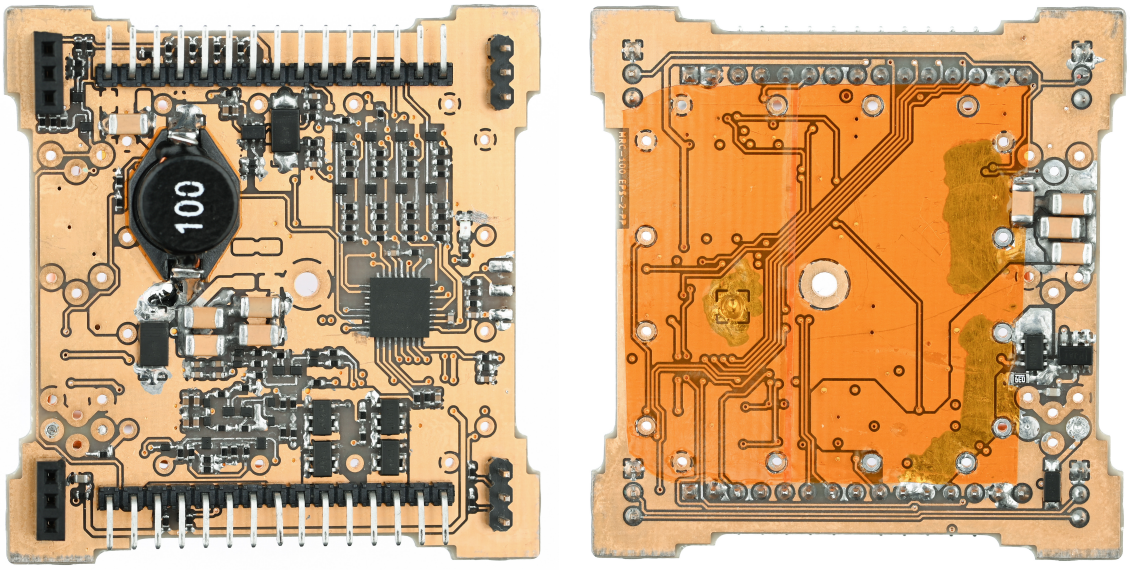
Mindenek előtt a műhold vázszerkezetét keztük megtervezni, hogy kialakuljon a belső panelek kontúrja és maximális darabszáma. Meghatároztuk a napelemek, valamint az egyéb külső alkatrészek pozícióját, amik alapján legyártattunk egy mechanikai példányt. Kialakult az szükséges antennák darabszáma és elhelyezése, figyelembe véve, hogy a szállításhoz szükséges azokat behajtogatni a műhold köré. A teljes rendszer 3D modellje iteratív módon készült, folymatosan egyeztetve az összes alrendszer fejlesztőjével, akik biztosították az aktuális áramkör friss modelljét. Így alakult ki az MRC-100 jelenlegi formája.

2.1.2. Energia ellátó rendszer

A műhold kis méretéből adódóan a működéséhez szükséges energia biztosításához az űrben egyetlen lehetőségünk a napfényt, mint megújuló energiaforrást használni. A műhold oldalain elhelyezett napelem táblák a Napból érkező sugárzott elektromágneses energiát alakítják át vezetett elektromos energiává. Ezt tudjuk használni a fedélzeten elhelyezett akkumulátorok töltéséhez. Az akkumulátorokban tárolt energia szétosztásáról a központi energiaellátó rendszer gondoskodik. Ennek feladata a műholdon elhelyezett alrendszerek számára stabil busz feszültséget biztosítani, illetve esetleges meghibásodásokból származó problémák kezelése, hogy a műhold többi része továbbra is működőképes maradhasson.



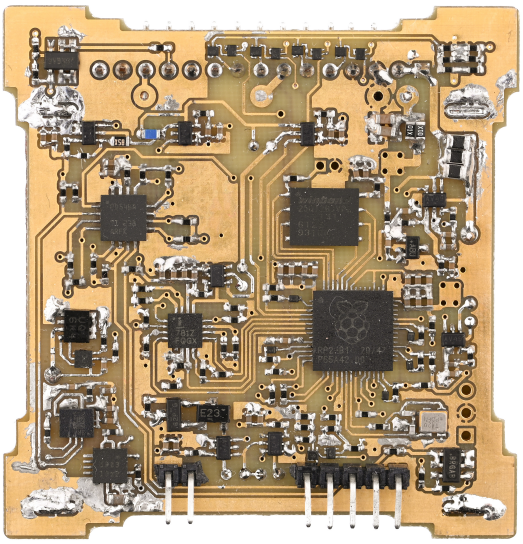
- Napelem maximális munkapont követő áramkörök.
- 2 x 2.4 V 500 mA 3 rétegű napelem cella, mint energia forrás.
- 4 x -es melegtartalékolás.
- Saját mikrovezérlő.
- 4.2 V-os CV határolás.
- Feszültség csökkentő kapcsoló üzemű tápegység elrendezés.
- Bemeneti feszültség, áram, teljesítmény monitorozás,
- kimeneti feszültség, áram, teljesítmény monitorozás.
- A szabályozatlan energia busz feszültség előállítása.



