

TDK dolgozat

Sztratoszférikus ballon fedélzetére készített asztrobiológiai kísérlet

Grósz Veronika Anna, VI. Biomérnök

veronika.grosz@gmail.com

Gorócz Vilmos Gábor, V. Villamosmérnök

gorocz@mht.bme.hu

Konzulensek:

Dr. Szabó József (BME-HVT)

tudományos munkatárs

szabo@mht.bme.hu

Dr. Csurgai-Horváth László (BME-HVT)

egyetemi docens

csurgai@mht.bme.hu

Dr. Rontó Györgyi (SOTE – Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet)

professzor emeritus

ronto.gyorgyi@med.semmelweis-univ.hu

2012. 10. 26.

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Tudományos kísérlet	4
2.1 Az UV sugárzás hatásai.....	4
2.2 Az UV-sugárzás hatásainak modellezése és mérése	5
3. A BEXUS program	9
3.1 A program fázisai	9
3.2 Student Experiment Documentation (SED) és a mérőföldkövek.....	11
3.3 A BEXUS-15 platform.....	13
3.4 Tervezési tanácsok	15
4. Detektorok	17
4.1 Elektronikai detektorok választása és kalibrációja.....	17
4.2 Uracil detektorok gyártása és kalibrációja	19
4.3 Elektronikai és uracil detektorok együttes kalibrációja	22
5. Elektronika és konstrukció	24
5.1 A rendszer felépítése	24
5.2 Az elektronika doboz	26
5.3. Optikai doboz	36
5.4. Tesztelés	38
6. Software	42
6.1. Fedélzeti szoftver	45
6.2. Földi állomás szoftvere	47
8.Tovább lépés	52
9. Irodalomjegyzék.....	53
10. Rövidítésjegyzék	54
11. Melléklet.....	55

1. Bevezetés

Az ultraibolya sugárzás káros hatásai elsősorban az élő szervezetek DNS-ében okozott sérüléseken alapulnak. Ilyen károsodás például a pirimidin bázisok dimerizációja, amely a DNS megkettőződése során helytelenül replikálódó szálhoz vezet. Az UV sugárzás hatására képződő fototermékek (6-4 bipirimidinek, illetve ciklobután dimerek) keletkezésének vizsgálata tehát egyrészt nagy jelentőséggel bír mind az élő szervezetek UV-tűrésének elemzésében, másrészt információkat adhat az UV-védelem nélküli élő rendszerek túlélési esélyeiről és képességeiről; ilyen körülmények között kellett ugyanis a korai, ózonpajzs nélküli földi életnek, valamint az űrben utazó biomolekuláknak és egysejtű létformáknak túlélnie. Ennek vizsgálatához a laboratóriumi körülmények nem elégségesek, mert a rendelkezésünkre álló UV sugárforrások spektrális felbontása csupán közelíteni tudja a Nap elektromágneses spektrumának összetételét.

Ezen Tudományos Diákköri dolgozat alapjául egy olyan kísérlet szolgál, amely a Semmelweis Egyetem Biofizikai Kutatócsoportjának, és a BME Űrkutató csoportjának együttműködésével indult a BEXUS program keretében. A BEXUS (Balloon-borne experiments for University Students) program során a BioDos névre hallgató kísérlet egy sztratoszférikus ballon gondolatján vizsgálta az UV-sugárzás hatásait és ezek magasságfüggését biológiai mintán. A kísérlet során folyamatos, in situ módon végeztük el a kívánt méréseket.

A kísérlet szeptember végén sikeresen lezajlott, jelenleg az adatok kiértékelése folyik, amely eléggé kezdetleges fázisban van, ezért a mérési eredmények teljes bemutatása helyett a kísérlet fejlesztési lépéseit mutatjuk be, különös tekintettel a tudományos kísérlethez alkalmazott detektorokra, illetve az adatgyűjtő kártyára és szoftverre, de figyelmet fordítunk az elektronika többi részére, a mechanikus és termikus tervezésre, illetve egyéb, a ballonkörnyezethez szükséges tervezési megfontolások ismertetésére. A kísérlet tudományos feladataiban Grósz Veronika, a mérnöki munkában Gorócz Vilmos vett részt. A kísérlet fejlesztése során a tudományos illetve a mérnöki oldal szoros együttműködésére volt szükség.

2. Tudományos kísérlet

2.1 Az UV sugárzás hatásai

Az elektromágneses spektrumnak a látható fény és a röntgensugárzás közé eső tartományát ultraibolya, vagy UV-sugárzásnak nevezzük, amely hozzávetőlegesen a spektrum 100-400nm hullámhosszú tartományát fedi le, felosztása pedig a következő:

Elnevezés	Hullámhossz-tartomány(nm)
UVA	315-400
UVB	280-315
UVC	200-280
VUV	100-200

1. táblázat – Az UV tartomány hullámhossz szerinti felosztása

A stratoszférikus ózon („ózonréteg”) ezen tartománynak csupán egy kis részét, a ~300nm feletti hullámhosszakat engedi át, a kisebb hullámhosszakat (VUV, UVC, UVB) kiszűri, így a Föld felszínére csupán az UVA tartomány egésze és az UVB tartomány kis része érkezik.

A földfelszínre érkező sugárzás mennyiségének kicsinysége ellenére létfontosságú biológiai folyamatokban játszik szerepet. Az UVB-sugárzás segíti elő a kolekalciferol, vagyis a D₃ vitamin szintézisét a bőrben található 7-dehidrokoleszterinből. A D vitamin feladatai közé tartozik a kalcium-metabolizmus szabályozása, amely a csontképzéshez és megfelelő idegműködéshez szükséges, de szerepet játszik olyan fiziológiai folyamatokban is, mint a vérnyomás szabályozása és az inzulinszekréció. Az UV-sugárzás ismertebb hatásai között tartjuk számon a napozás utáni bőrelváltozásokat (bőrpír [erythema solaris], bőrrák, illetve bőrszín-változás), amelyek a sugárzás DNS-károsító, mutagén és karcinogén hatásaival függenek össze. Az UVA és UVB tartományú sugárzás a DNS-en kívül a szövetek rugalmasságáért felelős kollagén rostokat is képes károsítani, így a hosszú távú, gyakori UV-terhelés a bőr öregedéséhez is vezethet [1].

Megjegyzendő, hogy az UV-sugárzás biológiai hatásai erősen függenek a sugárforrás emissziós spektrumának összetételétől és a recipiens rendszer biokémiai tulajdonságaitól. Ez nehézkessé teszi a napsugárzás UVB és UVC tartományainak biológiai hatására irányuló

vizsgálatokat, mert laboratóriumi eszközökkel szinte lehetetlen a Nap emissziós spektrumának megfelelő sugárforrást előállítani.

Emberi vonatkozásain kívül az UV-sugárzás hatásait egy rendkívül komplex, multidiszciplináris terület, az asztrobiológia szemszögéből is érdemes megvizsgálni, és a dolgozatban bemutatott kísérlet is ezt teszi.

Az asztrobiológia által vizsgált kérdések között központi helyet foglal el az élet kialakulásának kutatása. A biogén elemek (C, H, O, N, P) és víz jelenléte, illetve a megfelelő hőmérséklet és energiaforrás mellett az élő szervezetek keletkezéséhez és életben maradásához elengedhetetlenül szükséges az UV védelem. A kezdeti mikroorganizmusok és biomolekulák UV-környezete nagyban eltért az ember által tapasztalt és megszokott környezettől, hiszen a korai Föld nem rendelkezett az UV-sugárzás nagy részét megszűrő ózonréteggel. Fontos megjegyezni, hogy a kortárs asztrobiológiai elméletek szerint a bioszféra fejlődésének ebben a kezdeti szakaszában nem a DNS, hanem az RNS szolgálhatott mind a genetikai információ tárolására, mind pedig a mostani biokémiában fehérjék által ellátott katalitikus folyamatok végrehajtására. Az RNS-világ hipotézis alapot szolgáltat arra, hogy a korai életet kutató csoportok ne csupán a DNS sérüléseit, hanem az RNS (és alkotóelemei) UV-sugárzás hatására bekövetkezett változásait is vizsgálják.

A földi élet kialakulásához szervesen kapcsolódik egy másik elmélet, a panspermia-hipotézis. Eszerint egyszerű biomolekulák és egysejtű létformák képesek aszteroidák segítségével az űrben is utazni és az ebben a környezetben jellemző extrém körülményeket elviselni. Az alacsony hőmérséklet és a vákuum mellett ilyen extrém körülmény a szűretlen UV-sugárzás is [2].

Az előzőekből látszik, hogy az ultraibolya sugárzás hatására keletkező molekuláris elváltozások vizsgálata értékes adalékokkal szolgálhat az első élő szervezetek túlélési esélyeinek és képességeinek kutatásában.

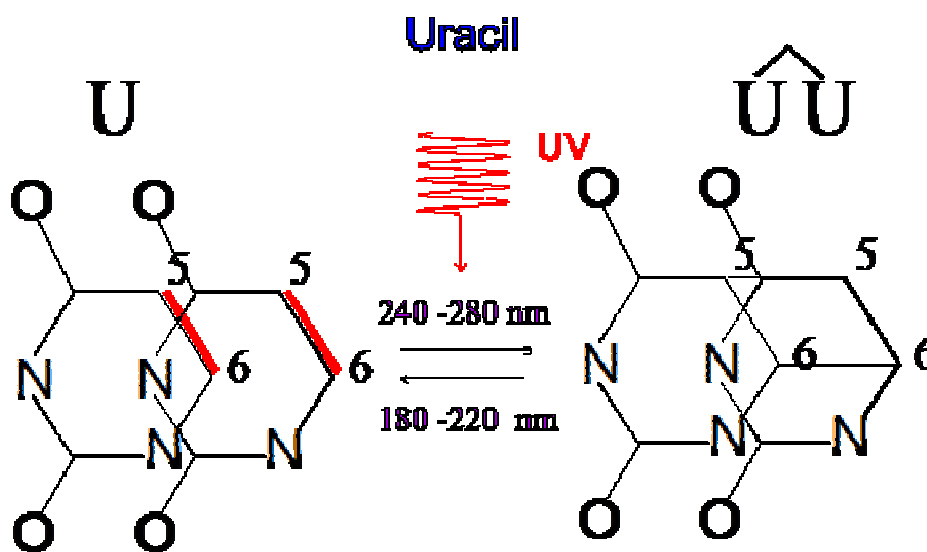
2.2 Az UV-sugárzás hatásainak modellezése és mérése

Molekuláris szinten az UV-sugárzás elsődlegesen a sejtek genetikai állományát, pontosabban az azt kódoló nukleinsavat, a DNS-t károsítja. Ezen sérülés alapja az UV-sugárzás hatására bekövetkező fototermék-képződés, melynek során a DNS egyes alkotóelemei, a pirimidin szerves bázisok összekapcsolódnak, és ciklobután pirimidin dimereket (CPD-ket), illetve 6,4 fototermékeket képeznek. Ezen termékek jelenléte a DNS megkettőződése során báziscseréhez, tehát helytelen replikációhoz vezet, így fejtve ki az előző fejezetben említett

mutagén hatást [3]. A DNS-károsodás jelentkezhethet fehérje-DNS keresztkötés, citozin fotohidratáció, vagy láncszakadás formájában is, ám ezek előfordulási valószínűsége a CPD-k képződésénél alacsonyabb.

Ezek alapján látható, hogy az UV-sugárzás hatására bekövetkező molekuláris sérülések biokémiai és biológiai modelleken elemezhetőek, mely modellek kritériuma a fototermék-képződésben központi szerepet játszó pirimidin bázisok (timin, citozin, uracil) jelenléte. Ilyen modellorganizmus és –rendszer lehet a T7 bakteriofág DNS-e, a *Bacillus subtilis* túlélőképlete (spórája), vagy a polikristályos pirimidin bázis. A dolgozatban bemutatott kísérletben kvarc hordozóra vékonyrétegben felvitt uracil bázist használtunk, amely az RNS alkotórésze [4].

UV-tartományú besugárzás hatására két egyidejű folyamat játszódik le, a pirimidin bázisok dimerizációja, illetve ennek ellentéte, vagyis a dimerek szétkapcsolódása, monomerizációja [3]. E két folyamat a besugárzás hullámhossz-tartományától függő arányban történik; nagyobb hullámhosszak a dimerizáció, rövidebb hullámhosszak (~240nm alatt) pedig a monomerizáció irányába tolják el a folyamatot (1. ábra).

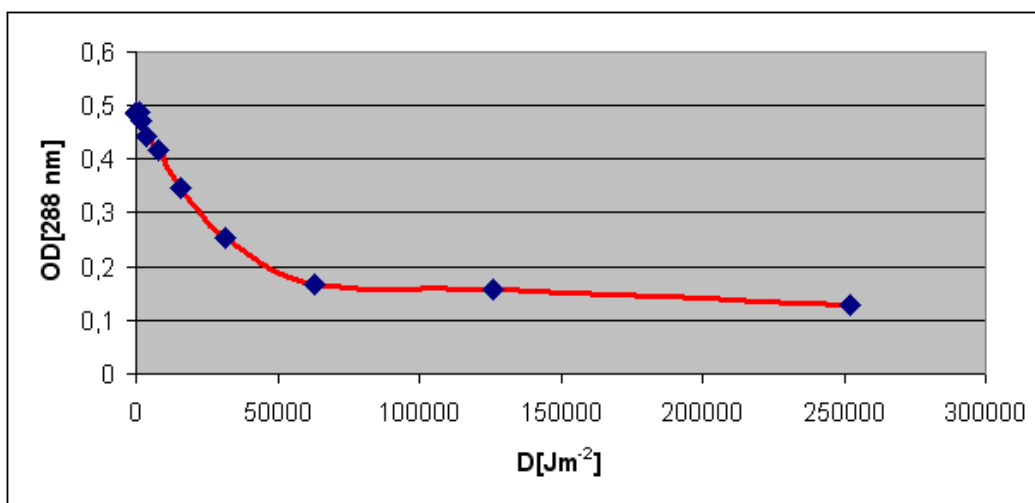


1. ábra

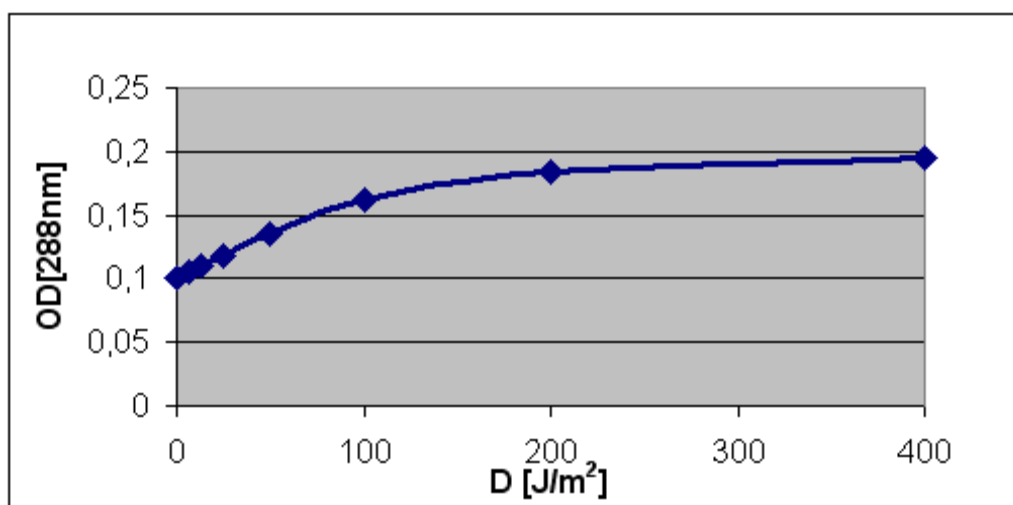
Uracil monomerizációja és dimerizációja. Besugárzás hatására a monomerek 5. és 6. szénatomja közötti kettős kötés felbomlik, majd két egymás melletti molekula 5-5 és 6-6 szénatomja közti kötés kialakulásával uracil dimer képződik.

A dimerizáció és a monomerizáció folyamata az uracil abszorbanáciájának, vagyis optikai denzitásának változását vonja maga után. Elmondható, hogy a molekulák összekapcsolódása az optikai denzitás csökkenésével (2.ábra), a dimerek szétbomlása pedig ugyanezen

tulajdonság növekedésével jár (3. ábra). Az optikai denzitás változásának mértéke arányos az UV-besugárzás mértékével.



2. ábra
Uracil dimerizációjának hatására bekövetkező abszorbancia-csökkenés.

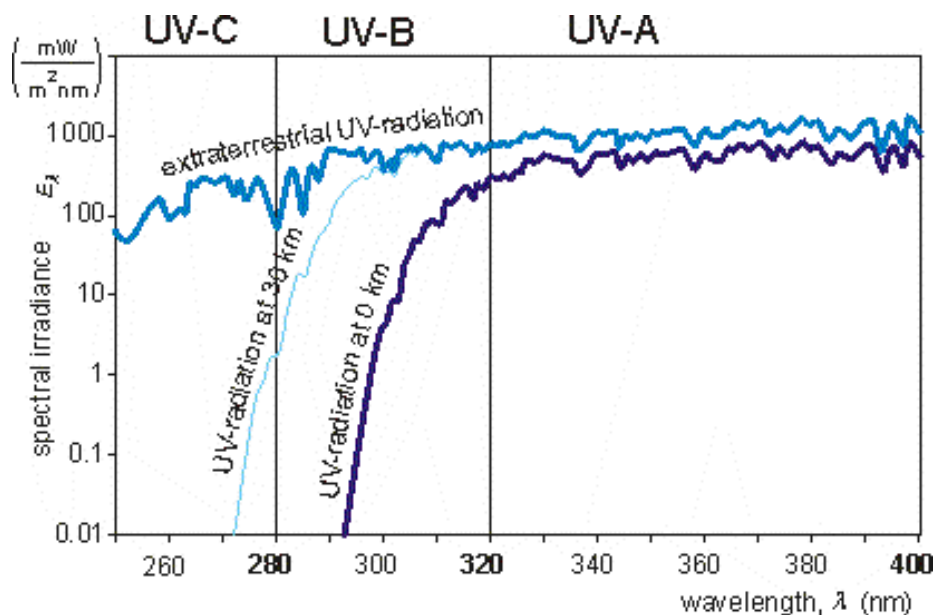


3. ábra
Uracil monomerizációjának hatására bekövetkező abszorbancia-növekedés.

A monomerizáció-dimerizáció egyensúly hullámhosszfüggésének következményeképp az uracil modellrendszeren mérhető optikai denzitás változása a domináns folyamatot fogja tükrözni: nagyjából UVB tartományú komponenseket tartalmazó sugárzás hatására a modellben abszorbancia-csökkenést fogunk tapasztalni.