- A szabályozott névleges 3,3 V-os energia busz feszültség előállítása.
- Feszültség csökkentő kapcsoló üzemű tápegység elrendezés.
- Az áramhatároló kapcsolók monitorozása.
- Az áramhatároló kapcsolók vezérlése.
- A műholdfedélzeti energia menedzsment beavatkozója.
- A műholdfedélzeti energia szétosztás megvalósítása.
- Aktív digitális adatkapcsolat a fedélzeti számítógéppel.

2.1.3. Akkumulátor, érzékelő és adatgyűjtő rendszer

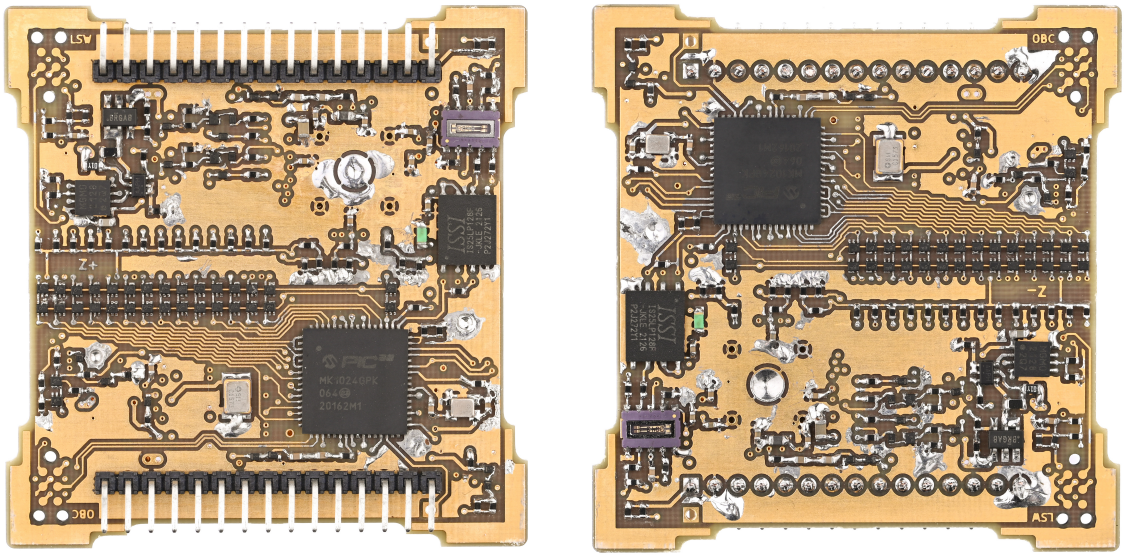




A műhold fedélzetén két akkumulátor és a hozzájuk tartozó adatgyűjtő rendszer helyezkedik el. A két rendszer egymás redundáns párja, így egyik meghibásodása esetén a műhold tovább tud üzemelni. Az akkumulátoros érzékelő adatgyűjtő alrendszer feladata az akkumulátorok 5 oldal hőmérsékletének mérése áramgenerátor és Pt-100-as hőmérő segítségével. Az akkumulátor túláram, mélykisülés, rövidzárlat védelmét is ez az alrendszer látja el. Ezen a panel helyezkedik el egy 3 tengelyű mágneses tér érzékelő egy 3 tengelyű szögsebesség érzékelő szenzor is. A műhold hat oldalán lévő fényérzékelőkkel és hőmérőkkel való kommunikációt, adatok letárolásáért is ez az alrendszer fele. A fény-, mágneses tér és szögsebesség érzékelőket a műhold orientációjának meghatározásához használjuk fel. További feladatához tartozik a GPS + kamera alrendszerrel való kommunikáció és az adatok fedélzeti számítógép (OBC) és helyzet stabilizáló rendszerek felé való továbbítása. Az adatgyűjtést és érzékelők kezelését egy RP2040-es mikrokontroller végzi.

- RP2040 alapú saját mikrovezérlő.
- 700 mAh Li-Ion akkumulátor.
- Áramgenerátoros PT-100 hőmérő-adatgyűjtő.
- 3 tengelyű mágneses térérzékelő.
- 3 tengelyű szögsebesség érzékelő.
- Alrendszer szintű melegtartalékolás (mester-szolga).
- Különleges akkumulátor hőszigetelő anyagvizsgálati kísérlet.
- Oldalpanel fényérzékelő és hőmérő szenzorok adatgyűjtője.