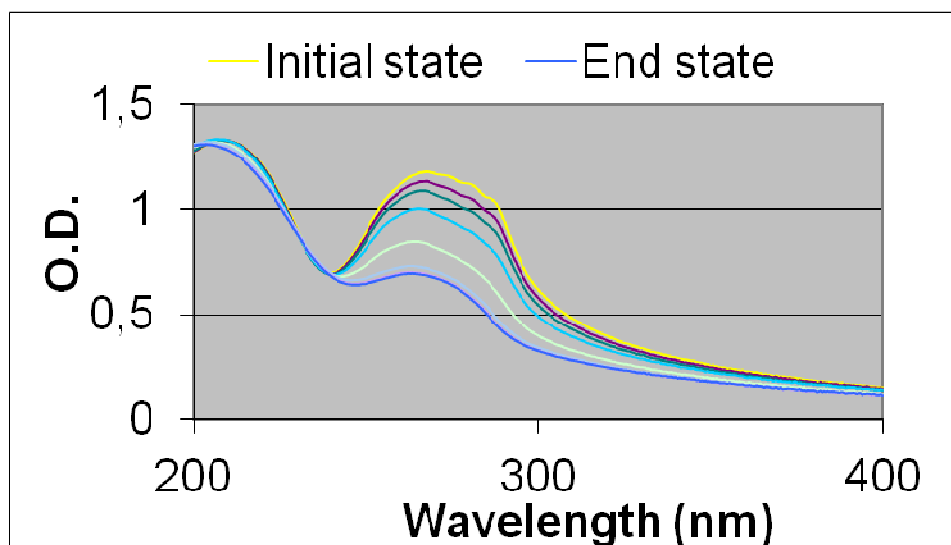
A bemutatott kísérlet egy sztratoszférikus ballon gondolóján repült, amely ballon közel 26km magasságig emelkedett. A 2.1 fejezetben elmondtuk, hogy a földfelszínen mérhető UV-sugárzás elsősorban az UVA tartományba esik, amely nem okoz dimerizációt az uracilban. A

SOTE Biofizikai Kutatócsoportjának tapasztalatai ezt a tényt előzetesen alá is támasztották. A 4. ábrán azonban látszik, hogy a magasság növekedésével a tapasztalható UV-sugárzás összetétele megváltozik: az UVA komponens mellett a felsőbb légkörben megjelenik az UVB és az UVC komponens is, amely tartományok már alkalmasak dimerizáció (és monomerizáció) előidézésére is.



4. ábra

Az UV-sugárzás spektruma különböző magasságokon (földfelszín, 30km, extraterresztriális)



5. ábra

Az uracil karakterisztikus abszorbanciájának csökkenése

Az uracil vékonyrétegben bekövetkező dimerizáció az uracil karakterisztikus abszorbanciájának (250-300nm) csökkenésével jár. Ez spektrofotometriai módszerekkel követhető és *in vitro* elemezhető (5. ábra). Mint említettük, az abszorbancia csökkenése a besugárzott dózissal arányos, tehát mértékéből (a kezdeti és a végállapotot összehasonlítva) következtethetünk az uracilra eső sugárzás biológiailag hatásos dózisára.

Ez a mérési módszer eddig is ismeretes volt [4], ám hátrányai közé tartozik, hogy az elemzéshez elengedhetetlen a minták fizikai jelenléte a mérés végén, illetve hogy csak a kezdeti és a végállapotról van adatunk, de a változás dinamikájába nem nyerhetünk bepillantást.

Az *in vitro* módszer helyett folyamatos és *in situ* módszert alkalmazva azonban kiküszöbölhetőek az előbb említett nehézségek. Az abszorbancia, vagyis fényelnyelési képesség csökkenése azt jelenti, hogy a ráeső sugárzás egyre nagyobb részét fogja változatlanul áteresztetni a minta, hiszen:

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I_t} \right)$$

ahol A az abszorbancia, I_0 a mintára eső sugárzás intenzitása, I_t pedig a transzmittált fény intenzitása. UV-tartományban érzékeny fotodióda detektort helyezve a minta mögé ez a fokozódó fényátersztés a detektor kimeneti jelének növekedésével jár együtt. A detektor jelének folyamatos regisztrálása, majd későbbi elemzése lehetővé teszi, hogy ne csupán a minta kezdeti és végállapotáról legyen információnk. Pontos detektorjel-abszorbancia korreláció megállapítása után ez a kísérleti módszer kiválthatja az *in vitro* mérést, így alkalmazható olyan kísérletekben is, ahol a minták laboratóriumba szállítása nehézkesen, vagy egyáltalán nem oldható meg (pl.: üreszközök fedélzetén). A BioDos kísérletben volt lehetőség a minták visszaszerzésére a ballon repülése után, így *in situ* adatainkat *in vitro* mérésekkel is meg tudjuk erősíteni.

3. A BEXUS program

3.1 A program fázisai

A BEXUS (Balloon-borne Experiments for University Students) program a DLR (német) és az SNSB (svéd) űrügynökségek közti kétoldalú megegyezés eredménye. A svéd oldal az ESA-val együttműködve lehetővé tette a programba való bekapcsolódást más európai országok, így Magyarország számára is. A BioDos kísérlet fejlesztése 2011. decemberétől

2012. szeptemberéig tartott, eredményeink kiértékelése pedig 2012. decembernek végéig folytatódik.

A BEXUS program időrendje:

- Selection Workshop (2011. december 5-9.)
- Preliminary Design Review (PDR, 2012. február 27-március 3.)
- Critical Design Review (CDR, 2012. május 24-25.)
- Integration Progress Review (IPR, 2012. augusztus 1.)
- Experiment Acceptance Review (EAR, 2012. szeptember 6.)
- Launch Campaign (2012. szeptember 20-30.)
- Experiment Result Symposium (2013. június)

A program során az elektronikai, mechanikai, biológiai és adminisztrációs feladatok végrehajtása párhuzamosan zajlott a csoporttagok között kiosztott időrend alapján.

A munka első szakaszában (Selection Workshop – Preliminary Design Review) az előzetes terveket készítettük el, a következő szakaszban pedig véglegesítettük ezeket az elgondolásokat, és megkezdtük az alkatrészek megrendelését és tesztelését. Ebben az időszakban vehettünk részt a PDR-ral egybekötött gyakorlati héten, amelyet a svédországi Kiruna melletti Esrange Űrközpontban tartottak.

Ez gyakorlatilag egy előadássorozat volt, amelyet a három szervező ügynökség szakértői tartottak (DLR, SNSB/SSC és ESA). Az előadások a ballon felengedésével kapcsolatos alapvető tudnivalókat, tudományos elveket, és kísérlettervezési kérdéseket taglalták. Céljuk az volt, hogy a lehető legtöbbet megtudjuk a program háttéréről, és ezen ismeretek segítségével minél hatékonyabbra és biztonságosabbra tudjuk tervezni a kísérletet. Az legfontosabb témák, amelyek felmerültek:

- Biztonság: a szakértők rendkívüli fontosságúnak definiálták a biztonságot. Bár Esrange Svédországnak egy ritkán lakott vidékén fekszik, és a ballon/rakéta landolási „területe” úgy van kijelölve, hogy település még véletlenül se legyen a közelében, mindent el kell követnünk, hogy a kísérlet semmiféleképpen se okozzon kárt másokban.
- Kommunikáció a földi egység és a kísérlet között
- Atmoszférafizika
- Elektronika

- A ballon felengedésének pontos menete, időrendje, tennivalóink és az ezzel kapcsolatos biztonsági szabályzat.

Az elméleti előadásokon kívül két gyakorlati feladatunk is volt: a program médiavisszhangjának növelésére tippeket adó „outreach workshop”, és a kísérlet papírból készült makettjeinek megépítése, melyet a többi csapat makettjeivel együtt felhelyeztünk a gondolákra, hogy teszteljük az esetleges méret- és elhelyezésbeli problémákat a különböző kísérletek között.

A program következő fázisában (PDR-CDR) véglegesítettük a kísérleti tervet, illetve megkezdtük a tudományos cél mérésének validálását; a detektorok és az uracilminták tesztelését, valamint deszkamodellek építését. Közvetlenül a Critical Design előtt a csoport egy tagja pár napos forrasztási kurzuson vehetett részt, ahol az ESA szakértőitől tudta elsajátítani a minőségi forrasztás trükkjeit.

A CDR után kezdtük a kísérleti egységek elkészítését: deszkamodellek építése, tesztelése, majd a nyomtatott áramkörök megtervezése, beültetése és tesztelése, kábelek elkészítése. Ez a fázis felölelte a két utolsó felülvizsgálatot is, az IPR-t és az EAR-t, melyekre a ballon felengedése előtti egy hónapban került sor. Míg a PDR és a CDR esetében a csoport tagjai utaztak el Hollandiába illetve Svédországba, hogy bemutassák a pillanatnyi állapotot, az IPR és az EAR során a program két szakértője jött Budapestre. Így alkalmunk volt megmutatni a méréshekhez használt laboratóriumokat, illetve az elkészült kísérleti egységeket.

Az utolsó fázisban (a Launch Campaign előtt) végeztük el a rendszerteszteket szimulált UV-környezetben, a teljes kísérleti setupot összeállítva. A startra a csoport négy tagja, köztük ezen dolgozat szerzői utaztak ki az Esrange Űrközpontba, ahol a ballon felengedése előtti egyéni (3. sz. melléklet) és szervezett (1. sz. melléklet) funkcionális és interferenciateszteket végeztük el, illetve a földetérés után megkezdtük az adatok elemzését.

A program zárása a 2013. júniusában rendezett kísérleti szimpózium, melynek során a BEXUS-14/15 ciklusban részt vevő csapatok bemutatják kísérleteik tudományos és technikai eredményeit és tanulságait.

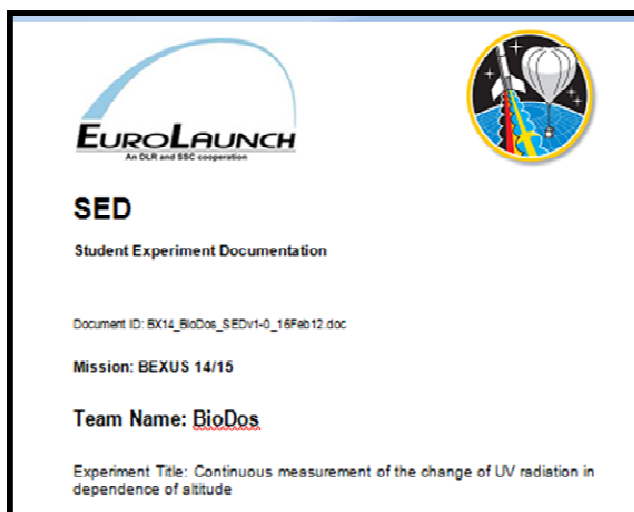
3.2 Student Experiment Documentation (SED) és a mérőföldkövek

A kísérlet felépítéséről és pillanatnyi állásáról folyamatos kommunikáció zajlott a program szervezői és a csoport között. Ennek legfőbb eszköze a Student Experiment Documentation volt (6. ábra), egy folyamatosan bővülő dokumentum, amelyben a kísérlettel kapcsolatos eredményeket, módosításokat és terveket jegyzőkönyvszerűen rögzítenünk kellett. A SED

szerkesztése a csoport folyamatos feladata volt a program során, és a csoporttagok feladatainak megfelelően osztottuk szét a dokumentum fejezeteinek szerkesztését.

A SED felépítése lefedi a kísérlettel kapcsolatos minden területet, úgy, mint:

- általános információk (csapattagok szakterülete, feladatkiosztás; ütemterv)
- a kísérlet tudományos háttere és céljai
- elektronikai, mechanikai, és szoftverfejlesztés; a kísérlet részletes bemutatása



6. ábra -A SED előlapjának részlete

- tervezett és elvégzett tesztek
- a kísérlet működési követelményei és lehetséges kockázatai
- az adatkiértékelés módja és fázisai
- a ballon felengedése előtti visszaszámláláskor elvégzendő teendők

A 3.1-es fejezetben ismertetett felülvizsgálati időpontok előtt a SED

egy-egy újabb verzióját le kellett adnunk a program szervezői felé, akik véleményezték a dokumentumot, és ez alapján döntötték el, hogy a kísérlet megfelelt-e az adott mérföldkö követelményeinek, és továbbhaladhat-e a következő fázisokba.

Ezeket a „review”-kon a BioDos 2-4 tagja képviselte a kísérletet és a csoportot egy 10-15 fős szakértői bizottság előtt. Egy 15 perces előadás után, amely gyakorlatilag a SED összefoglalása volt, másfél órás megbeszélés keretében az illetékes szakértők feltehették a kérdéseiket, illetve kifejtették a véleményüket és ellenvéleményüket a kísérlet megvalósításával kapcsolatosan.. A bizottság tagjai a kísérlet egyes elemeihez tartozó területek szakértői voltak (úgy, mint: szoftver, elektronika, mechanikai és termikus tervezés, adminisztráció és projektszervezés, biztonsági szakemberek, stb.). A felmerülő problémákat és javítanivalókat vagy a csapat egészéhez, vagy azon csapattaghoz intézték, akinek a szakterületéhez az adott kérdés tartozott. Ily módon a teljes SED-et átbeszélték velünk.

A felülvizsgálat után körülbelül egy héttel írásos értékelést is kaptunk a SED egyes fejezeteivel és témaköreivel kapcsolatban. Ezen megjegyzéseket a dokumentum következő verziójában javítanunk kellett. A SED jelenlegi verziója a v4-1, amelyet 2012.december 31-ei határidővel ki kell egészítenünk a kiértékelt mérési adatokkal. Az így keletkező dokumentum,

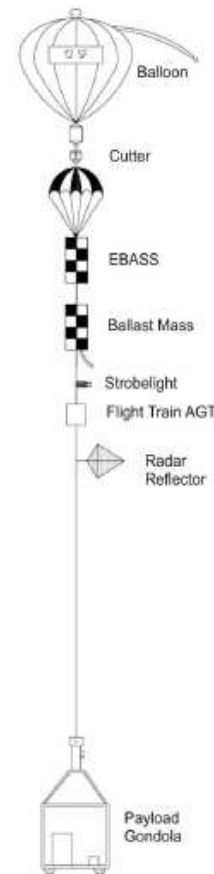
a v5-0 lesz az utolsó verzió, amelyet a 2013. júniusában megrendezett szimpózium előtt le kell adnunk.

3.3 A BEXUS-15 platform

Az egyes hallgatói csoportoknak a kísérlet tervezése során figyelembe kellett venni a BEXUS15 platform sajátosságait, melyről részletes leírás (user manual) volt elérhető a BEXUS program hivatalos honlapján.

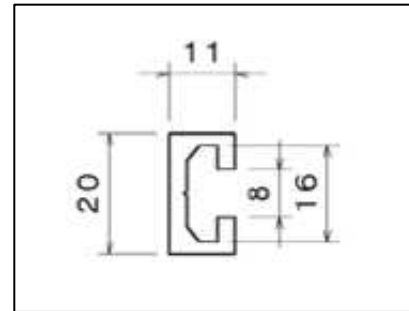
A BEXUS15 felépítése a 7. ábrán látható. A rendszer teljes hossza 75m. A ballont 12000m³ hélium gázzal töltik meg, melynek átmérője 14m. A repülési magasság így 20-30km-re tehető attól függően, hogy mekkora a hasznos teher súlya. A BEXUS15 rendelkezett egy cutter-rel, mellyel a ballon leválasztható a BEXUS15 szolgálati platformjától, így az leereszkedett a föld felszínére, ezzel a misszió befejeződött és megkezdődhetett a BEXUS15 alaprendszer és a kísérletek 15 visszahozása a bázisra. A ballon eleresztésekor azonnal nyílt az ejtőernyő, így a gondola landolási sebessége 8m/s-ra volt megközelítőleg. Az ejtőernyő alatt közvetlenül helyezkedett el az EBASS (Estrange Balloon Service System), amely a későbbiekben még részletezzük. Az EBASS alatt a rendszer működéséhez szükséges, illetve a ballon követését és azonosítását segítő alrendszerek láthatóak. A vertikálisan "felfűzött" szolgálati platform legalján helyezkedett el a gondola, amely a hasznos terhet – beleértve a hallgatói kísérleteket – tartalmazta.

A gondola egy 1,5mX1,5mX1m dimenziójú fémkeret, mely maximálisan 200kg súlyig terhelhető. A gondola a 8. ábrán látható. A gondola alaplemezen elhelyezett hornyok tették lehetővé teszik az egyes kísérletek rögzítését. A párhuzamosan elhelyezkedő hornyok mechanikai paraméterei minden csoport számára elérhetőek voltak. A gondolat egy ponyva vette körül, amely védte a gondola belsejét a környezeti hatásoktól. Minden kísérlethez tartozhat egy 28V/1A (13Ah) tápforrás, melyet a szolgálati rendszer biztosított. Az egyes kísérletek előre meghatározott csatlakozó segítségével tudtak csatlakozni a tápforráshoz, melyet az egyes kísérletek dobozára kellett szerelni. A szervezők pedig lengőcsatlakozó segítségével kapcsolták össze a kísérleteket a tápforrással. A gondola tetején látható az E-Link System helye, melynek feladata, hogy telemetriaadatokat gyűjtsön a BEXUS15



7. ábra
BEXUS15 felépítése

állapotáról, illetve lehetővé tette, hogy a kísérletek a mérési adatokat továbbítani tudják a földi állomás felé (A szervezők csak a kommunikációs csatornát biztosítják a földi állomást minden hallgatói csoportnak egyénileg kell elkészítenie a saját kísérletéhez). Az E-Link System fedélzeti egysége a 9. ábrán látható. A rendszer Standard Ethernet 10/100 Base-T protokollt



8. ábra
BEXUS15 gondola, és a sín mechanikai méretei

biztosított az egyes kísérletek számára. Az Ethernet hálózaton minden kísérlet (és földi állomásnak) előre meghatározott IP címe volt, melyet a koordináló szakértők a CDR után kiosztottak. Az egyes kísérleteknek előre meghatározott, speciális Ethernet csatlakozót kellett



9. ábra
E-Link fedélzeti egység

használniuk, melyet a tápforrás csatlakozójához hasonlóan a kísérlet dobozára kellett szerelni és a rendszer kezelő szakértők egy kábellel ellátott lengőcsatlakozót biztosítottak, amivel a kísérletet a E-Link rendszerhez lehetett kapcsolni. Az E-Link rendszer tartalmazott egy S sávú rádiófrekvenciás adó-vevő egységet, amely 10W kimeneti teljesítménnyel üzemelt, az antennák a gondola alján voltak lelógatva. Az E-Link rendszerhez tartozott egy földi állomás is, amely 1,8m átmérőjű parabola antennával rendelkezett. A rendszer névelegesen 500km távolságból is üzemképes, ha a ballon 30km magasságban van.

Ahogy a korábbiakban olvasható, a BEXUS15 rendelkezik egy EBASS (Esrange Balloon Service System) egységgel, melynek segítségével a ballon irányítható, illetve telemetriaadatokat szolgáltat, így ellenőrizhető a megfelelő működés. A ballon irányítása alatt főként a magasság-szabályozás és a ballon levágása értendő, mivel a ballon vízszintes irányú mozgását leginkább a szélirány és a szél sebessége határozza meg. Ezért a ballon felbocsátása (launch) sem egy hetekkel előre meghatározott időpont, mert az időjárási viszonyokat is figyelembe kell venni. A ballon indítása előtt a szakértők megbeszéléseket tartanak, és ha alkalmasnak találják az időjárást, akkor 4 órás visszaszámlálás után bocsájtják fel a ballont. Az EBASS rendszer a 10. ábrán



10. ábra
EBASS fedélzeti egység

látható. Az E-Link rendszerhez hasonlóan az EBASS is rendelkezik fedélzeti adó-vevő egységgel, illetve földi állomással, amelyek a 400MHz-es sávban kommunikáltak egymással[5].