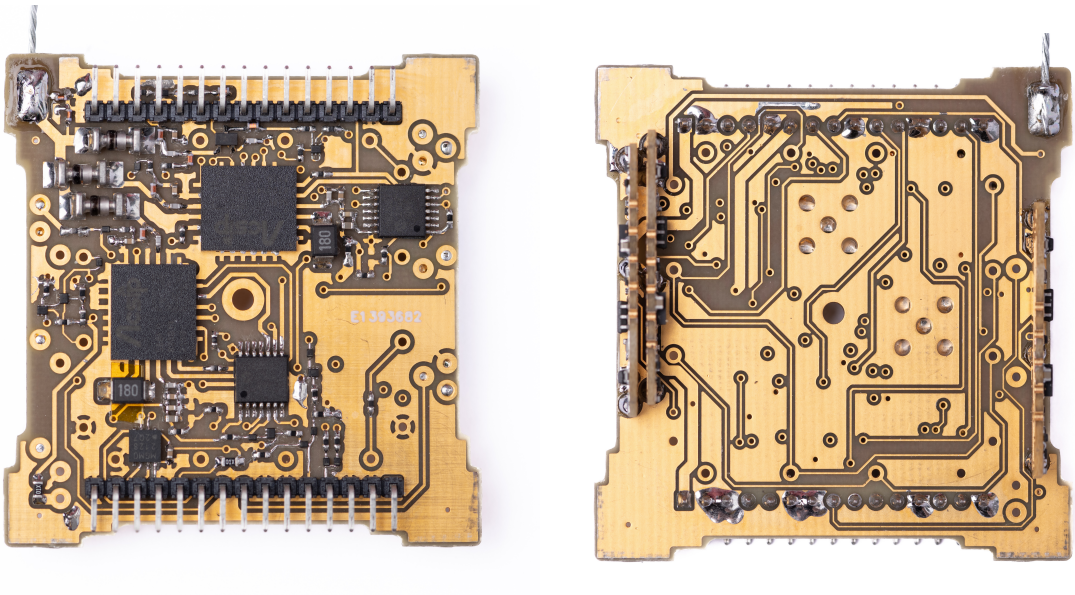
2.1.4. Fedélzeti számítógép



A fedélzeti számítógép (OBC - onboard computer) a műhold egyes részegységeinek irányításáért, ezek együttes működésének összehangolásáért felel. A redundáns fedélzeti számítógép duplikálva tartalmaz egy-egy nagy számítási teljesítményű mikrokontrollert, adattároló Flash memóriát, valamint valósidejű órát. Az UHF COM modulon keresztül biztosítja a fel és lefelé irányban a kommunikációt (telecommand és telemetria), az S sávú adó keresztül pedig nagy sebességű adat és fájlletöltést biztosít. Folyamatosan monitorozza az alrendszerek állapotát, ebből telemetria csomagokat képez; igény esetén konfigurálható gyakorisággal ezeket fájlba képes menteni későbbi letöltésekhez. A helyzetstabilizáló rendszer részére távoli kódfrissítést biztosít. A központi energiaellátó rendszeren keresztül vezérli az áramhatároló tápellátó kapcsolókat, ezzel a műhold energiaháztartásának menedzseléséért is felel.

- A fedélzeti számítógép (OBC - onboard computer) a műhold egyes részegységeinek irányításáért, ezek együttes működésének összehangolásáért felel.
- A redundáns fedélzeti számítógép duplikálva tartalmaz egy-egy nagy számítási teljesítményű mikrokontrollert, adattároló Flash memóriát, valamint valósidejű órát.
- Az UHF COM modulon keresztül biztosítja a fel és lefelé irányban a kommunikációt (telecommand és telemetria), az S sávú adó keresztül pedig nagy sebességű adat és fájlletöltést biztosít.
- Folyamatosan monitorozza az alrendszerek állapotát, ebből telemetria csomagokat képez; igény esetén konfigurálható gyakorisággal ezeket fájlba képes menteni későbbi letöltésekhez.
- A helyzetstabilizáló rendszer részére távoli kódfrissítést biztosít.
- A központi energiaellátó rendszeren keresztül vezérli az áramhatároló tápellátó kapcsolókat, ezzel a műhold energiaháztartásának menedzseléséért is felel.

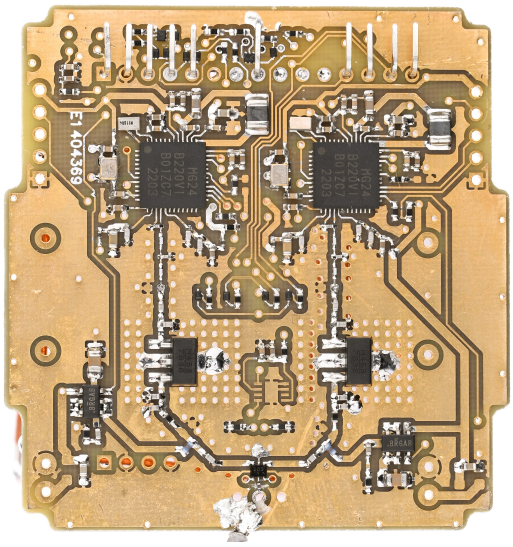
2.1.5. UHF sávú rádiókommunikációs rendszer