3.4 Tervezési tanácsok

A ballonfedélzeti kísérlet tervezésekor több szempontot is figyelembe kell venni. Ahogy a ballon emelkedik, a levegő sűrűsége csökken, így a környezet egyre jobban hasonlít a vákuumhoz. Ennek egyik következménye, hogy az egyes alkatrészek nem képesek hőszállítással leadni a hőt a környezetnek, csak hővezetéssel. A hősugárzás hatása szintén elhanyagolható, mivel az alkatrészek megfelelő működési tartományban alacsony hőmérsékletűek. A tervezés során ügyelni kell arra, hogy egyik alkatrész se melegedjen túl. Ennek egyik megoldása, hogy az alkatrészeket kisebb teljesítményen üzemeltetjük, mint amennyi az adatlapban specifikálva van, illetve megfelelő hővezető rétegekkel biztosítjuk a hő elvezetését. A ballon emelkedésekor a levegő hőmérséklete fokozatosan csökken, extrém esetben a -90°C -ot is elérheti. Ezért az áramkörök tervezésekor figyelembe kell venni ezt az extrém környezetet, gondoskodni kell az elektronikai részegységek fűtéséről, illetve hőkamrában tesztelni működésüket. Gondot okozhat az is, ha a ballon felhőrétegen keresztül hatol át, mivel nedvesség kerülhet az elektronikába, és a felsőbb rétegekbe érve jégkristályok alakulnak ki, amelyek zavarhatják a mérést, illetve hő hatására a jégkristályok megolvadnak és zárlatot okozhatnak. A konstrukciónál figyelembe kell venni, hogy a gondolat akár -10g

vertikális gyorsulás érheti földet éréskor, illetve $\pm 5g$ a misszió során az esetleges szellőkések miatt. A rádiófrekvenciás csatornák közül az EBASS és az E-Link által használt csatornák tiltva vannak, ezen kívül bármelyik csatorna használható, de a rádiófrekvenciás adó-vevővel ellátott kísérletek speciális teszteknek vetik alá a szakértők, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy valóban nem zavarja a kísérlet a saját rendszerük csatornáit.

A kísérletet javasolt több tesztnek is alávetni, ami szimulálja a ballon környezetét, mint például vákuumkamra (0,5mbar alatt), hőkamra (-80°C -ig, de legalább -40°C), mechanikai teszteknek, illetve érdemes a misszió idejéig tartó teljes rendszertesztet végezni az egész kísérleten, hogy az esetleges hiányosságok, hibák felszínre kerüljenek. Ahol lehetséges egyszerű, könnyen beszerezhető alkatrészek alkalmazása javasolt. A kísérletet célszerű méretben és tömegben minimalizálni, de ahol lehet, ajánlott redundancia beépítése a rendszerbe. Ügyelni kell a biztonságra is! Ha például a kísérlet veszélyes eszközöket tartalmaz (pl.: nagyfeszültség, mozgó alkatrész....stb) akkor ezt fel kell tüntetni a SED-ben, hogy a koordináló szakértők tisztában legyenek a kockázattal[5].

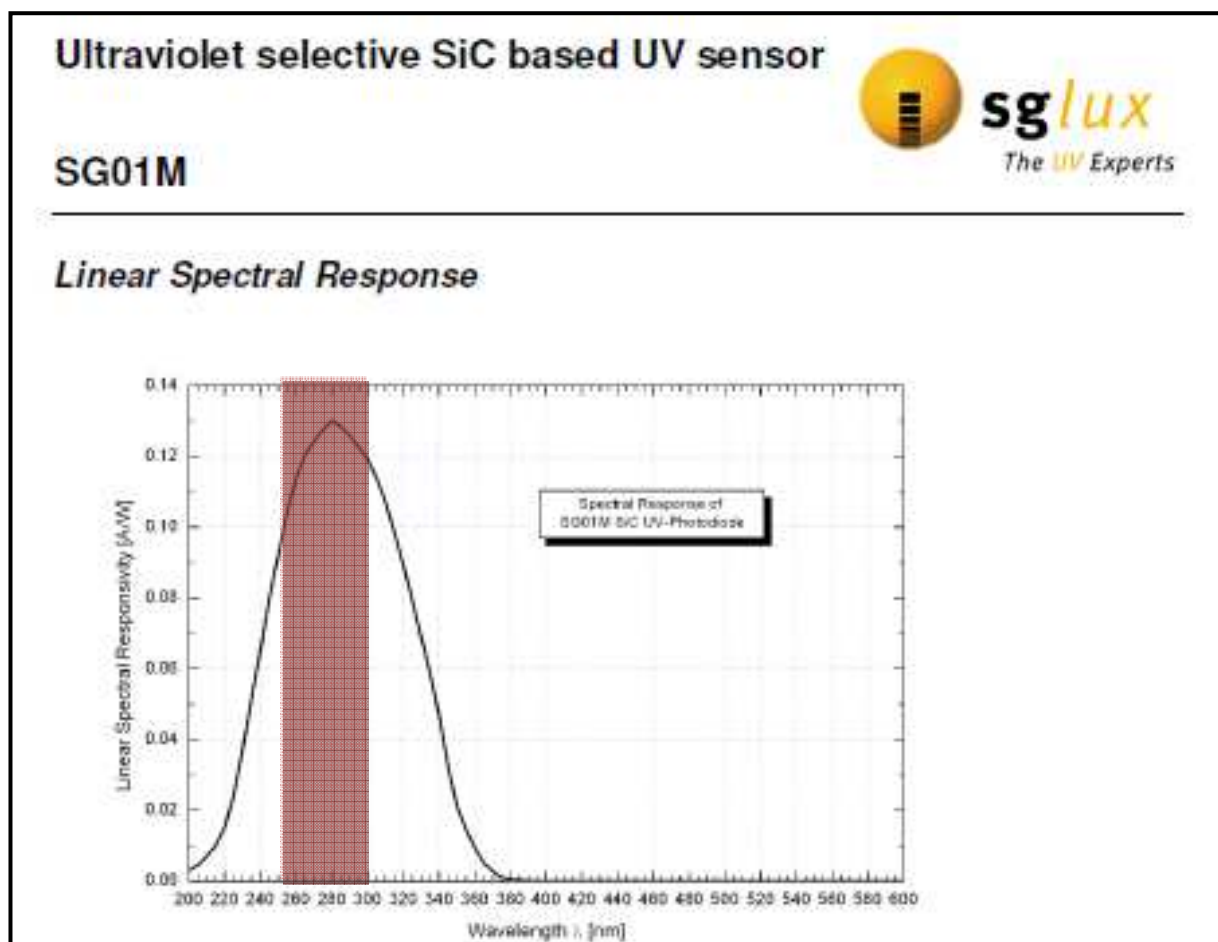
4. Detektorok

4.1 Elektronikai detektorok választása és kalibrációja

A kísérleti setup a 2.2 fejezetben leírtaknak megfelelően UV-tartományú sugárzás mérésére alkalmas detektorokat igényelt. A biológiai minták abszorbanciájának változása a 250-300nm hullámhossz-tartományban domináns, így a ballon repülési időtartama alatt változó sugárzás-intenzitás monitorozására olyan fotodetektorokat használtunk, amelyek mérési tartománya lefedi a vizsgálni kívánt sávot.

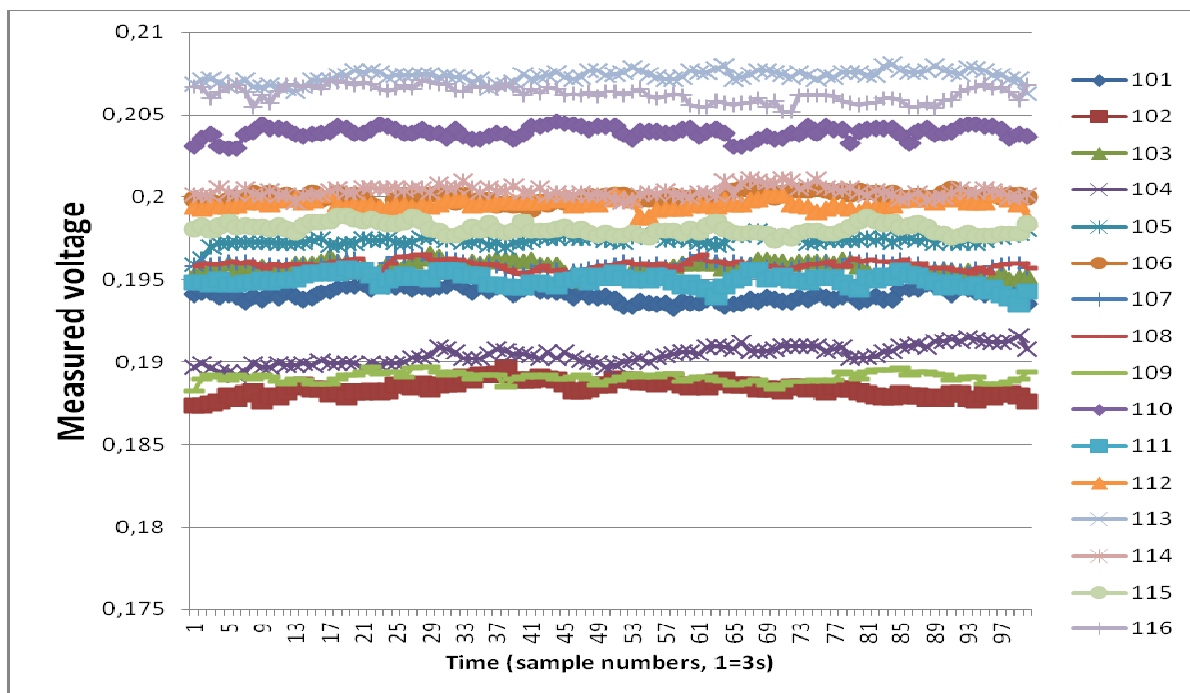
A választott detektor az *Sglux* SG01M szélessávú szilícium-karbid fotodióda, amely UVA/UVB/UVC tartományban érzékeny, ám az elektromágneses sugárzás további komponenseire, így a látható fényre nem reagál. A 11. ábrán látható, hogy a detektor érzékenysége maximuma éppen az uracil karakterisztikus abszorbanciájának hullámhossz-tartományába esik (az ábrán vörös sávval jelezve). Így a minta mögött mért UV-intenzitás változása elsődlegesen az uracil abszorbancia-változásához köthető.

A detektorok kalibrációjához a fotodiódákat uracil vékonyréteg nélküli mintatartókba

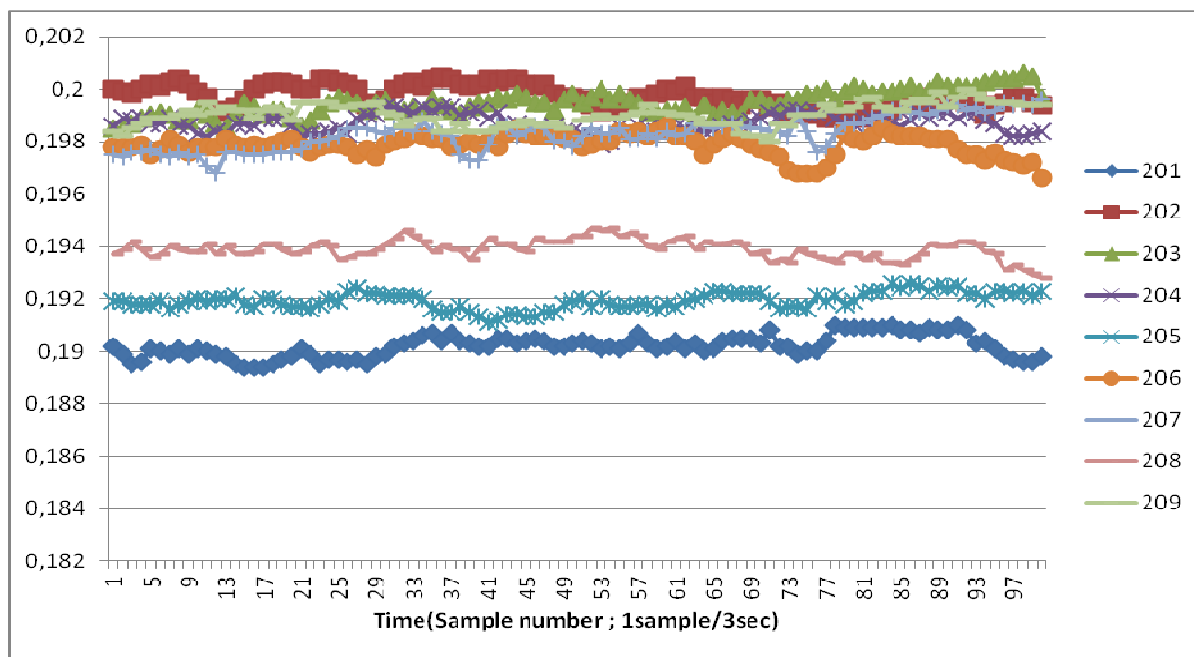


11. ábra
Az UV fotodióda detektor spektrális érzékenysége.

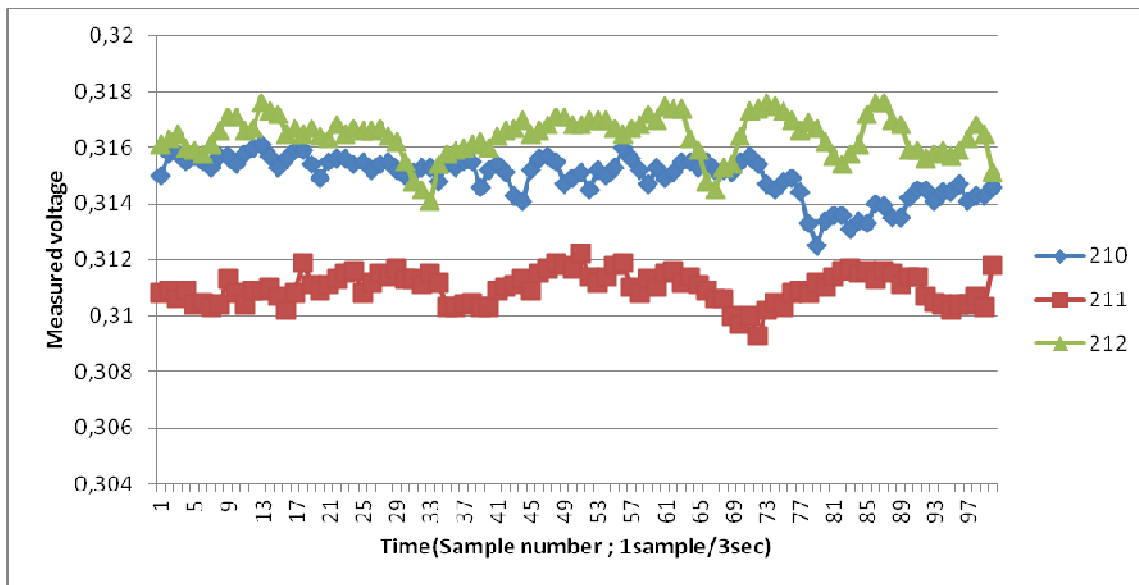
helyeztük, és UV-sugárforrással szembe helyezve lemértük a kimeneti jelet. A mérés eredménye a 12-14. ábrákon látható. A mintatartókat és a detektorokat két, tizenhat rekeszes dobozban tároltuk, ezért a detektorokhoz rendelt azonosító számok 101-116ig, illetve 201-212ig terjednek (nem szereltünk detektort minden mintatartóba). A 12-13. és a 14. ábra detektorai különböző szállítmányokból származnak, innen származik az eltérő referencijel.



12. ábra
A fotodióda detektorok kalibrációs görbéi



13. ábra
A fotodióda detektorok kalibrációs görbéi



14. ábra
A fotodióda detektorok kalibrációs görbéi

4.2 Uracil detektorok gyártása és kalibrációja

A mérésekhez használt uracilminták gyakorlatilag egy apró kvarc lapkára felpárolgatott polikristályos uracilréteget jelentenek, amelyet egy műanyag „záró”gyűrű és egy másik, tiszta kvarckorong kíséretében fém mintatartóba zárunk. Az X. ábrán a mintatartó elemei láthatók:

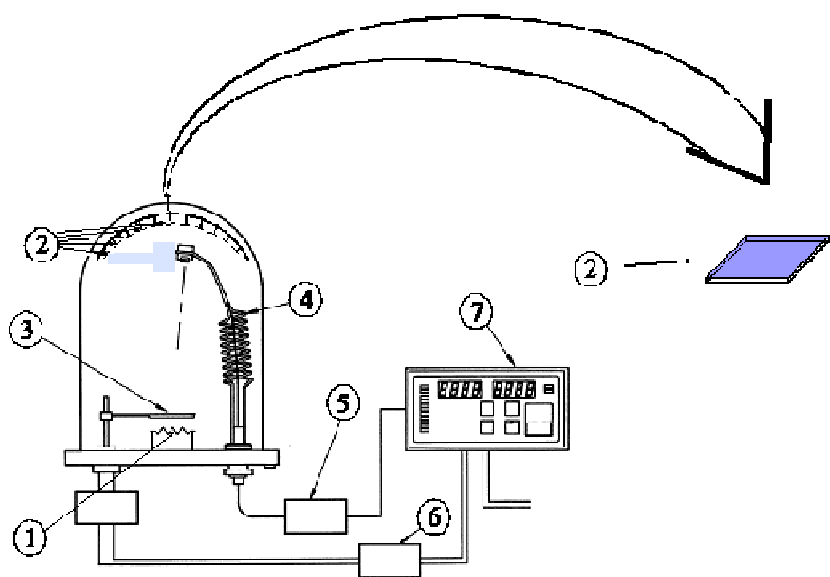
- összeszerelt mintatartó
- kvarcüveg ablak
- zárógyűrű
- a mintatartó „felső” része, ez néz a sugárforrás felé
- a mintatartó alsó része, amely a detektor felé néz

A teljes elrendezés tartalmaz még egy szűkítőelemet is, amely a SiC detektort pozícionálja a mintatartó közepére.

A passzív detektorként funkcionáló uracil vékonyrétegeket vákuumpárolgató használatával vittük fel a kvarcüveg hordozóra (x5. ábra). A hordozó anyagának jelentősége, hogy a közönséges üveggel ellentétben, amely az UV sugárzás nagy részét kiszűri, a kvarcüveg az UV-tartomány egészében átlátszó. A mintakészítéshez a párolgatóban 10^{-6} bar vákuumot hozunk létre, amelyben az uracil (3) 180°C -ra hevítve (1) elpárolog, és a párolgató felső részén található, folyamatosan forgó mintatartóba fogott kvarclemezekre (2) tapad. A vákuumpárolgató része egy beépített rétegvastagság-ellenőrző egység (4, 5, 7), amely az előre beállított rétegvastagság elérése után leállítja fűtést és a készüléket



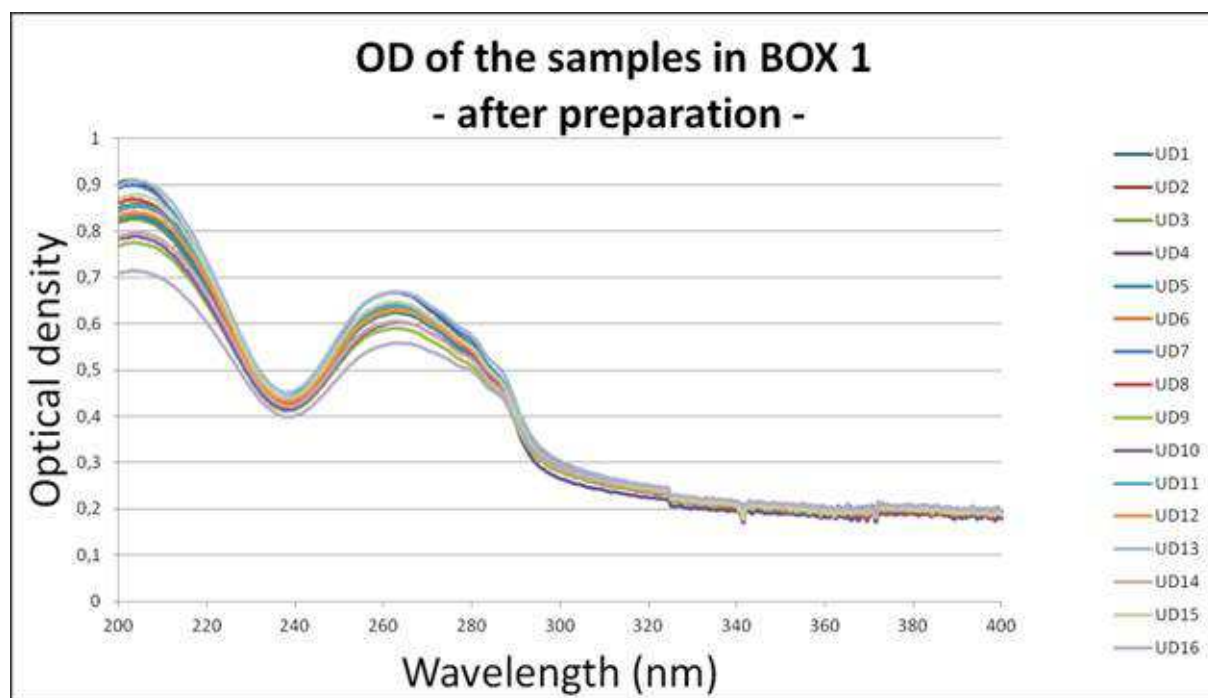
15. ábra A mintatartó elemei



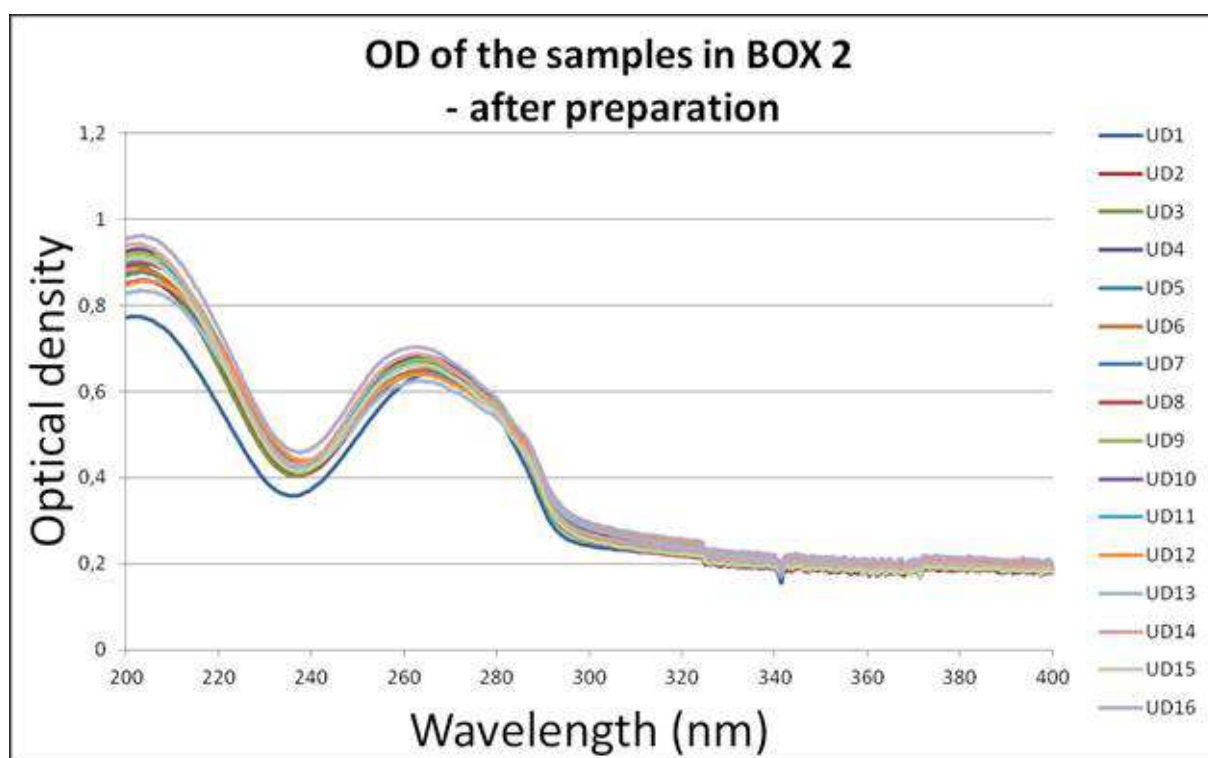
16. ábra
Vákuumpárologtató műszer

.A minták elkészülte után minőségük ellenőrzése volt a következő lépés, amely gyakorlatilag a rétegvastagság megfelelőségének ellenőrzését jelenti. A vákuumpárologtató csupán körülbelüli vastagság-értéket mutat, így a minta alkalmasságának bizonyításához spektrofotometriai mérés szükséges. Gyakorlati tapasztalatok alapján megállapítottuk, hogy a tervezett biodozimetriai mérésekhez megfelelő vastagságú uracil vékonyréteg átlagosan

0,6-0,7-es kezdő abszorbananciával rendelkezik a karakterisztikus, tehát a 250-300nm közötti tartományban. A 32 db elkészült minta kezdeti optikai denzitásait mutatja az 17. és 18. ábra.



17. ábra
Az első 16 minta kezdeti optikai denzitása



18. ábra
A második 16 minta kezdeti optikai denzitása

Az ábrákból látszik, hogy a legyártott minták kezdeti optikai denzitása a kívánt tartományban van, így a 32 uracil vékonyréteg felhasználható volt a kísérlet céljaira.

A mintavastagság ellenőrzése után egy tesztmérést is elvégeztünk, egy, a ballon repülési körülményeit szimuláló UV-környezetbe helyezett uracilmintával, hogy ki lehessen deríteni, a 68. szélességi fokon, ősszel, 25 km magasságban milyen abszorbancia-változás várható az uracilokban. Az UV-sugárzás várható mértékét a csoport biofizikus szakértői számolták ki a Green-modell segítségével.

4.3 Elektronikai és uracil detektorok együttes kalibrációja

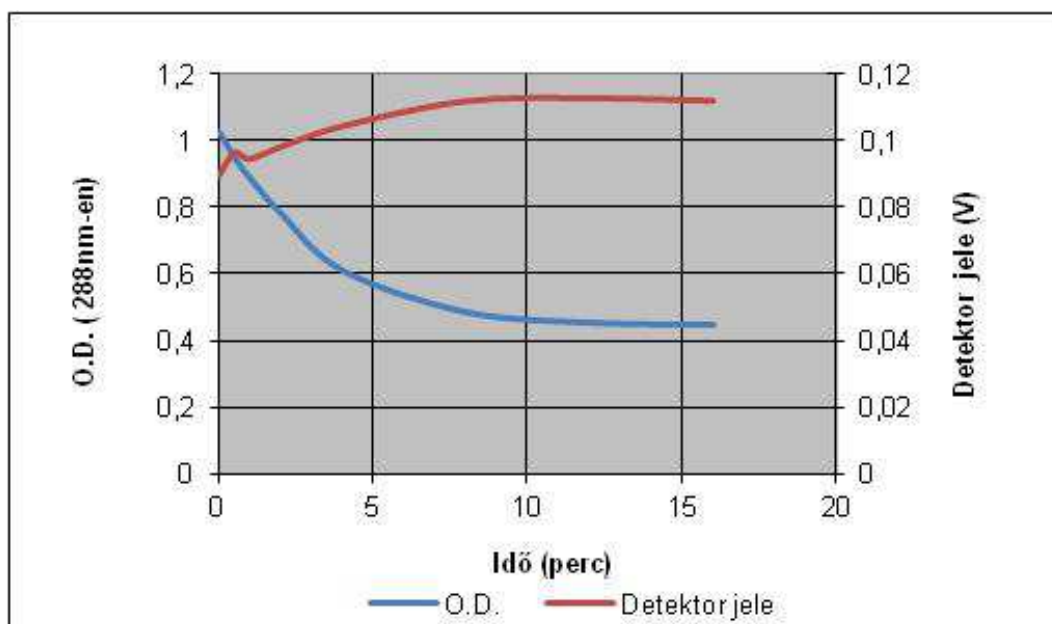
A 4.1 és 4.2 fejezetben megállapítottuk, hogy az elektronikai detektorok és az uracil detektorok külön-külön működőképesek, ám a ballonkísérlet sikerességéhez és a repülés utáni adatkiértékeléshez szükséges volt megállapítani a fotodetektorok jele és az uracilminták abszorbanciája közötti korrelációt.

A mérést a Semmelweis Egyetem besugárzó laboratóriumában végeztük el, sugárforrásként egy UV tartományban is működő speciális lámpa segítségével. Az összeszerelt mintatartó egységet, amely már tartalmazott uracil réteget és fotodiódát, a lámpa elé helyezve az x. ábrán látható időközönként és időtartamig sugároztuk be. A kiszabott besugárzási idő után a detektor kimeneti jelét regisztráltuk, az uracilminta abszorbanciáját pedig spektrofotométerrel lemértük. A kiértékeléshez használt hullámhossz 288nm volt. Az x. ábrán láthatóak a 16 perces besugárzás táblázatba rendezett adatsorai.

Besugárzási idő (min)	Besugárzás időtartama (perc)	Uracil abszorbanciája	Detektor jele (V)
0	0	1,024	0,0898
0,5	0,5	0,948	0,0964
1	0,5	0,886	0,0947
2	1	0,781	0,0982
4	2	0,609	0,1043
8	4	0,485	0,1117
12	4	0,453	0,1126
16	4	0,447	0,1118

2. táblázat – A kalibrációs mérés eredménye

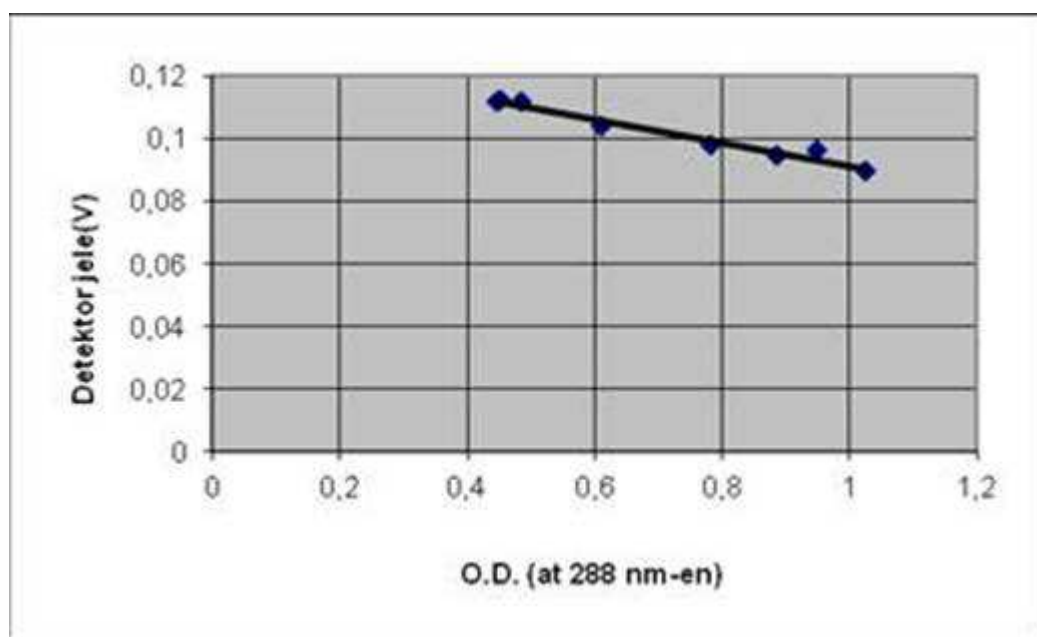
Az adatokat grafikusán megjelenítve kapjuk az 19. ábrát.



19. ábra

A SiC dióda jelének és a minta abszorbanációjának változása az idővel (besugárzott dózissal)

A 20. ábrán látható az is, hogy a fotodióda detektor jele és a minta abszorbanáciája közti korreláció megfelelő a tervezett mérések elvégzéséhez.



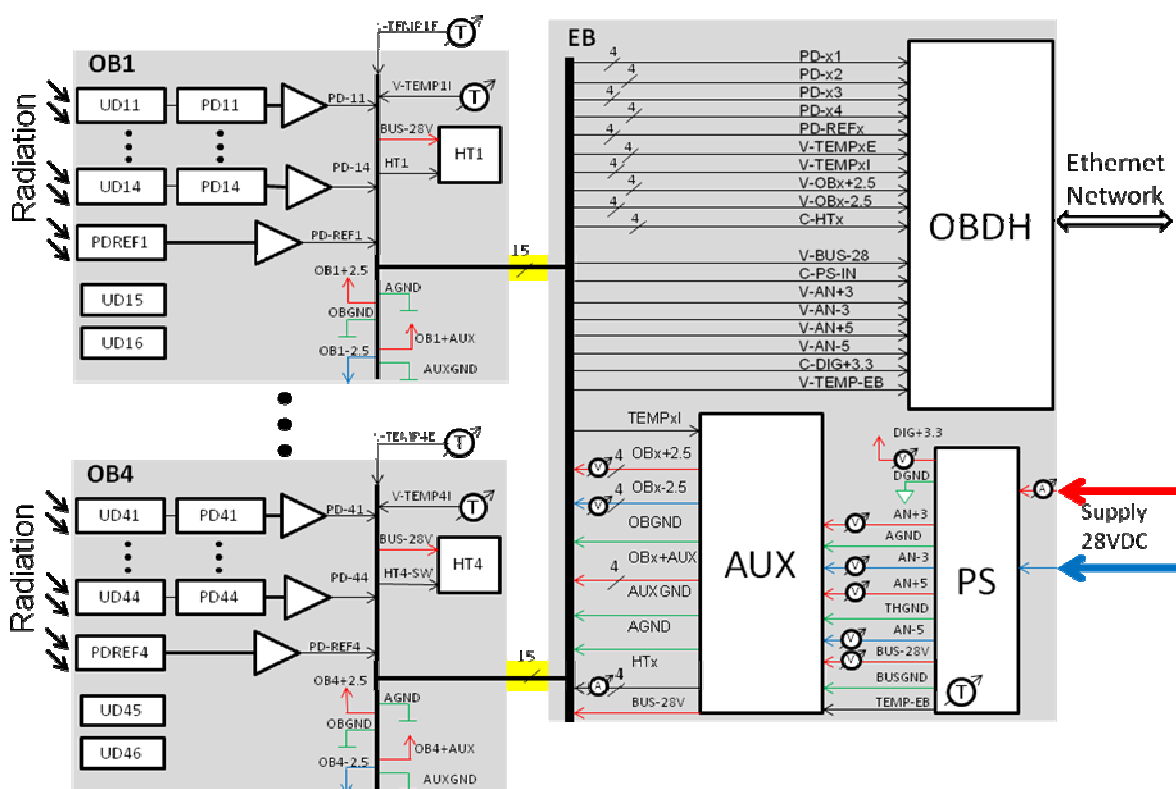
20. ábra

Az OD-detektorjel korreláció grafikus megjelenítése

5. Elektronika és konstrukció

5.1 A rendszer felépítése

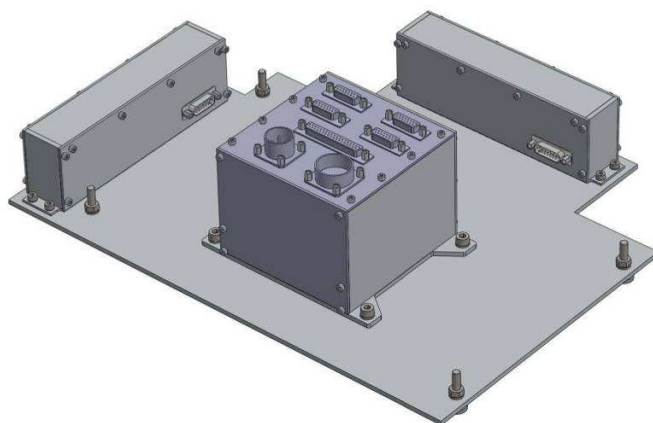
A kísérlet blokkvázlata a 21. ábrán látható. A kísérlet 5 dobozból épül fel: 4 optikai doboz (Optical Box – OB) és 1 elektronika doboz (Electrical Box – EB).



21. ábra
Bidos rendszerterve

A 4 optikai doboz felépítése teljesen egyforma. Minden optikai doboz tartalmaz 6 uracil detektort (Uracil detector – UD) és 5 fotodióda detektort (Photodiode detector – PD). A 6 uracil detektor közül 2 úgynevezett sötét minta, melyek nem kaptak besugárzást, így referenciaként használhatóak, amikor a besugárzott uracil detektorok bemérése történik. A 4 besugárzott uracil detektor mögött 1-1 fotodióda detektor méri az UV sugárzást, amely az uracil detektor OD értékétől függ. Az ötödik fotodióda detektor előtt nincs uracil detektor, így a csillapítatlan UV sugárzást méri, amely lehetővé teszi, hogy referenciaként használjuk fel az uracil detektorok mögött levő fotodióda detektorokhoz. Minden optikai doboz rendelkezik fűtéssel és hőszigeteléssel. Erre azért volt szükség, mert a „BEXUS14/15 user manual” szerint a külső hőmérséklet akár -90°C-ig is lecsökkenhet. Mivel az optikai dobozokban csak nagyon kis teljesítményű áramkörök vannak, ezért előfordulhat, hogy a doboz hőmérséklete

lecsökken -60°C fok alá, ahol az elektronika már nem tud megbízhatóan működni, illetve az uracil detektorok is károsodhatnak, mivel a hőszigetelő rétegen a detektorok előtt ablakot kellett nyitni.



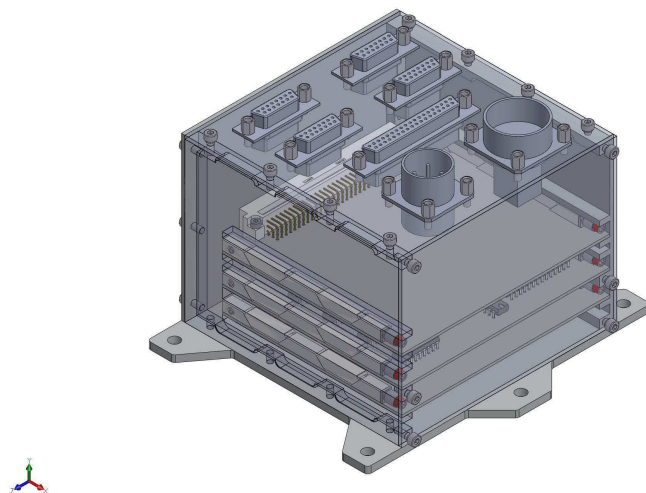
22. ábra

Biodos kísérlet – egyik alaplemez, 2 optikai doboz és az elektronika doboz

Az elektronika doboz tartalmazza a fedélzeti adatgyűjtőt (OnBoard Data Handler – OBDH), a tápegységet (Power Supply – PS) és az energiaszétosztásért, hőmérsékletszabályozásért, illetve a bejövő vonalak szűréséért felelős segédáramköröket (Auxiliary – AUX). Az elektronika doboz nem rendelkezik hőszigeteléssel és fűtőáramkört sem tartalmaz. A ballon repülési magasságában már elég kicsi a levegő sűrűsége ahhoz, hogy a hőszállítást, mint hőátadási módot elhanyagoljuk, a hő leginkább hővezetéssel terjed az egyes egységeken belül, az alaplemez irányába. Ez a feltételezés a misszió során beigazolódott.