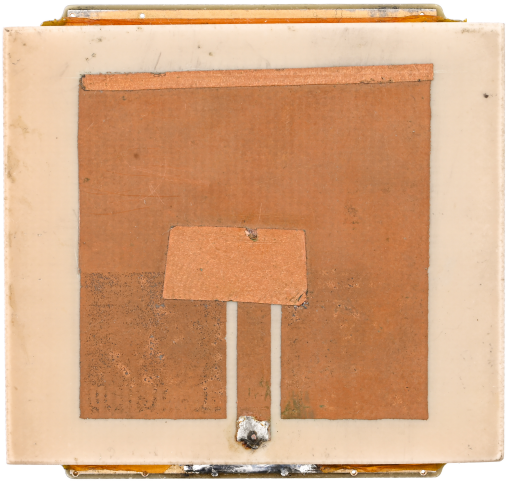


- Saját mikrovezérlővel rendelkező, UHF sávú, hidegtartalékolt rádiókommunikációs egység amely a műhold és a földi állomás közötti digitális adatkapcsolatot biztosítja.
- Névleges vivőfrekvencia 436,72 MHz az NMHH / IARU / ITU frekvencia korrdinációnak megflelően.
- Műhold - Föld irányban 20 kHz, Föld - műhold irányban 12,5 kHz sávszélesség.
- Rádióamatőr hívójel: HA100MRC.
- Moduláció: CW, GMSK, lin-FM-chirp.
- Adóteljesítmény: 20 dBm.
- Az UHF-COM panelen helyet kapott továbbá egy UHF sávú rezonáns radar reflektor kísérlet, amely a Földről sugárzott CW jellel a műholdat megvilágítva, az UHF negyedhullámú antennának a reflexióját BPSK-ban modulálva detektálhatóvá teszi a műholdat saját sugárzott RF jel nélkül is.

2.1.6. S-sávú nagy adatátviteli sebességre képes mikrohullámű adó

A műholdfedélzeten keletkező nagy mennyiségű mérési eredmény (adat) földi állomásra juttatását az S-sávú adó biztosítja.

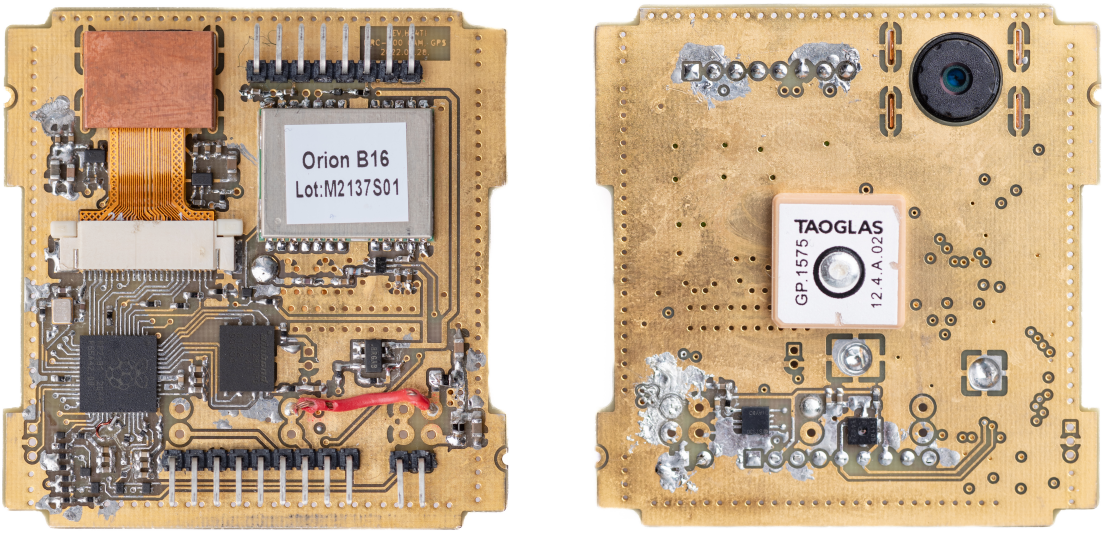




- Ipari S-sáv az NMHH támogatásának köszönhetően a nagy mennyiségű adatletöltéshez.
- Hidegtartalékolt S-sávú adó saját patch antennával, saját mikrovezérlővel, végfokkal.
- Névleges vivőfrekvencia: 2267,5 MHz.
- GMSK moduláció.
- Adatsebesség: 100 kbit/s ... 2 Mbit/s.
- EIRP = 30 dBm.