Az egyes kísérleteket a gondolán levő párhuzamos hornyokba illesztett kalapács fejű csavarokkal lehetett felszerelni (lásd 3.3. fejezet). A párhuzamos hornyok nagy távolsága miatt, valamint mivel a több kis dobozt egy mechanikai egységként könnyebb kezelni alkalmaztunk egy alaplemezt (Base Plate – BP), amely lehetővé tette, hogy a rászert dobozokkal együtt rögzítsük. Mivel az optikai dobozok detektorait 4 irányba kellett beállítani, ezért 2 alaplemez készült, melyek közül az egyiken 2 optikai dobozon kívül az elektronika doboz is helyet kapott.. A 2 alaplemez a gondola 2, egymással szemben lévő sarkában kapott helyet úgy hogy a dobozok 4 irányba nézzenek. Az optikai dobozok 15 eres kábellel csatlakoztak az elektronikadobozhoz (2. sz. melléklet).

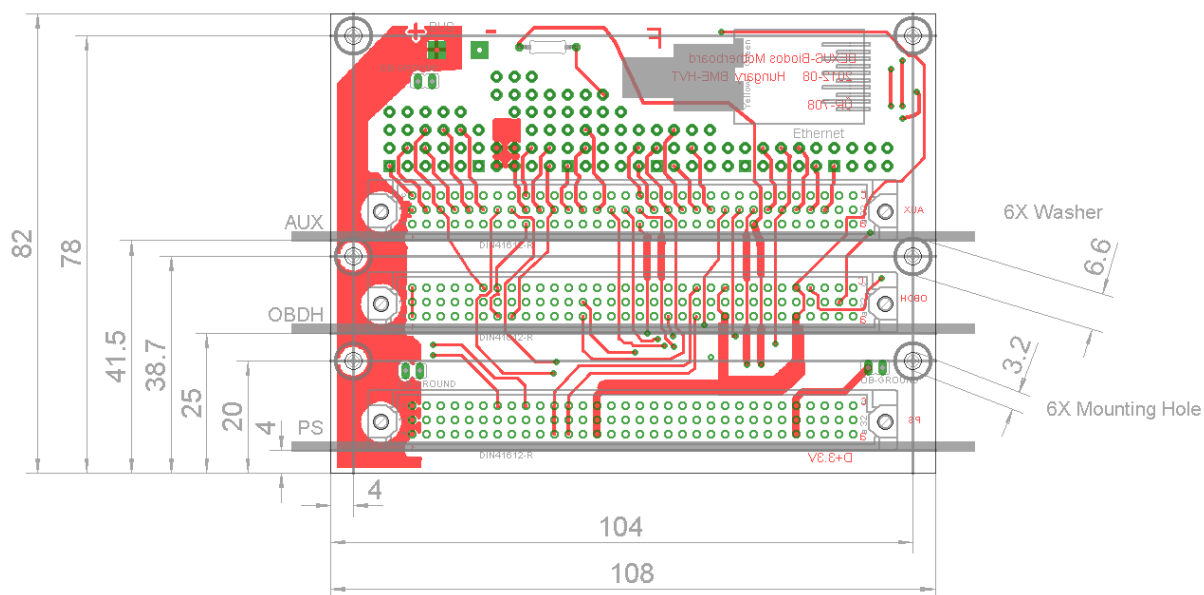
5.2 Az elektronika doboz



23. ábra
Elektronika doboz

Az elektronika doboz (23 ábra) feladatai a központi adatgyűjtés, az energia kezelés és szétosztás voltak. A dobozban 3 kártya kapott helyet: Tápegység (PS), Fedélzeti adatgyűjtő (OBDH), és egy segédáramköröket tartalmazó (AUX) panel.

A 3 kártyát egy motherboard-ba lehetett csatlakoztatni. A motherboard megtervezéskor figyelembe vettük a doboz mechanikai paramétereit, mivel a kártyáknak a konstrukciós tervben előre meghatározott helye volt a dobozon belül. A motherboard nyákterve a 24. ábrán látható. A NYÁK terv a CadSoft EAGLE tervezőrendszerében készült. Nagy figyelmet

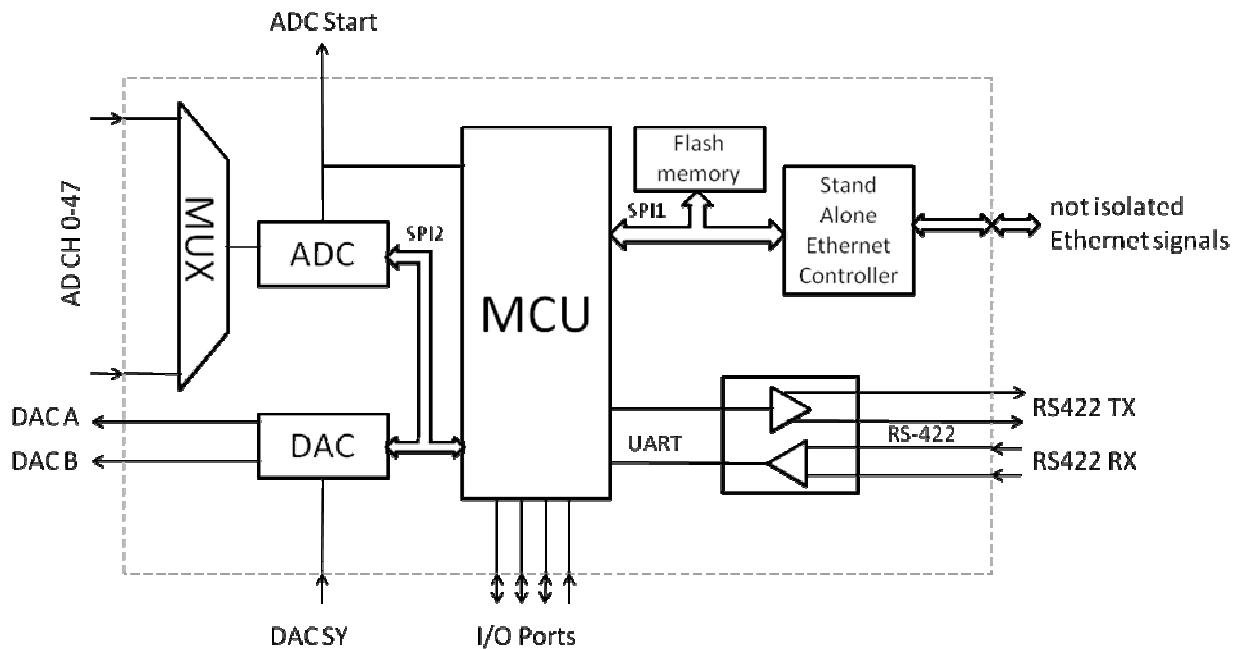


24. ábra
Motherboard nyákterv (részlet)

fordítottunk arra, hogy az egyes alkatrészek és mechanikai rögzítések között megfelelő távolságot hagyjunk, így már a nyáktervben figyelembe vettük a panel rögzítéséhez használt alátétek, illetve az ethernet csatlakozóból (CON15) kilógó RJ45 apa csatlakozó méretét. A NYÁK 4 vezető réteget tartalmaz, a 24. ábrán csak a tápfeszültség rétege látható. A 4 vezető réteg úgy lett kialakítva, hogy a felső 2 layeren főként a detektorok és a telemetriák jelvezetékei helyezkednek el, a 3. layer egy teljes földfólia, és az utolsó layer (a forrasztási oldal) a tápfeszültség layere, ahol a tápfeszültségek mellett a fűtőáramkörök vezetékei kaptak helyet. A tervezéskor ügyeltünk arra, hogy EMI szempontjából megfelelő legyen a vezetékek kialakítása, ezért alkalmaztunk egy teljes földfóliát a jelvezetékek és a tápfeszültség rétegei között, illetve a tápfeszültség rétegen jóval vastagabbak a vezetékek, mint amekkorára – a rajtuk átfolyó áram tekintetében – szükség lett volna. A NYÁK külső rétegei 70 μ m vastag rézfóliával vannak ellátva, amely tovább csökkenti a vezetékek ellenállását. A NYÁK tervben jól látható a 3, egyenként 96 pólusú csatlakozóval rendelkező kártyák helye. A tápfeszültség kártya (PS) a legalsó, mert ez a kártya viszonylag kevés csatlakozási pontot igényel, másrészt a kártyán levő áramkörök viszonylag nagy zajt termelnek (kapcsolóüzemű átalakító), ezért is indokolt, hogy a hasznos jelvezetésektől minél távolabb helyezkedjen el. A NYÁK terv felső részén helyezkedik el egy forrasztási pontokból álló mátrix. Itt találhatóak az elektronika doboz ki és bemeneti jelvezetékei. Ezek a jelek teflon vezetékek segítségével lettek kivezetve az elektronika doboz előlapjára szerelt csatlakozókra. Azért volt szükség teflonvezetésekre, mert az űrkörnyezetben a műanyag szigetelésű kábelek szublimálhatnak, így zavaró részecskék kerülnek más, arra érzékeny mérőeszközre. A legfelső kártya a segédáramköröket tartalmazó (AUX) panel. Ezt a kártyát célszerű volt elhelyezni közel a forrasztási pontokhoz, mivel a jelek jelentős része ezen kártyához tartozott. A középső kártya a fedélzeti adatfeldolgozó (OBDH) egység, amely a későbbiekben részletesen lesz tárgyalva. Minden NYÁK ón-ólom bevonattal ellátva került legyártásra tovább növelve ezáltal a technológia megbízhatóságát.

A tápegység kártyán egy többkimenetű, árammódusú vezérléssel ellátott flyback konverter kapott helyet. A 25. ábrán a tápegység kimeneti fokozata látható. A ± 5 V-os kimenet a hőmérsékletszabályozó-áramkörök tápellátását valósította meg, a ± 3 V-os kimenet a detektorok erősítőjének tápellátására lett felhasználva. Az adatgyűjtő kártya 3,3V, illetve $\pm 2,5$ V tápellátást igényelt. A 3,3V-os kimenet a digitális áramkörök tápfeszültsége. Ezen a vonal 300mA maximális terhelésre lett tervezve, mivel az adatgyűjtő 160mA fogyasztással rendelkezett. Ez volt a tápegység legnagyobb teljesítményű kimenete. A $\pm 2,5$ V az adatgyűjtő analóg áramköreihez szükséges. Itt kihasználtuk a kimenetek galvanikus

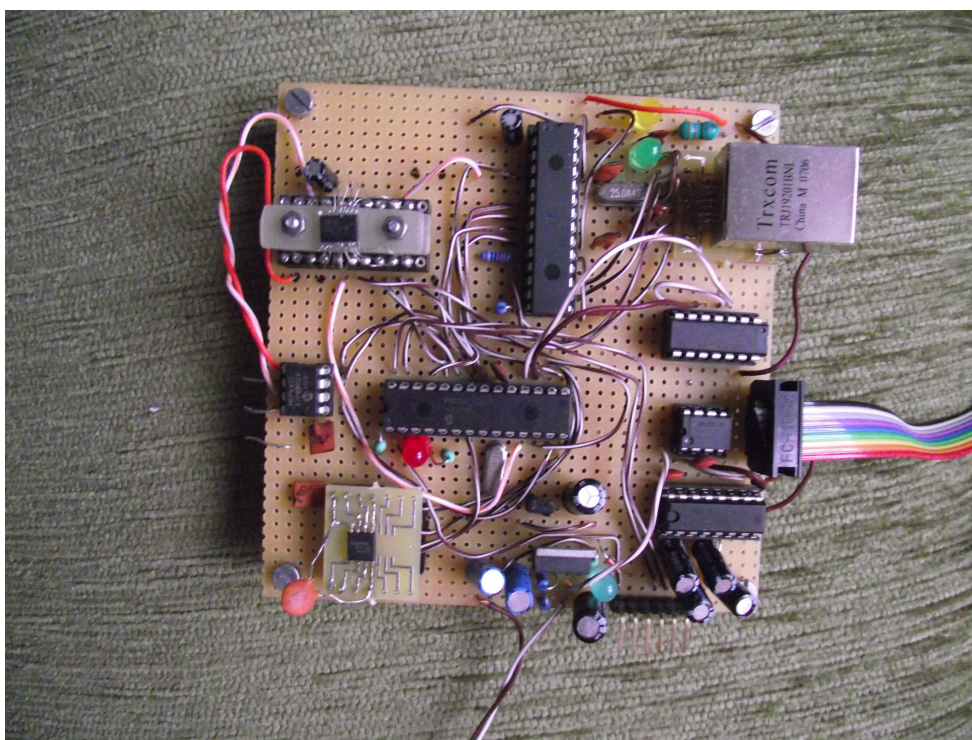
eleme egy 8 bites mikrokontroller a PIC18F mikrokontroller családból. A Bidos kísérletben az adatgyűjtő feladata az volt, hogy az analóg vonalakat mintavételezze, és ezen adatokat Ethernet hálózaton keresztül továbbítsa, illetve egy fedélzeti memóriába tárolja. Azért volt szükség az adatok fedélzeti tárolására és az Ethernet kommunikációra egyaránt, mert egyrészt így a mérési adatok tárolása megbízhatóbbá vált a redundancia miatt. A fedélzeti memóriában továbbá akkor is lehetett tárolni az adatokat, amikor a gondola ereszkedett és a kommunikáció – az antenna láthatóságának hiánya miatt – elveszett. A kommunikáció azért



27. ábra
Adatgyűjtő blokkvázlata

fontos, mert így valós időben lehet követni a kísérlet állapotát, illetve távolról vezérelhető is a kísérlet. A fenti blokkvázlatból a Bidos adatgyűjtője csak az ADC egységet, a hozzátartozó multiplexer-hálózatot, az Ethernet vezérlőt, a Flash memóriát és a mikrokontrollert tartalmazza. A kísérlethez nem szükséges modulok nem kerültek beültetésre, így ezek funkciója nem érhető el. A Bidos adatgyűjtője nem vezérli a magát a kísérletet, csak adatokat gyűjt az egyes alrendszerek állapotáról, illetve a fotodióda detektorok jelét regisztrálja. Távoli vezérlés csak a memória kiolvasását, illetve törlését, valamint az egyes analóg csatornák mintavételi gyakoriságát jelenti. Az adatgyűjtő AD konvertere egy 16 bites delta-sigma típusú átalakító, amely viszonylag lassú mintavételi frekvenciával (2000 minta/másodperc maximum) rendelkezik, de a Bidos kísérlet a biológiai folyamatok lassúságamiatt nem is igényel gyorsabb mintavételezést. A delta-sigma AD konverter bemenetén a jel mintavételezése gyorsabban történik, mint ahogyan a kimenetén szolgáltatja, ugyanis beépített, digitális FIR szűrők gondoskodnak a nagyfrekvenciás zaj csökkentéséről.

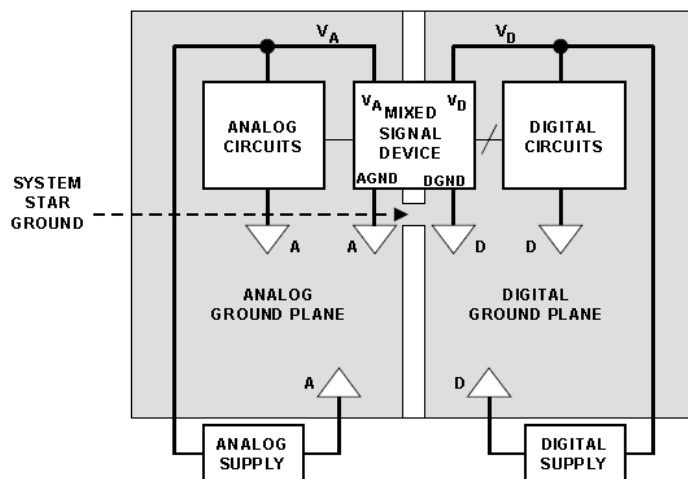
Az AD konverter a mérési adatokat SPI buszon szolgáltatja a mikrokontroller felé. A fedélzeti memória egy 32Mbit méretű flash memória, amely a mérési adatok tárolására alkalmas. Az Ethernet kommunikációhoz a Microchip ENC28J60 típusú Ethernet vezérlőjét alkalmaztuk. Ehhez az eszközhöz a Microchip kiadott egy TCP/IP Stack nevű függvénykönyvtárat, melyben az Ethernet vezérlőhöz szükséges szoftver rutin rendelkezésre állnak. Az Ethernet hálózaton egymástól galvanikusan független eszközök vannak, ezért minden eszköznél gondoskodni kell a galvanikus leválasztásról. Mivel léteznek olyan RJ45 -ös csatlakozót fogadó csatlakozók, melyek beépített illesztőtranszformátorral rendelkeznek, ezért az adatgyűjtő kártya mellé egy ilyen csatlakozó beiktatása szükséges. A Biosdos kísérletben ez a fajta csatlakozó a motherboard-on van elhelyezve.



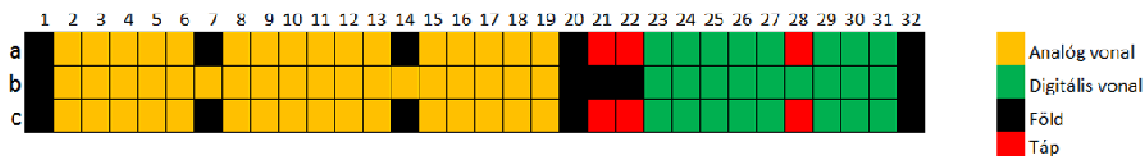
28. ábra
Adatgyűjtő deszkamodellje

Az adatgyűjtő kártyának felépítettük egy deszkamodelljét, amely a 28. ábrán látható. Az áramkör funkcionális működésének helyességét ezen a modellen ellenőriztem. A deszkamodell tesztelése során a flash memóriával voltak problémák, mivel bizonyos gyakorisággal a beírt adatok megsérültek. Ennek oka a flash memória tápfeszültség szűrésében keresendő, mivel íráskor a flash memória egy viszonylag nagy, impulzusáramot vesz fel, így ezt a nyáktervezés során már figyelembe tudtam venni. Mikor a deszkamodell minden egysége működőképes volt, véglegesítettük a kapcsolási rajzot és elkezdtuk elkészíteni az adatgyűjtő nyáktervét. A deszkamodell nem tartalmazza az AD konverter előtti

analóg multiplexerhálózatot. Az analóg multiplexerhálózat 48 csatornából áll, melyet 6 darab 8 csatornás multiplexer alkotott. A multiplexerhálózatot úgy kellett megterveznünk, hogy az analóg oldalon képes legyen kapcsolni a $\pm 2,5\text{V}$ analóg jelet, de vezérelhető legyen a $+3,3\text{V}$ -os digitális tápfeszültségről. Minden integrált áramkör mellé 10nF illetve 100nF kerámiakondenzátoros szűrést alkalmaztunk, az analóg áramkörök esetén még $100\mu\text{H}$ induktivitást is sorba kötöttünk a tápfeszültség bemenetükkel, így csökkentve a digitális oldal felől érkező zaj szintjét. Az nyák tervezésénél igyekeztük követni a 29. ábrán látható sémát.

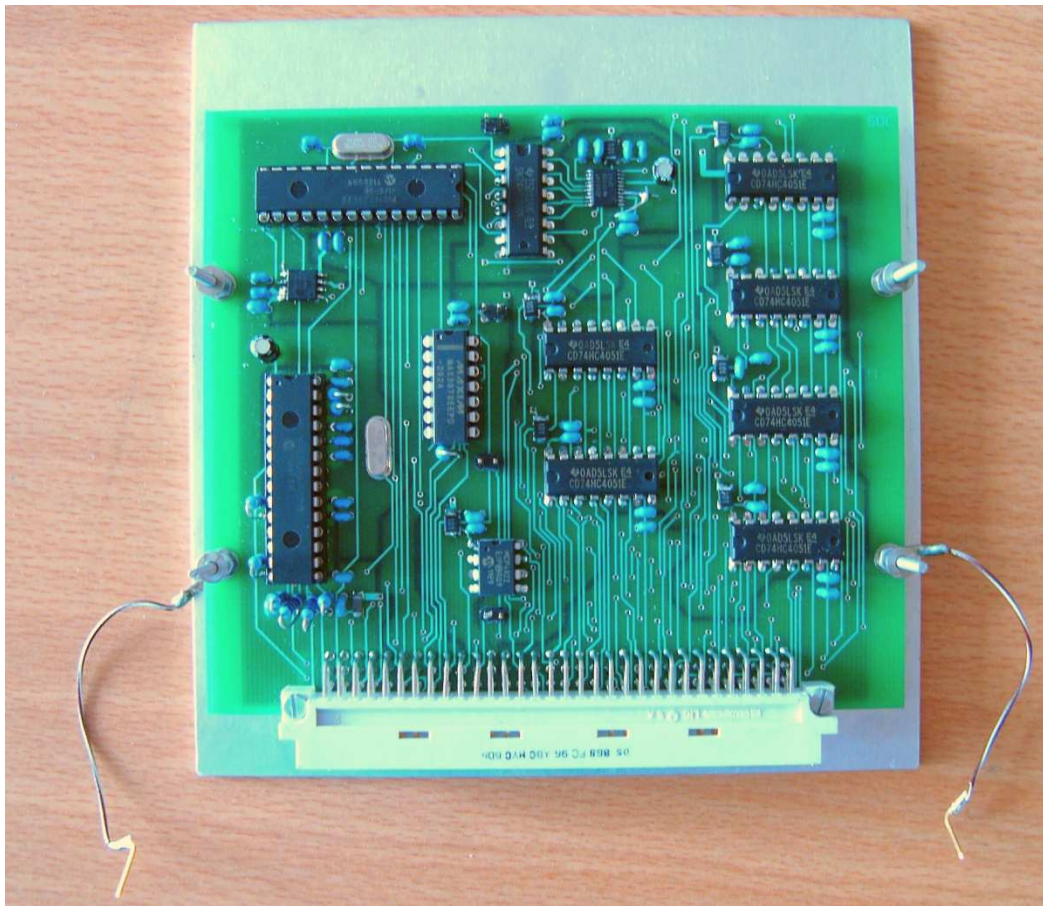


29. ábra
Földelés kialakítása



30. ábra
Adatgyűjtő csatlakozója és kiosztása

Ahogy korábban említettem a digitális és analóg áramkörök tápfeszültsége a tápegység oldalán galvanikusan független, így megvalósítható a fenti struktúra. Az AD analóg és digitális oldalán 1-1 földfelület helyezkedik el[6]. Az adatgyűjtő kártya egy 96 pólusú csatlakozó segítségével csatlakozik a motherboard-hoz. A csatlakozó kiosztása és a csatlakozó a 30. ábrán látható. A panel kialakításához hasonlóan a csatlakozónál is ügyeltünk az analóg és a digitális jelek szétválasztására. Az analóg vonalakat úgy veszi körbe az analóg föld (AGND), mintha a jelek egy árnyékolt kábelben futnának. Az analóg és digitális csatlakozópontok között az egyes tápfeszültségek helyezkednek el. A 31. ábrán az adatgyűjtő mérnöki modellje látható, amely már méretében, illetve elektronikusan megegyezik a repülő példánnyal. Az áramkört 4 rétegű NYÁK-on terveztük: tápfeszültség réteg, földréteg, és 2 jelvezeték réteg, melyek közül utóbbiak a 2 külső réteget alkotják. A mérnöki modellen különböző tesztekét végeztünk laboratóriumi körülmények között, illetve hőkamrában is. A



31. ábra
Adatgyűjtő mérnöki modellje

mérnöki modell alkalmas arra is, hogy a kísérlet fedélzeti szoftverét lehessen tesztelni rajta, amely csak akkor kerül feltöltésre a kísérlet repülő példány adatgyűjtőjébe, amikor a mérnöki modellen már megfelelően működik. Ezen a modellen fejlesztettünk ki egy olyan alapszintű

szoftvert is, amely az egyes perifériákat képes kezelni. Így aki a későbbiekben fel szeretné használni az adatgyűjtő kártyát annak nem kell az alkatrészek szintjéről elindulva felprogramozni az egyes részegységeket, hanem viszonylag magasabb szinten tudja programozni ezáltal a mikrokontrollert. A mikrokontroller szoftverét C nyelven írtuk, fordításhoz a Microchip C18 fordítóját (Lite version, ingyenesen elérhető) használtuk, mert ehhez a Microchip kiadott egy TCP/IP Stack nevű függvénykönyvtárat, amelyben az Ethernet vezérlő rutinjai, illetve a TCP/IP kommunikáció már meg van valósítva. Ezen szoftver mellé még kiadtak egy flash memóriakezelő szoftvert, ami szerencsére kompatibilis az általunk választott flash memóriával, így ezzel is sikerült időt nyernünk fejlesztés során[7]. Az AD konverter vezérlését én valósítottam meg. Amikor a mérnöki modell megfelelően funkcionált, akkor lehetett elkezdeni a végleges, repülőpéldány megvalósítását a Bidos kísérlethez.

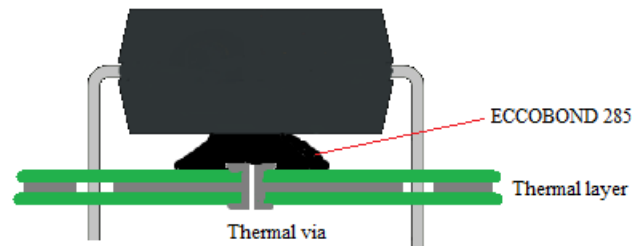
A repülő példány esetén figyelembe kellett vennünk a termikus tervezést szabályait is. Az adatgyűjtő kártya 2 oldalán 6-6 mm szabad részt kellett hagyni a nyáktervben a card lock reatinerek számára (32. ábra). A card lock retainer egy olyan szerkezet, melynek segítségével az elektronikus panel termikusan csatolható a kísérlet dobozának falához. Ez egyrészt segít abban, hogy a panel le tudja adni a rajta keletkező hőt, illetve ha a panel nagyon lehűlne, akkor más panelek által termelt hőt az oldalfal „közbenjárásával” képes átvenni, így a rendszer egyes elemei között nem tud túlságosan nagy hőmérsékletkülönbség kialakulni, közel ekvitermikus állapot jön létre. A card lock retainer másik előnye, hogy a végén található



32. ábra
Card lock retainer

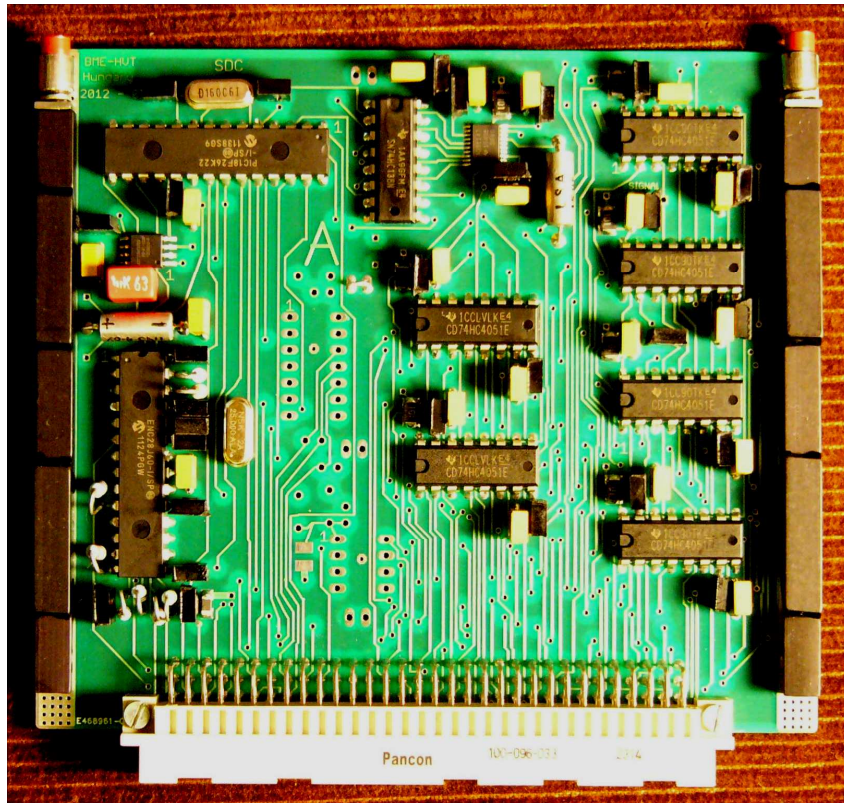
csavar meghúzásával befeszül az oldalfalon kialakított horonyba ezzel rögzítve a panelt a doboz oldalfalához, amivel növekszik a mechanikai stabilitását is. Card lock retainert nem csak az adatgyűjtő kártyánál, hanem a tápegység és az AUX panel esetén is használtunk. Ha egy panel rendelkezik card lock retainer-rel, akkor célszerű a panelen termikus réteget kialakítani, amely gyakorlatban mindig az alkatrész oldal felől nézve az első belső réteg. Ez a réteg nincs galvanikus kapcsolatban az elektronikai áramkörökkel. Termikus rétegre

vákumban azért van szükség, mert a nyák anyagának – ami tipikusan FR4 epoxi – nagyon rossz a hővezetési tényezője, így a card lock retainer nem képes termikus réteg nélkül jó hővezetést biztosítani a panel közepén elhelyezett alkatrészek számára. Az adatgyűjtő kártya esetében termikus szempontból az Ethernet vezérlő IC a legkritikusabb alkatrész. Az Ethernet vezérlő egy 28 kivezetéses SPDIP tokozású IC, amely szélső körülmények között akár 0,8W teljesítményt is képes disszipálni. Mivel ekkora teljesítmény már normál légköri nyomás



33. ábra
ECCOBOND 285 hővezető paszta alkalmazása

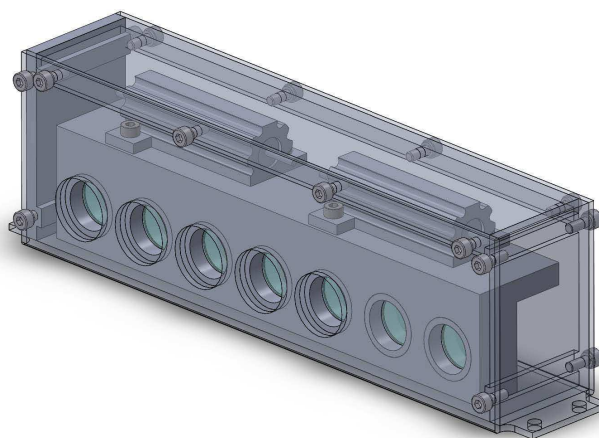
mellett 15-20°C fokkal is megnövelheti az IC tok hőmérsékletét a környezetéhez képest, ezért a ballon repülési magasságában ez az alkatrész akár fel is forrósodhat, csökkentve ezzel az eszköz működésének megbízhatóságát. Az adatgyűjtő panelen a termikus réteg mellett termikus viákat is alkalmaztam a 33. ábrán látható módon. Mivel az IC tokozása és a panel között van valamekkora távolság, ezért a termális viára egy termálisan vezető epoxi pasztát (ECCOBOND 285 típusú) vittünk fel. Ez egy ragasztó állagú termék, amelyhez ha megfelelő mennyiségű térhálósító folyadékot (katalizátor) adunk, akkor a bekeverési időpont után 45-60 perccel megszilárdul és a továbbiakban jó hővezető, illetve elektromosan szigetelő anyagként funkcionál, ami által az IC kisebb termikus ellenálláson keresztül kapcsolódott a hővezető rétehez. Az adatgyűjtő kártya 2 termális réteget is tartalmaz, így összesen 6 rétegű a nyák. Az adatgyűjtő kártya repülő példánya a 34. ábrán látható. A termikus rétegek felvitele mellett a jó minőségű szűrőkondenzátorok alkalmazása különbözteti meg a repülő példányt a mérnöki modelltől. Olyan szűrőkondenzátorokról van szó, melyek képesek széles hőmérséklettartományban megtartani kapacitásértéküket és emellett megfelelő ekvivalens soros ellenállással is rendelkeznek. Megfigyelhető ezeknél a kondenzátoroknál, hogy jóval nagyobb méretben kaphatóak, mint a mérnöki modellben alkalmazott „olcsó” típusok. Elektrolit kondenzátorok közül a hermetikus fémtokozású tantál a legelőnyösebb, mivel elegendően kis ekvivalens soros ellenállással rendelkeznek és a csepptantál kondenzátorokkal ellentétben nem szublimálnak vákuumkörnyezetben. A repülő példány beültetését és bemérését is mi végeztük.



34. ábra
Adatgyűjtő repülő modell

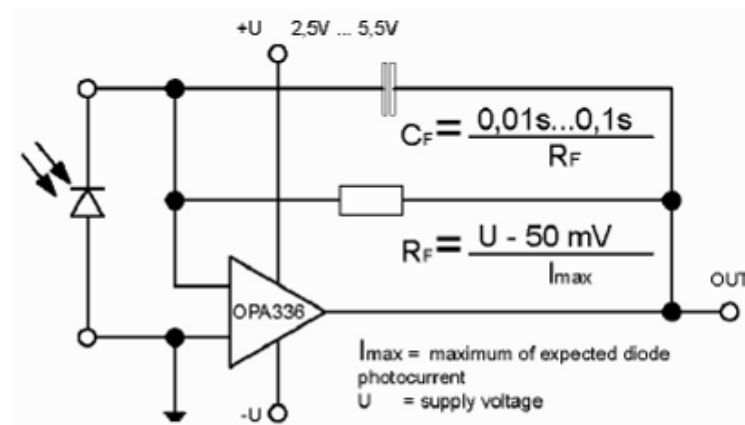
5.3. Optikai doboz

Az optikai doboz a 35. ábrán látható. Mindegyik optikai doboz 6 uracil detektort és 5 fotodióda detektort tartalmaz. A fotodióda detektorok számára a doboz oldalán ablakok vannak nyitva, hogy az UV sugárzás detektálható legyen. Az 5 fotodióda közül 4 előtt uracil detektor is el van helyezve, illetve a dobozban található még 2 uracil detektor, amely úgynevezett vak minta volt, így nem kapott besugárzást. Összesen 5 optikai doboz készült el,



35. ábra
Optikai doboz

így 1 tartalékkal rendelkezünk a kísérlet idején. Minden optikai doboz rendelkezik belső hőszigeteléssel, amely MLI fólia segítségével van kialakítva. Ezért az optikai dobozokba 2 hőmérsékletérzékelő is került, hogy meg lehessen mérni a külső és az MLI fóliával szigetelt belső hőmérsékletet, így tesztelhattuk a hőszigetelés hatékonyságát. A dobozok fűtése nagyteljesítményű ellenállásokkal lett megvalósítva. Az ellenállások nem disszipáltak túlságosan nagy teljesítményt a maximális terhelhetőségükhöz képest, de a nagy méreteik miatt egyenletesebben tudták fűteni a optikai mintatartókat alumínium tömbjét. Minden optikai doboz feketére van eloxálva. Ez azért szükséges, mert az optikai mérésekben fontos, hogy a doboz ne reflektálja a fényt, mert meghamisíthatná a mérést. Minden optikai dobozban található egy nyák, amely tartalmazza a fotodióda detektorok erősítőit és a



36. ábra
Fotodióda detektorok erősítőjének kapcsolási rajza

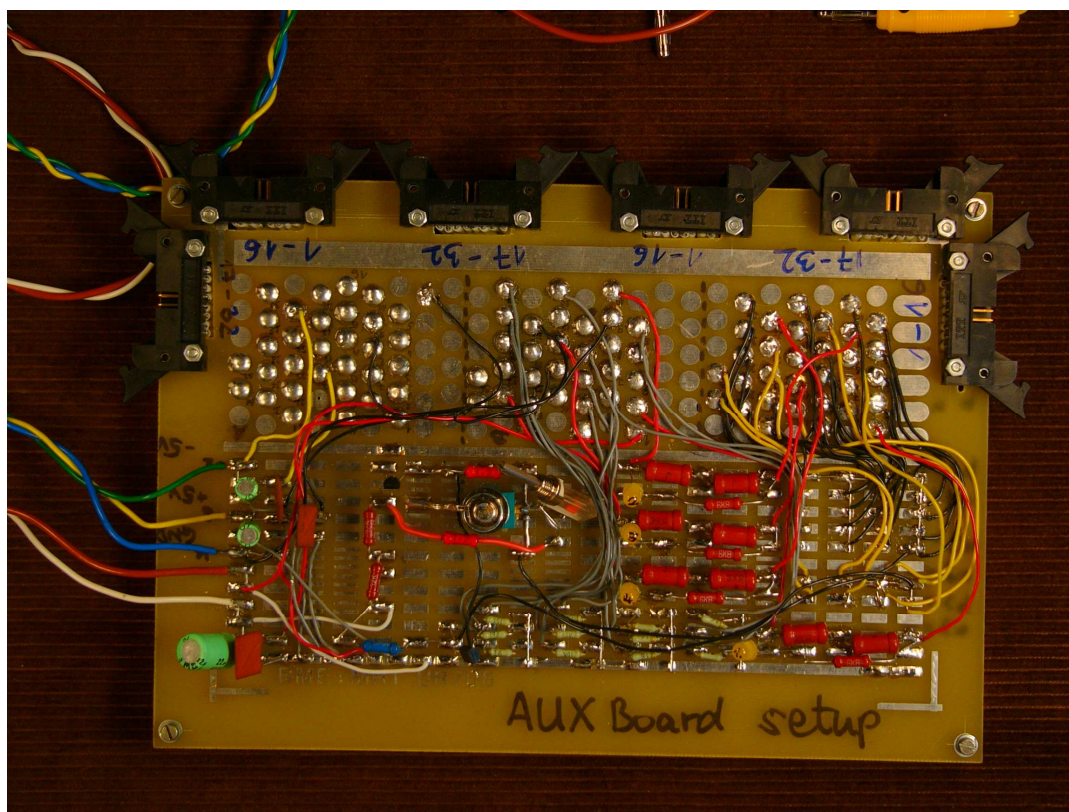
hőmérsékletérzékelő áramköröket. A fotodióda detektorok erősítőjének a kapcsolási rajza a 36. ábrán látható. Az erősítő áramkörök megvalósításához a fotodióda detektor adatlapjában ajánlott, OPA336 típusú műveleti erősítő választottuk ki, mivel ennek bias árama pA nagyságrendű, így a fotodióda árama pontosan mérhető a nA-es tartományban. A kapcsolat előnye, hogy a fotodióda záró feszültségét zérus értéken tartja, így szivárgási áram nem folyik. Ennek egyik következménye, hogy a dióda válaszüzeje fény hatására lassú lesz, mivel linearitása megnő, a zaja pedig lecsökken. Mivel egy viszonylag lassan mozgó ballon fedélzetén szeretnénk a sugárzás szintjét megmérni, illetve a biológiai minták optikai tulajdonságainak változása is nagyságrendekkel kisebb, ezért ez a kapcsolat megfelelő a kísérlethez. Az áramkör kialakításánál ügyeltünk a megfelelő földelés kialakítására is. Az optikai erősítők tápfeszültségeinek földje nem azonos az AD konverter földjével, de az erősítőknek az AD konverter földjéhez képest kell szolgáltatni a fotodiódák jeleit. Ezért a fotodióda detektorok erősítőjének nem invertáló bemenetére – ami egyben a fotodióda anód

pontja – lett bekötve az AGND, hogy az erősítő az AGND-hez képest szabályozza a kimeneti feszültségét. Így az AD konverter földjén csak a fotodiódák árama folyik, amelyek elegendően kicsik ahhoz, hogy számottevő zajfeszültségek ne lépjenek fel az AD konverter földjén. Ez főként azért fontos, mert az optikai dobozok közül 2 doboz a gondola ellentétes sarkában volt elhelyezve, így az elektronika dobozhoz egy-egy 1,5m hosszú kábellel voltak csatlakoztatva.