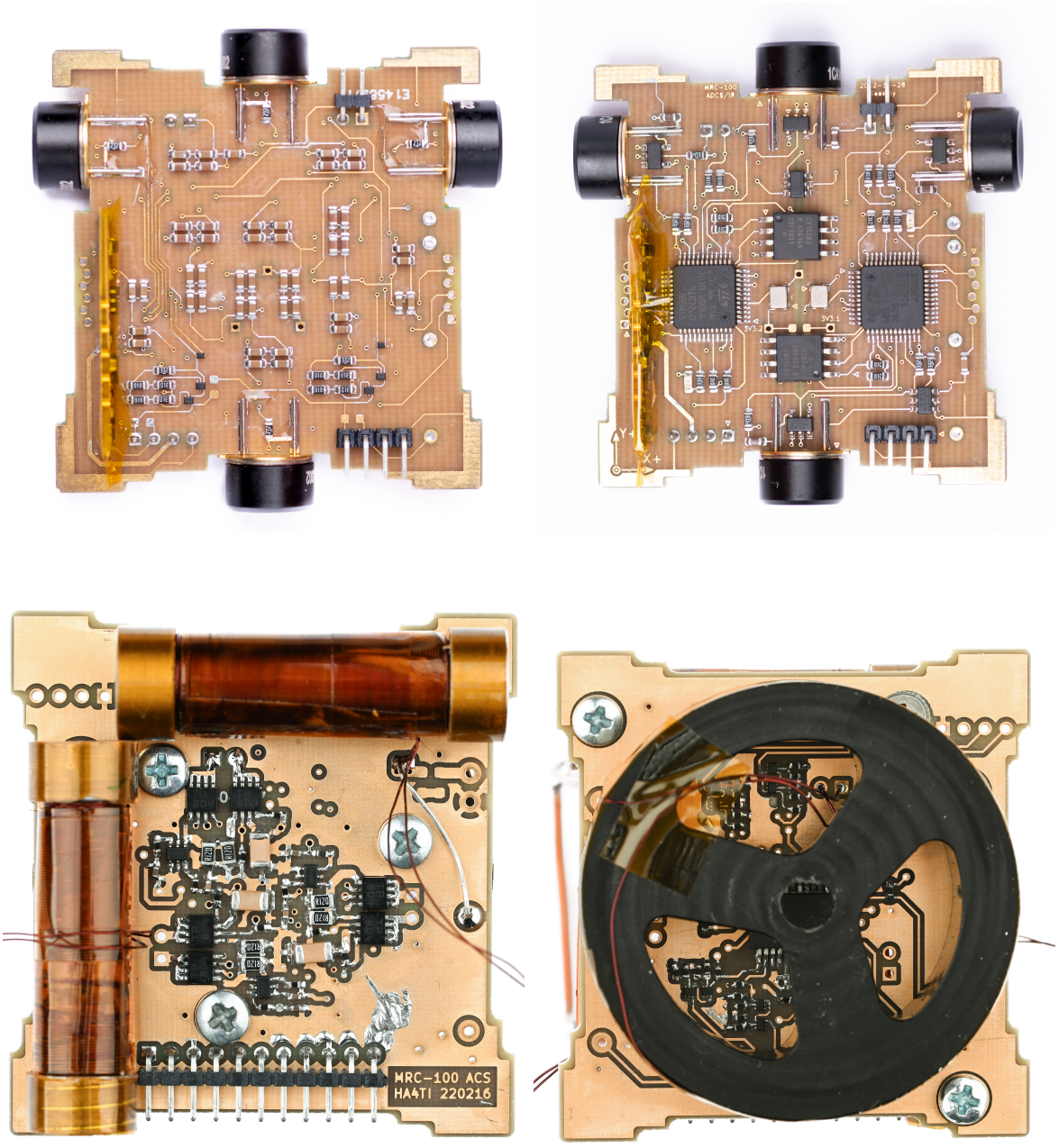
2.1.7. Kamera + GPS

A kamera és GPS alrendszeren egy SkyTraq Orion B16 GPS és egy OmniVision OM5640 5 MP-es kamera helyezkedik el. A GPS feladata a műhold pontos koordinátáinak szolgáltatása. Ezen GPS célzottan műholdfedélzetre tervezték, tehát nincs korlátozva a működése sebességre és magasságra. A kamera és a GPS kezelését egy RP2040-es mikrokontroller végzi. A kameráról készült képeket a fedélzeti számítógép felé való továbbításig egy 16 MB-os FLASH memóriában tárolja.



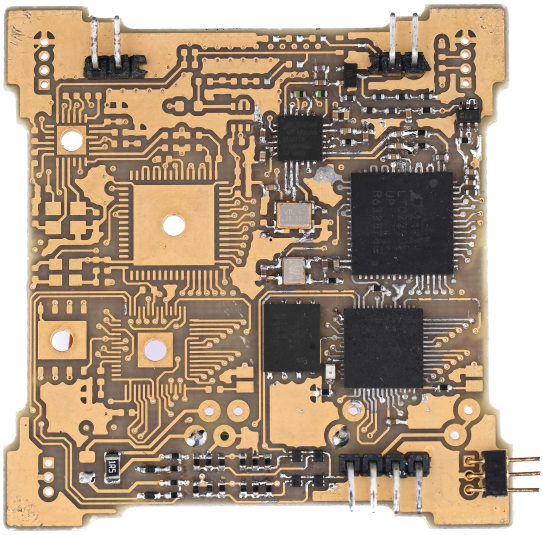
- OV5640-es 5 megapixeles kamera - Föld és Hold megfigyellés.
- RP2040 alapú saját mikrovezérlő.
- SkyTraq Orion B16 műholdfedélzeti GPS.
- Mágneses térszámító algoritmus.
- TLE alapú pozíció meghatározó algoritmus (SGP4).

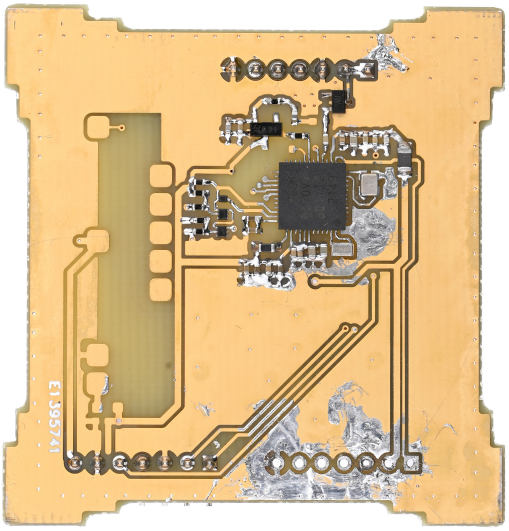
2.1.8. Mágneses helyzetstabilizátor



Az MRC-100 fedélzetén található egy nagysebességű telemetria adó, melyhez egy irányérzékeny patch antenna tartozik. Az antennát áthaladáskor a földi állomás felé kell irányítani, hogy létrejöjjön a kapcsolat, amihez a beavatkozás három egyedi tervezésű elektromágnes segítségével történik. A szabályozáshoz a visszacsatoló jelek optikai-, mágneses- és szögelfordulás-, valamint infravörös tartományban működő szenzorokból érkezik. Az ADCS-ben található PIC18 és STM32 mikrokontrollerek program kódja a probléma bonyolultsága miatt frissíthető a küldetés során.

2.1.9. Elektromágneses szennyezettség mérő rendszer - szoftver és hardver rádió alapú spektrum analizátorok

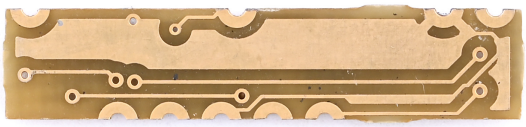


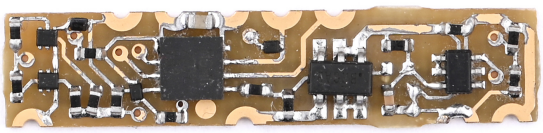


1. Softverrádió alapú spektrum analizátor:
    - Névleges frekvencia tartomány: 28-1760 MHz.
    - R820T2 tuner IC.
    - ADC 12 bit.
    - 10 MHz mintavételi frekvencia.
    - Digitális KF.
2. Hardverrádió alapú skalár spektrum analizátor:
    - Névleges frekvencia tartomány: 2000 - 3120 MHz.
    - Egyszer transzponált szuperheterodin vevő.
    - 90 dB RSSI dinamika tartomány.
    - 1 kHz - 1 MHz KF sávszélesség (RBW).
3. Széles sávban használt 58 cm-es űrminősített bicikli bowden monopól antenna.

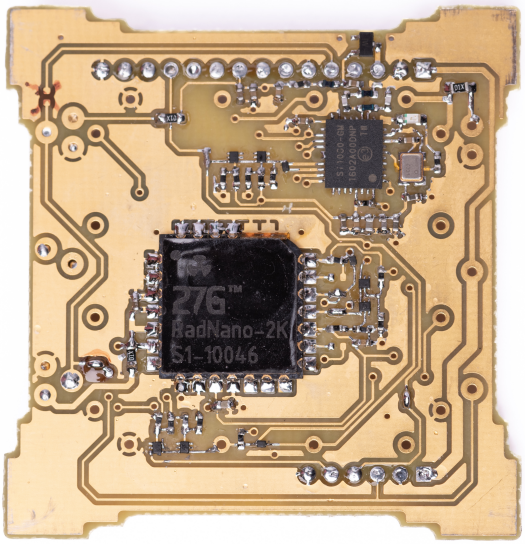
2.1.10. Áramhatároló kapcsolók

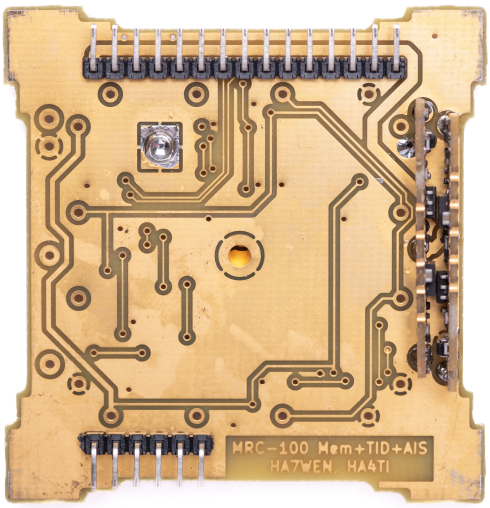
Az áramhatároló kapcsolók feladata a műholdon a túlfeszültség, túláram, alulfeszültség védelem megvalósítása, valamint valós idejű fogyasztás és üzemállapot telemetria adat szolgáltatás az energia ellátó rendszer és a fedélzeti számítógép irányába.





2.1.11. AIS vevő

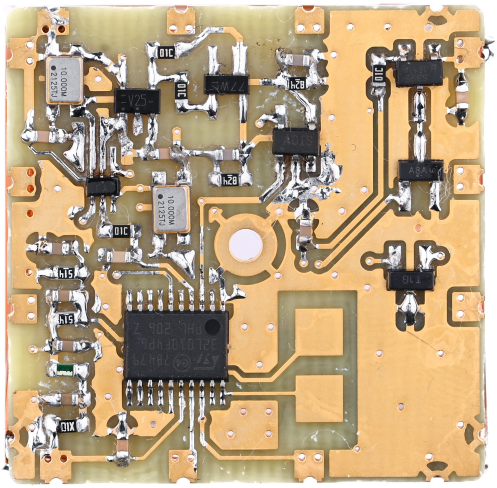


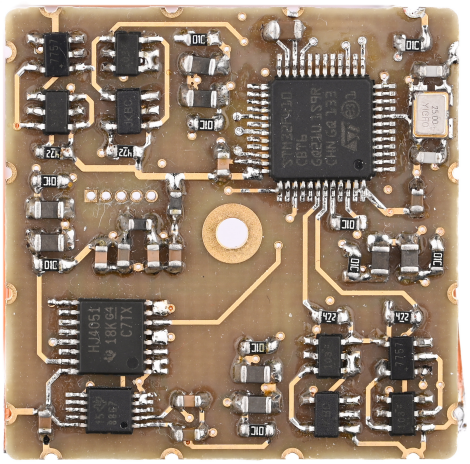


A tengerjáró hajók követésére kitalált földi AIS rendszer kiegészítő része lehet a műholdas átjátszás. Nagyobb műholdakon már valósítottak meg SDR alapú vevőt, azonban ilyen kis méretben még nem létezik. Az MRC-100-on egy funkcionálisan redundáns hardverrádiós AIS vevő található, amely az Si1060, rádiós mikrokontrolleren alapul és AIS csomagok detektálására alkalmas.