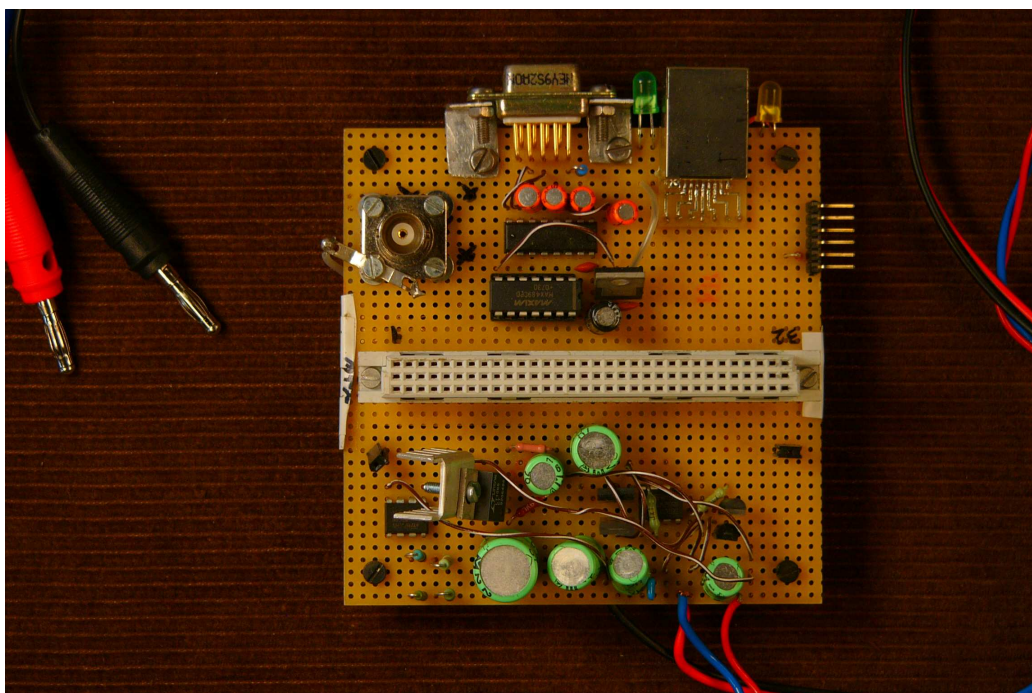
5.4. Tesztelés

A fejlesztés során minden modelláramkör és panel laboratóriumi körülmények között és hőkamrában is tesztelve volt. Ahhoz hogy az egyes paneleket tesztelni lehessen szükség van olyan eszközre, amely szimulálja az adott panel elektromos környezetét. Ezért minden panelhez készült úgynevezett „test setup”, amelyek általában a deszkamodellhez hasonló próba paneleken készültek el.

Az AUX test setup-ja a 37. ábrán látható. Az ábra jobb alsó részén láthatóak az optikai dobozokban levő fűtőellenállásokat, illetve az analóg erősítőket reprezentáló terhelések. Az ábra középső részén helyezkedik el egy potméter, amely az optikai dobozok hőmérsékletérzékelőjének jelét szimulálja, így vizsgálható az AUX panelen levő hőmérsékletszabályozó hiszterézises komparátor alsó és felső billenési szintje is.

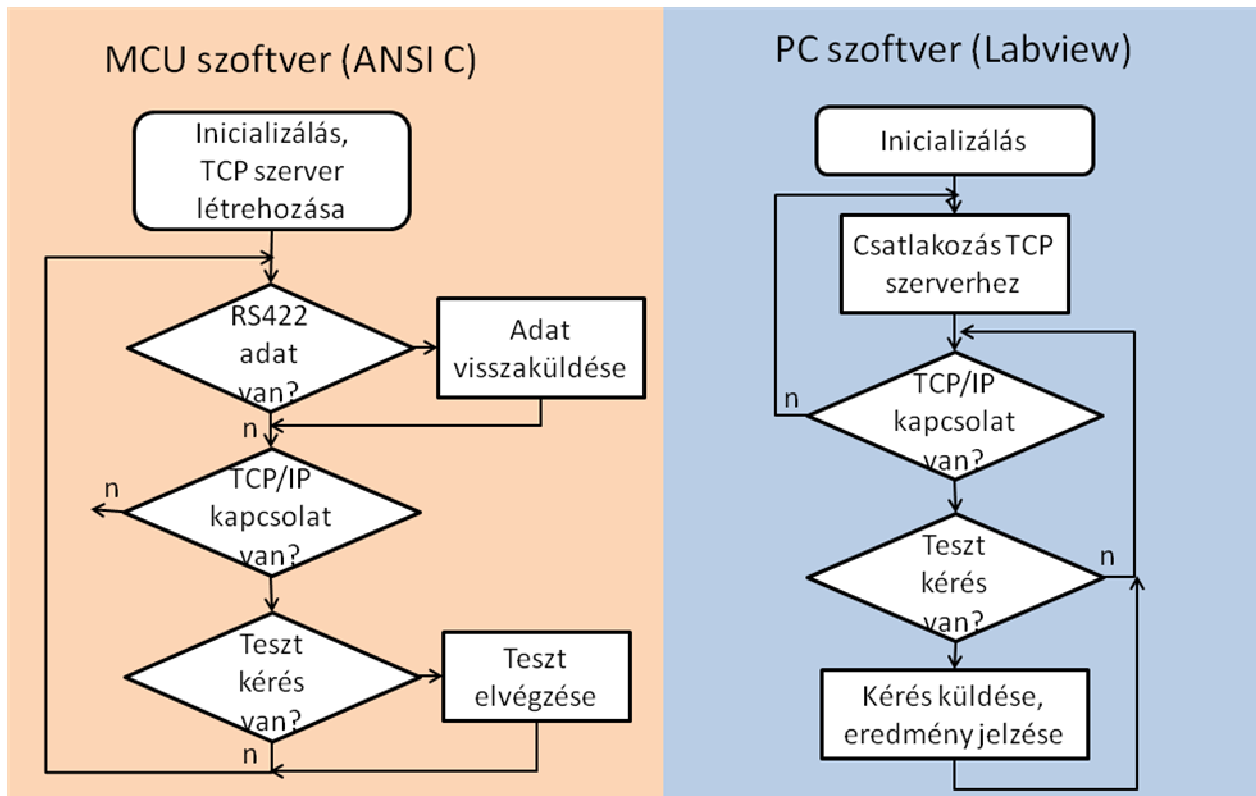


37. ábra
AUX test setup

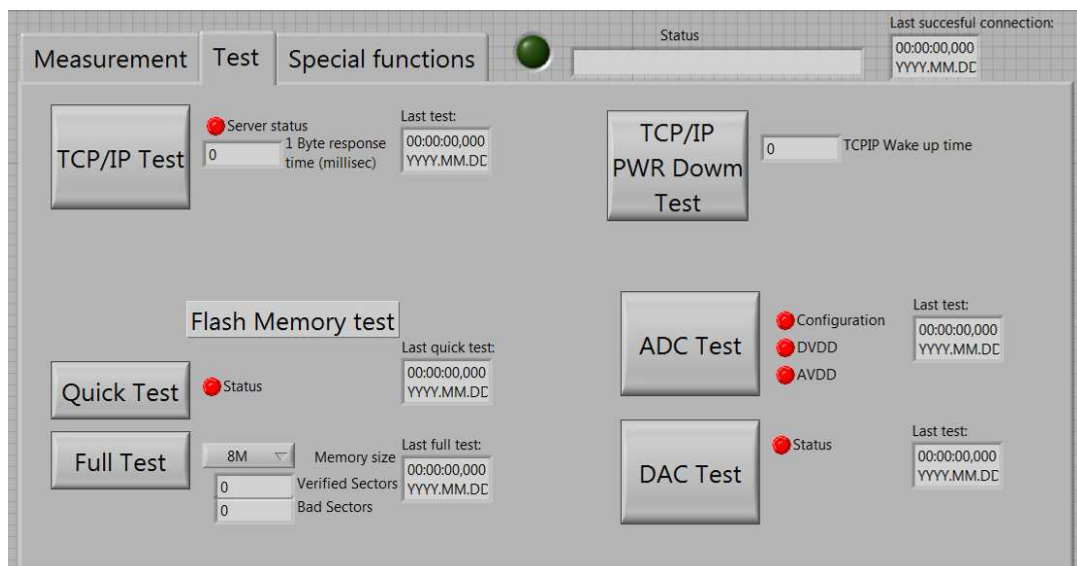


38. ábra
Adatgyűjtő test setup

Az adatgyűjtő kártyához tartozó test setup a 38. ábrán látható. Ezen a panelen található egy egyszerű, lineáris szabályozó, amely a tápegység kártyát helyettesítve szolgáltatja az adatgyűjtő számára a $\pm 2,5V$ és $3,3V$ feszültségeket. A panelen helyet kapott egy RJ45 csatlakozó, amely az Ethernet hálózathoz szükséges leválasztó transzformátorokat tartalmazza, melynek segítségével csatlakoztatható a számítógéphez. Ez a csatlakozó a kísérlet repülő példányában a motherboardon van elhelyezve. A panelre felszereltünk egy BNC csatlakozót, melynek segítségével az analóg csatornák kis zaj mellett különböző jelalakokkal is tesztelhetők. Az adatgyűjtő teszteléséhez szoftveres tesztprogramra is szükség volt, ezért készítettünk az adatgyűjtőhöz egy olyan számítógép oldali, illetve egy mikrokontroller oldali szoftvert, amelyek egymással képesek kommunikálni és a felhasználó számára megjeleníteni a kívánt teszt eredményét. A tesztelést a kommunikációra használható Ethernet vonalon végeztük, ezen küldte el a mikrokontroller a belső tesztejének eredményét. Az AD konverter esetén azt vizsgáltam, hogy az AD konverter konfigurációs regisztereiben helyes értékek szereplnek-e az inicializáló rutin futása után, illetve az AD konverter képes megmérni saját tápfeszültségeit, hőmérsékletét, így külső jel nélkül is tesztelhető az eszköz. A flash memóriához 2 féle teszt rutint is megvalósítottam. A memória gyors tesztelése abból áll, hogy az első címre beírt ismert adatot visszaolvassa, és ha egyezik, akkor pozitív nyugtát küld. Ez a rutin nem teszteli le a teljes memóriaterületet, ezért készítettünk egy olyan rutint is,



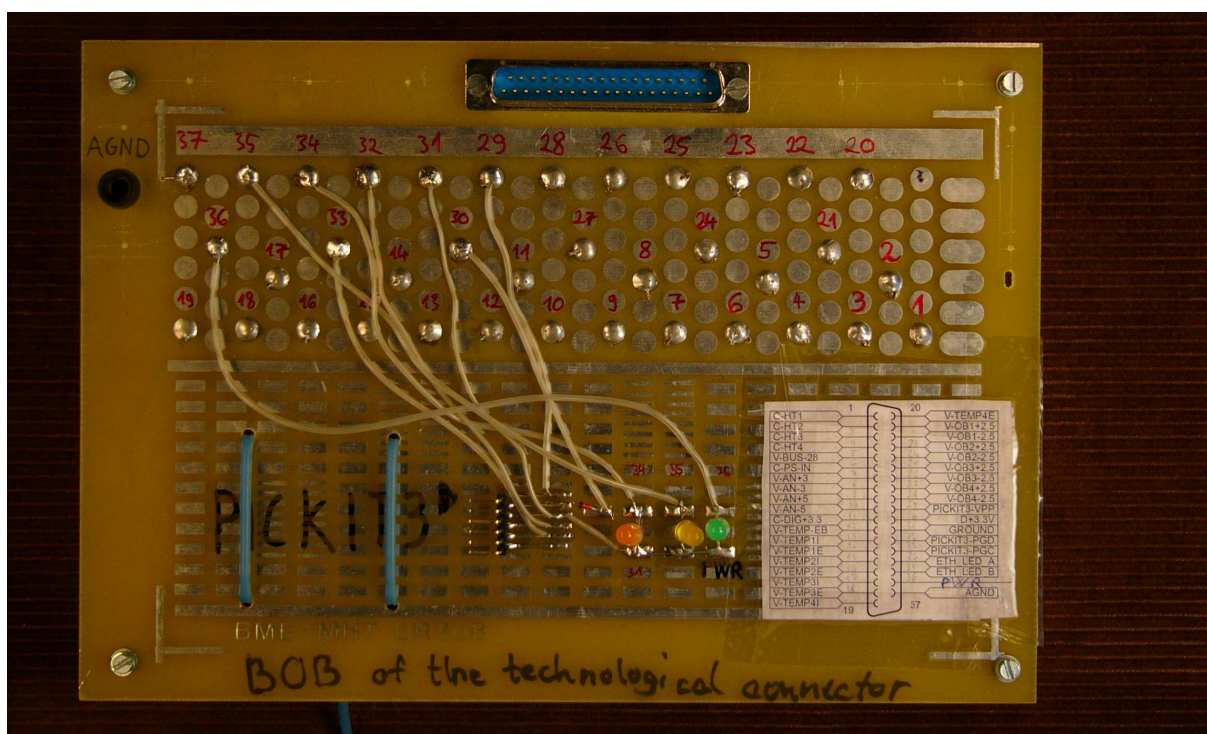
39. ábra
Adatgyűjtő tesztszoftver folyamatára



40. ábra
Adatgyűjtő tesztszoftver GUI

amely teleírja az egész memória területét 55 hexa adattal, majd kiolvassa. Ezután a memóriát AA hexa adatokkal tölti fel és ismét leellenőrzi, hogy minden memóriaterületen helyes adat van-e. Azért célszerű ezeket az adatokat választani teszteléshez, mert gyorsan változó bitsorozatokból áll, így az SPI kommunikáció közben a leggyorsabb jelváltások következnek be, illetve észrevehető, hogy az AA hexa és az 55 hexa egymás negáltjai, így a memória minden bitje felveszi 2 lehetséges értékét a teszt során. A TCP/IP kommunikáció esetében teszteltem, hogy elérhető-e a kívánt adatsebesség. A földi ellenőrző számítógép szoftvere Labview környezetben készült. A felhasználói felület (40. ábra) segítségével a kezelő ki tudja választani a kívánt teszt elvégzését. Az adatgyűjtő kártya – a többi panelhez hasonlóan – hőkamrában is le lett tesztelve -60°C és $+70^{\circ}\text{C}$ között. A hőmérséklettartományok közül a -60°C és 20°C közötti a legfontosabb a Biodos kísérletben, mert leginkább erre a működési hőmérséklet tartományra lehet számítani a misszió során. A hőkamra mérés során minden egység megfelelően működött annak ellenére, hogy működési tartományuk csak -40°C hőmérsékletig specifikált. Azért előnyös -60°C -ig elvégezni a teszteket, mert a tapasztalat szerint a -40°C -ig specifikált alkatrészek általában nem mennek tönkre ilyen alacsony hőmérsékleten, ha pedig a teljes áramkör nem működik valamely hőmérsékleten akkor előnyös, ha ez már a tesztek során kiderül.

A kísérlethez készítettünk egy úgynevezett break out box-ot (41. ábra), melynek feladata, olyan mérőjeleket vezessen ki a kísérletből, amivel a kísérlet helyes működése ellenőrizhető. A break out box segítségével történt a kísérlet adatgyűjtőjének programozása.



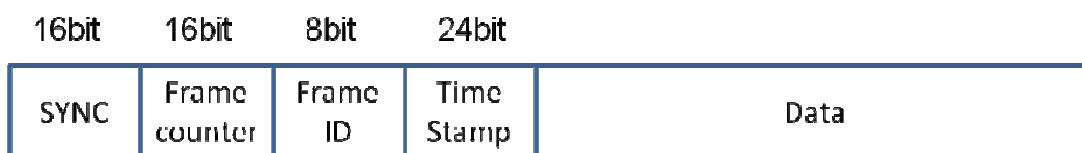
41. ábra
Break out box

6. Software

A Bidos kísérlethez összesen 2 szoftver tartozott: a fedélzeti szoftver és a földi állomás (EGSE) szoftvere. A fedélzeti szoftver feladata, hogy kezelje az adatgyűjtő perifériát, a mérési adatokat küldje el a földi állomás felé, tárolja a mérési adatokat a fedélzeti memóriába és hajtsa végre a földi állomás parancsait. A Bidos kísérlet földi állomása egy hagyományos PC számítógép. A számítógépen futott a földi állomás szoftvere, amely képes megjeleníteni a mérési adatokat a felhasználó számára, tárolja az adatokat a merevlemezen és parancsokat tud küldeni a kísérlet felé.

Mivel a ballon fedélzetén Ethernet hálózat állt rendelkezésre, ezért kézenfekvő volt, hogy a TCP/IP protokollcsalád segítségével valósítsuk meg a kommunikációt. A kommunikáció TCP-n keresztül zajlott. Ennek a protokollnak előnye, hogy nem engedi elveszni a

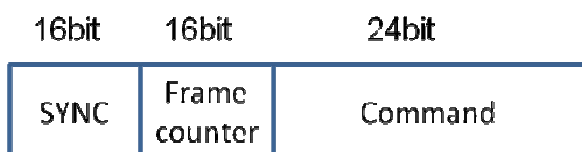
OBDH->EGSE



EGSE->OBDH



EGSE->OBDH (safe)



42. ábra
Bidos adatkeretek

csomagokat és minden csomag sorrendben érkezik meg. A TCP csak byte szinkront biztosít, ezért szükség volt egy saját keretszerkezet kidolgozására a kísérlethez, azért, hogy a TCP-n keresztül érkező byte-okat megfelelően lehessen értelmezni. Az általunk meghatározott keretek felépítése a 42. ábrán látható. Az OBDH->EGSE kereteket a fedélzeti adatgyűjtő

küldi a földi állomás felé (downlink), az EGSE->OBDH kereteket pedig a földi állomás küldi a fedélzeti adatgyűjtő számára (uplink). Minden keret 2 byte méretű szinkronszóval kezdődik. A szinkronszavon kívül byte beszúrást alkalmazok, ami azt jelenti, hogy ha az adatban előfordul a szinkronszó első byte-ja, akkor ez a byte megismétlődik rögtön utána. Tehát ha a szinkronszó első byte-ja „SNCY1” a második „SYNC2”, akkor a „SYNC1 SYNC2” szinkronszó, azonban a „SYNC1 SYNC1 SYNC2” olyan adat amely pont megegyezik a szinkronszóval. A szinkronszót minden esetben egy keretszámláló (frame counter) követ. A keretszámláló segítségével detektálható az esetleges keretvesztés. Downlink irányban 6 különböző típusú keret van definiálva, melyeket a Frame ID segítségével lehet azonosítani. A 6 különböző frame:

- Radiation Measurement (sugárzás mérés)
- Uracil Detector Measurement (uracil detektorok mérése)
- Temperature Measurement (hőmérséklettelemetriák)
- Variable Telemetry Measurement (változó telemetriák)
- Invariable Telemetry Measurement (nem változó telemetriák)
- Memory Data (memória olvasáskorkeletkező adat)

Azért volt szükség arra, hogy ilyen módon kategorizáljuk az egyes csatornákat, mert bizonyos csatornákat sűrűbben, bizonyos csatornákat ritkábban kellett mintavételezni. A sugárzás mérés esetében a referencia fotodióda detektorok (PDREF) kerültek mintavételezésre. A sugárzást viszonylag jó időbeli felbontással kellett mintavételezni, azért, hogy az uracil detektorokat ért sugárdózis megfelelő pontossággal számolható legyen. A mérés során a fotodióda detektorok a következő sorrendben lettek mintavételezve:

PDREF1 PDREF2 PDREF3 PDREF4 PDREF1

A PDREF1 azért van kétszer mintavételezve a mérés során, hogy ellenőrizni lehessen azt, hogy a mérés során nem változik az értéke, így koherensek a mért adatok. 2 csatorna mintavételezése között 1,6ms idő telik el, ami viszonylag gyors a ballon forgását forgásához képest, így általában a két PDREF1 mérés ugyanazt az értéket adja. Az uracil detektorok mérésekor a PD illetve a PDREF jelek egymáshoz közeli időpontban vannak mintavételezve a következő sorrendben:

PDREF1 PD11 PDREF1 PD12 PDREF1 PD13 PDREF1 PD14 PREF1 PDREF2 PD21
PDREF2 ...