2.2. Külső egyetemi kísérletek

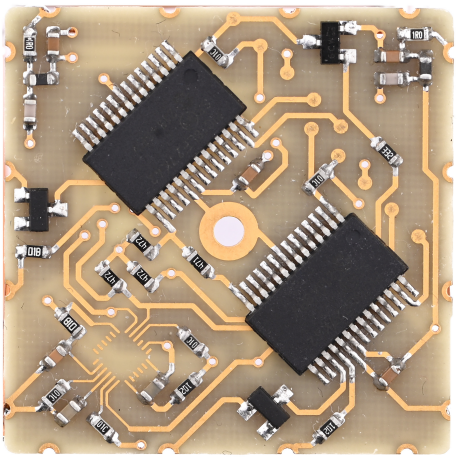
2.2.1. Szegedi Tudományegyetem





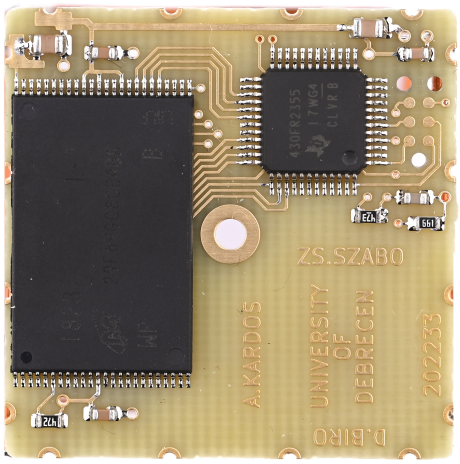
Az egyik különböző hőmérsékletmérési módszereket hasonlít össze űri körülmények között, az így szerzett információ kulcsfontosságú lehet olyan jövőbeli kísérleteknél, ahol fontos a precíz hőmérséklet-meghatározás. Ezen modul másodlagos kísérlete egy STM32 típusú, iparban is elterjedten használt mikrovezérlő család belső oszcillátorának mérése. Annak vizsgálata, hogy az oszcillátor bizonytalansága az űrben csak a hőmérséklettől függ-e. A kapott eredmények hasonló zsebműholdak tervezésekor felhasználhatók lesznek. Az SZTE második hasznos terhe több, diákok által összeválogatott kísérletet is hordoz. Ezek közül az első egy analóg-digitális átalakító bizonytalanságának mérése. A másodlagos kísérletben a modullal azonos információátviteli úton történik egy időmérés. A mérés eredményeként adódni fog, hogy más modulok időzítései egymáshoz képest hogyan viszonyulnak, változnak. Ez a kísérlet is az előző modulhoz hasonlóan az oszcillátorok fontosságát vizsgálja. A modulban helyet kapott továbbá az SZTE Móra Ferenc Szakkollégium hallgatóinak idézetgyűjteménye, valamint egy hőmérséklet és egy Hall mérő is.

2.2.2. Győri Szechenyi István Egyetem



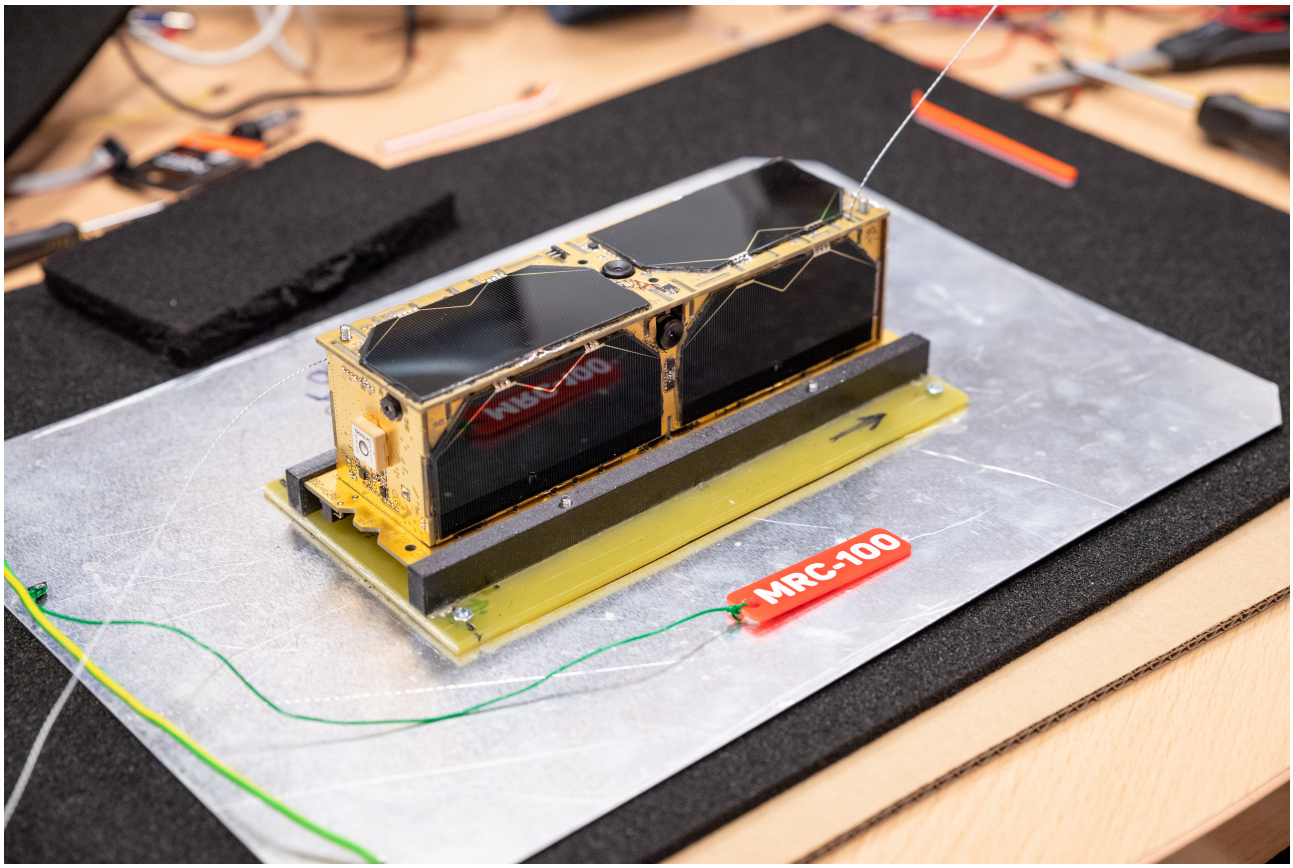
A győri kísérlet arra fókuszált, hogy az előre egyeztetett időpontra a kívánt darabszámban a kísérlet alapjául szolgáló modult megtervezze, legyártassa és a lehetőségekhez képest a legtöbb validációs tesztet elvégezze, hogy az MRC-100 teljes élettartama alatt megbízhatóan működjön. A modul lelkét a Microchip által gyártott PIC18FxxK42 családba tartozó kiterjesztett hő tűrésű és alacsony fogyasztású mikrokontrollerek adják. A kísérlet célja ezen mikrokontrollerek űrbeli működésének vizsgálata. A modul a vezérlő számítógépnek küldi el az előre letárolt üzeneteket szekvenciálisan, melyek az Széchenyi István Egyetem nevét, Győrt, valamint a készítők rádióamatőr hívójeleit, illetve neveit tartalmazzák.

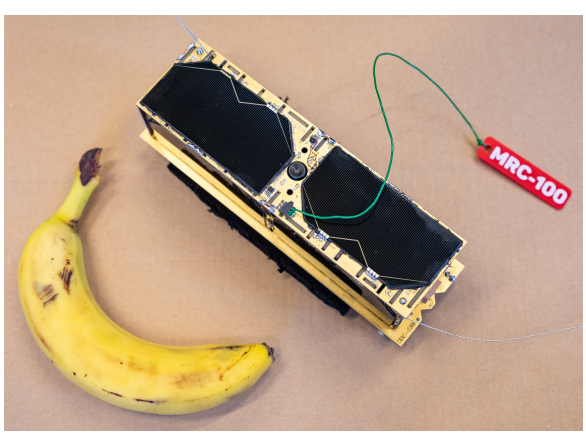
2.2.3. Debreceni Egyetem

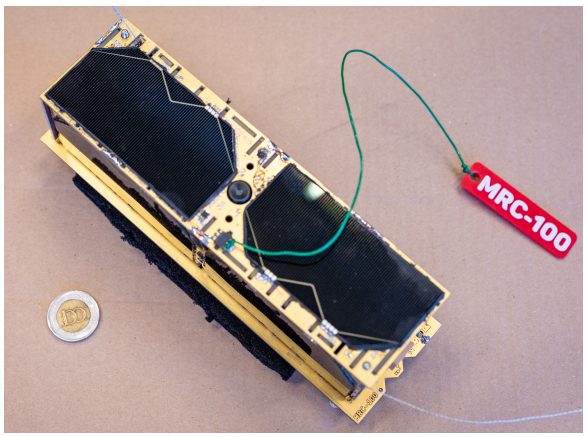


Az MRC-100 műholdra elhelyezésre került egy olyan mikrovezérlő által irányított kísérleti dózismérő eszköz, ami a FLASH alapú adatárolás radioaktív sugárzás általi adatdegradációját használja fel arra, hogy az eszközt tartalmazó (radioaktív) sugárzási térről információt szolgáltasson. A pályára állított műhold pályajellemzői (poláris pálya) lehetővé teszi, hogy hosszú időn keresztül vizsgálni lehessen az eszköz működését és a mérési koncepció igazolása esetén az ezen pálya mentén tapasztalható sugárzási teret is.

3. Az elkészült, összeszerelt műhold, még kiszállítás előtt







A 2022. decemberében a kiszállítást megelőzően tartott előadás anyaga itt elérhető:
`http://152.66.80.46/mrc100dec/`

Budapest, 2023. január 20.

Műegyetemi Rádió Club Egyesület