Mivel az uracil detektorokhoz hozzá kell rendelni a vele egy dobozban levő PDREF jelét, ezért fontos, hogy pontosan ismerjük a PDREF értékét abban az időpontban, amikor az adott PD jel is mintavételezésre kerül. Így az adatok kiértékelése során minden PD-hez az előtte és az utána következő PDREF érték számtani közepét lehet rendelni, ami elég jó közelítéssel kiadja a tényleges PDREF értéket a PD mérésének pillanatában. Ezt a mérést jóval ritkábban kell elvégezni, mint a sugárzás mérését, mivel az uracil detektorok várhatóan nem változnak olyan gyorsan.

A hőmérséklet mérés az összes hőmérséklet telemetriát tartalmazza. Ezek közül 8 telemetria a 4 optikai doboz külső, illetve belső hőmérsékletét jelenti, ezenkívül még a tápegység és az adatgyűjtő kártyán (AD konverter beépített hőmérője) is található hőmérő szenzor, így összesen 10 hőmérsékletérzékelő adatsorát regisztráltuk.

A fennmaradó telemetriacsatornákat úgy csoportosítottam, hogy azokat a csatornákat, amelyek normál körülmények között nem változnak (pl.: tápfeszültségek) a „nem változó telemetriák” csoportjába tettem, így ezeket jóval ritkábban kell mintavételezni, a maradék csatornák pedig a „változó telemetriák” csoportjába kerültek. A változó telemetriák csoportjában is viszonylag lassan változnak a telemetriacsatornák jelei, mert például a fűtőáram telemetria még akkor is percekig állandó marad ha sikerül felfűtenie az optikai dobozokat annyira, hogy kikapcsoljon a fűtés.

Az adatkeretekben minden mérési keretet egy 24 bites időpecsét előz meg. Ez a kontroller belső órájából származik. Külön szinkronizációt a fedélzeti adatgyűjtőn nem alkalmaztunk, mivel a kommunikációs hálózat késleltetése 10ms alatti volt, és nekünk elegendő volt az, ha az időt másodperc pontossággal ismerjük. A földi állomás idejét kézzel állítottuk be a koordinált világidőhöz (UTC).

Az uplink keretekben a földi állomás képes parancsokat küldeni a fedélzeti adatgyűjtő számára. A parancsok egy részéhez még adatbyte-ok is tartoznak. Ezek a parancsok főként a mintavételezési gyakoriságot vezérlik a fent említett mérési keretekre. A fontosabb parancsok esetében (mint például a fedélzeti memória törlése és olvasása) a parancs azonosítót 3 byte-ra választottam, hogy még minimálisra csökkentsük annak az esélyét, hogy az adatgyűjtő hiba miatt, ilyen keretként értelmezzen egy hibás keretet. 3 különböző ilyen kritikus parancsot definiáltam:

- Memory Read
- Memory Erase
- OBDH Reset

Memory Read parancs esetén a teljes, 32Mbit flash memória kiolvasásra kerül és az adatgyűjtő kártya Ethernet-en keresztül elküldi a memória teljes tartalmát a földi állomás felé. A memória olvasás közben a mérés szünetel. A művelet fél órát vesz igénybe, ami viszonylag hosszú idő, de semmilyen tényező nem indokolta ezen művelet hatékonyságának javítását. A parancsot misszió közben tilos volt kiküldeni, mivel a mérés viszonylag hosszú ideig szünetelne, illetve a sávszélesség igénye is megnőne a kísérletnek. Ezt a parancsot csak akkor adtuk ki, amikor a kísérletet a misszió után visszakaptuk. A parancs kiadása után az adatgyűjtő kártya Memory Data típusú kereteket küld, ami abban különbözik az adatkeretektől, hogy időpecsétet nem tartalmaz.

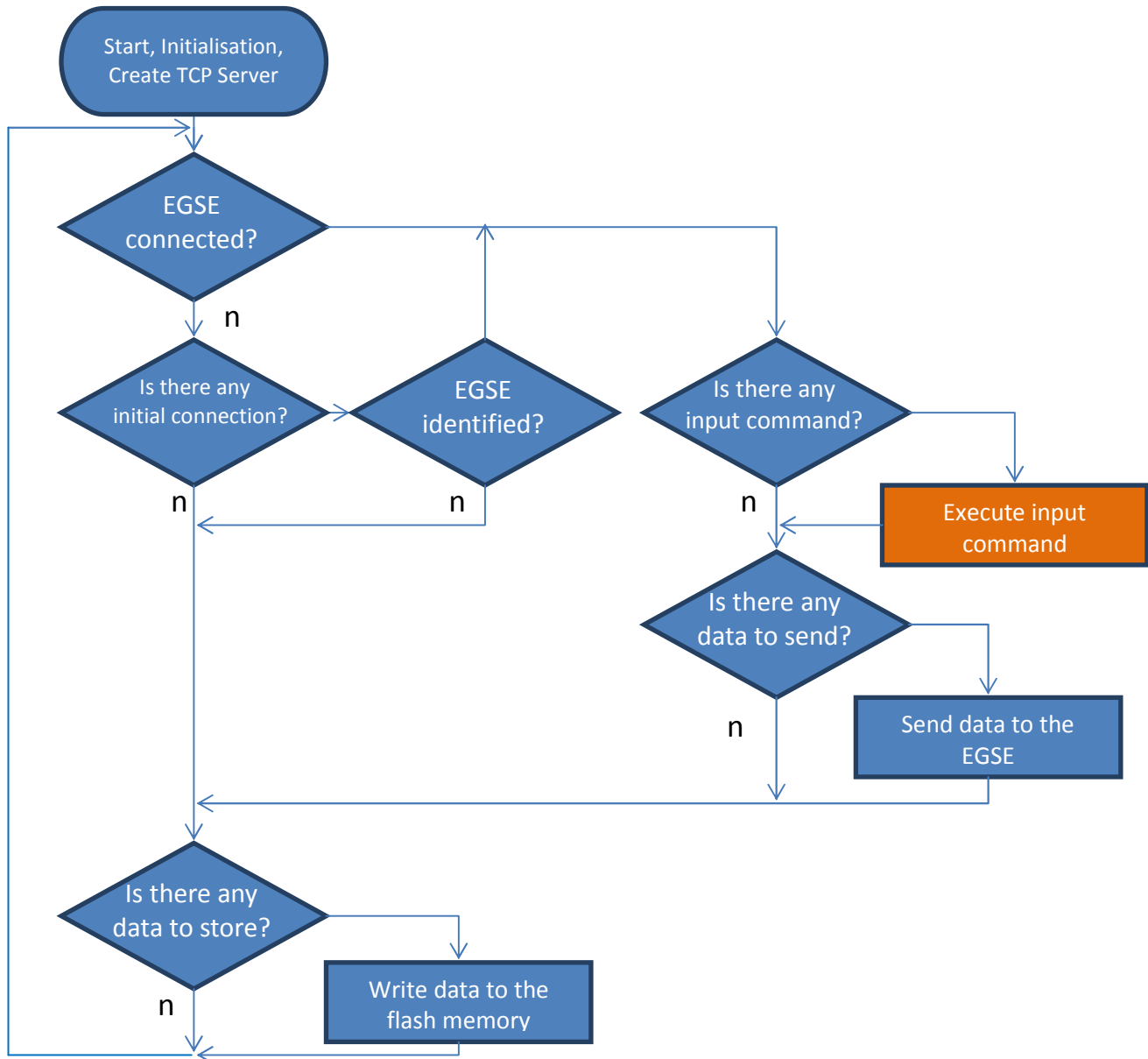
A memória törlésére azért volt szükség, mert a kísérlet bizonytalan ideig várakozhat bekapcsolva indulás előtt, ezért szükség volt arra, hogy az indulás előtt nem sokkal ki tudjuk törölni a memóriát, ezáltal a teljes memória kapacitás a rendelkezünkre áll a misszió során.

Az OBDH Reset parancs az adatgyűjtő kártya szoftverét indítja újra. Azért valósítottam meg ezt a funkciót, mert ha bármely periféria véletlenül rosszul inicializálódik, vagy misszió közben történik probléma, akkor ezen parancs segítségével még meg lehet próbálni helyrehozni a hibát.

6.1. Fedélzeti szoftver

A Bidos fedélzeti szoftvere az adatgyűjtő kártya mikrokontrollerén fut. A programot ANSI C nyelven készítettük MPLAB fejlesztőkörnyezetben. A szoftvert fordításához a Microchip C18 lite version nevű, ingyenesen letölthető fordítót használtuk. Ahogy a fentiekben már említettük, a kommunikációra a Microchip TCP/IP Stack könyvtárát használtuk. Ez a könyvtár jóval több funkciót tartalmaz, mint amennyire a kísérletben szükség van. A TCP/IP protokollcsalád szolgáltatásaiból csak az ICMP és a TCP szolgáltatások voltak elérhetőek. Az ICMP segítségével a kísérlet képes fogadni a „ping” üzeneteket. A TCP kommunikációhoz 1 darab általános TCP server socket van fenntartva. A szoftver fő ciklusának folyamatábrája a 43. ábrán látható. Az inicializálás során a szoftver egy TCP szervert hoz létre, melyre a földi állomás TCP kliensként tud felcsatlakozni. Miután a TCP kapcsolat felépült, az adatgyűjtő ellenőrzi az IP cím alapján, hogy valóban a Bidos földi állomása csatlakozott-e fel a

szerverre. Ha ugyanis véletlenül más kliens fel tudna csatlakozni, akkor ez lefoglalná az egyetlen socket-et, és a Bidos földi állomása már nem tudna felcsatlakozni és fogadni a mérési adatokat. Ezért, ha a csatlakozás után a csatlakozott kliens IP címe nem egyezik a



43. ábra
Fedélzeti szoftver fő ciklusának folyamatábrája

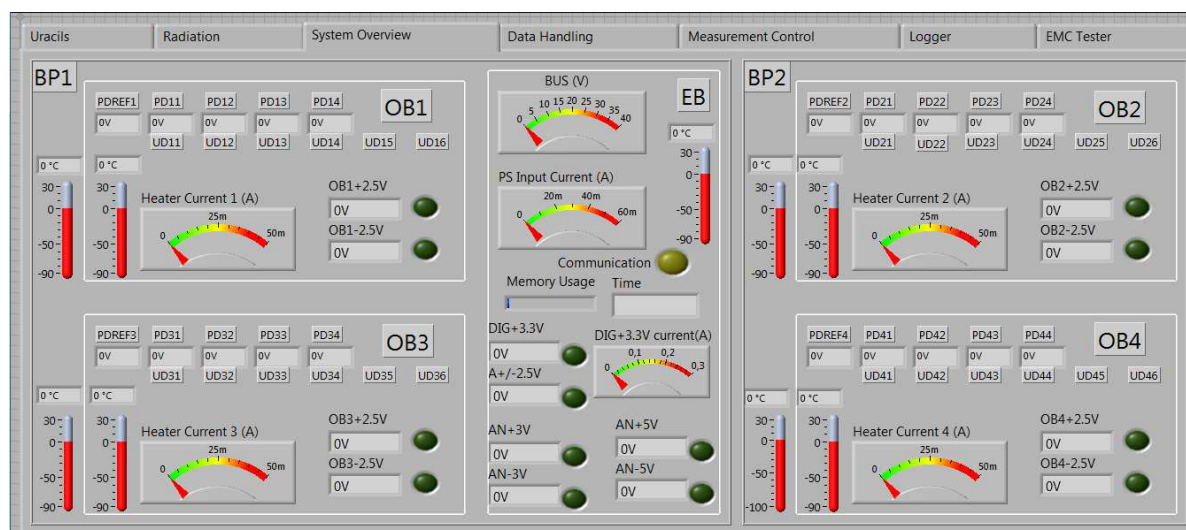
Bidos földi állomásának IP címével, akkor a fedélzeti szoftver lecsatlakoztatja a kliens-t és várja az új csatlakozást. Ha a kapcsolat felépült, akkor a fedélzeti adatgyűjtő automatikusan küldi az adatokat a földi állomás felé, és végrehajtja a beérkező parancsokat. A memóriába való mentés szintén automatikusan történik az adatgyűjtő kártya inicializálását követően.

A főciklus mellett egy mérési ciklus is futott, amelybe megszakítás segítségével lépett a program. A mérési ciklusban történt meg az AD konverter kiolvasása és az új mérés

elindítása. Az AD konverzió ideje alatt (minimum 1ms időtartam) a főciklus futott. Amikor az AD konverzió befejeződött, az AD konverter egy lefutóélt generált a mikrokontroller egyik bemenetére, amely megszakítást okozott és ekkor kezdődött el a mérési ciklus futása. Az AD konverter kiolvasásakor a mérési adatok egy buffer-ba kerültek, melyeket a főciklus folyamatosan olvasott ki. A főciklusnak viszonylag nagy időablak állt rendelkezésére a mérési adatok feldolgozásához, így a mérési buffere-i nem tudtak túlcserélődni.

6.2. Földi állomás szoftvere

A földi állomás szoftverét Labview környezetben készült. A földi állomás feladata, hogy TCP kliensként felcsatlakozzon a fedélzeti szoftver TCP szerverére, majd az adatkereteket visszafejtve megjelenítse és tárolja az adatokat, illetve parancsokat küldjön a fedélzeti adatgyűjtő számára. A szoftver felhasználói felületének (GUI) egy része látható a 44. ábrán. Az ábra felső részén levő gombok segítségével kiválasztható a GUI megfelelő ablaka. Az ábrán a System Overview nevű ablak látható, amely alapján a földi állomást kezelő személy könnyen el tudja dönteni, hogy a rendszer megfelelően működik-e avagy sem. Ha a működés során valami rendellenesség történt, akkor a program bejegyzést készített róla az UTC



44. ábra
Földi állomás GUI (részlet)

időpecsétjével ellátva. A mérési adatokat olvasható szöveges dokumentumba rendezte. Minden mérési adathoz tartozik egy időpecsét, melyet a fedélzeti adatgyűjtő rendel hozzá az egyes adatsorokhoz a saját, belső órája alapján. Amikor az adat beérkezik a földi állomásra, akkor a földi állomás a saját idejét is hozzárakja a mérési adatokhoz.

7. Mérési eredmények

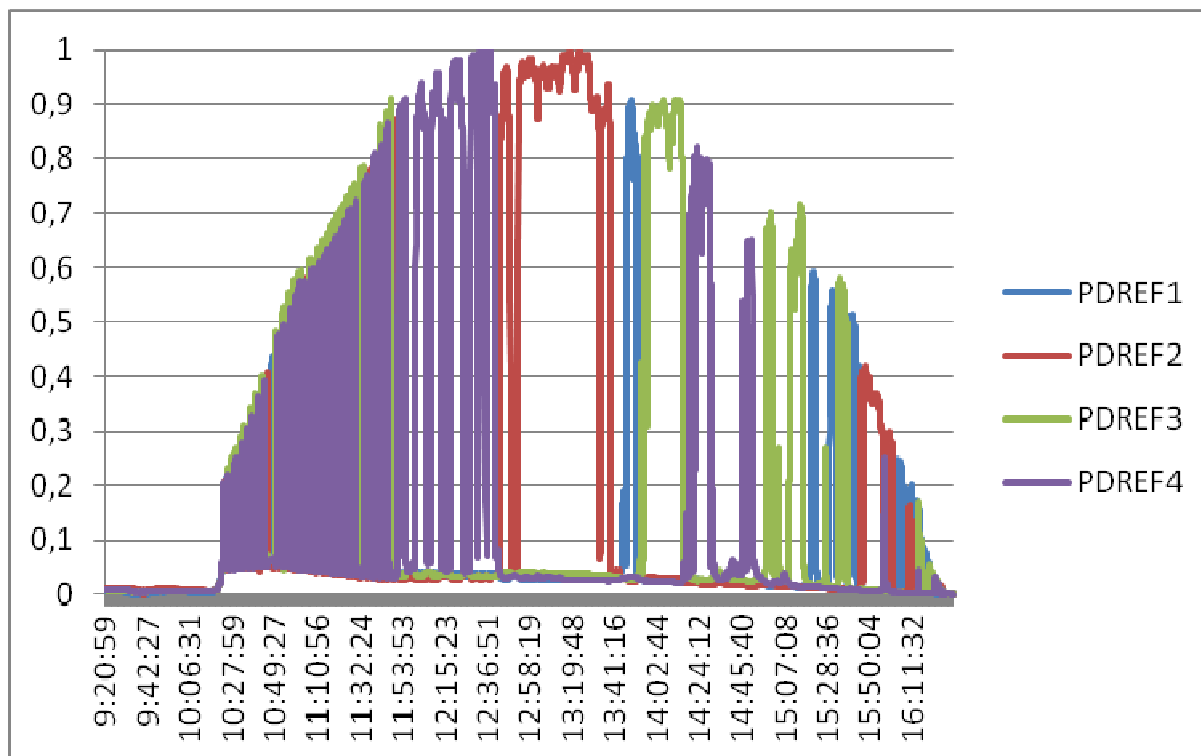
A Bidos kísérlet repülése 2012.09.25-én megtörtént, a mérési adatok rendelkezésünkre állnak, jelenleg az adatok kiértékelése folyik. Ebben a fejezetben egy előzetes adatkiértékelés eredményeit szeretnénk bemutatni, ami azt jelzi számunkra, hogy a kísérlet rendben lezajlott. A mérési adatokban minden idő UTC-ben értendő, ami 2 órával kevesebb a helyi időnél (Esrange 68° Észak, 21° Kelet). Még nem áll minden adat rendelkezésünkre, ugyanis az SSC még nem szolgáltatta számunkra a magasságszámokat, a ballon trajektóriáját és az időjárási adatokat a misszióról.

- A ballon felbocsátásának időpontja: 10:18:47.
- A ballon levágásának időpontja: 16:28:04

7.1. Tudományos kísérlet

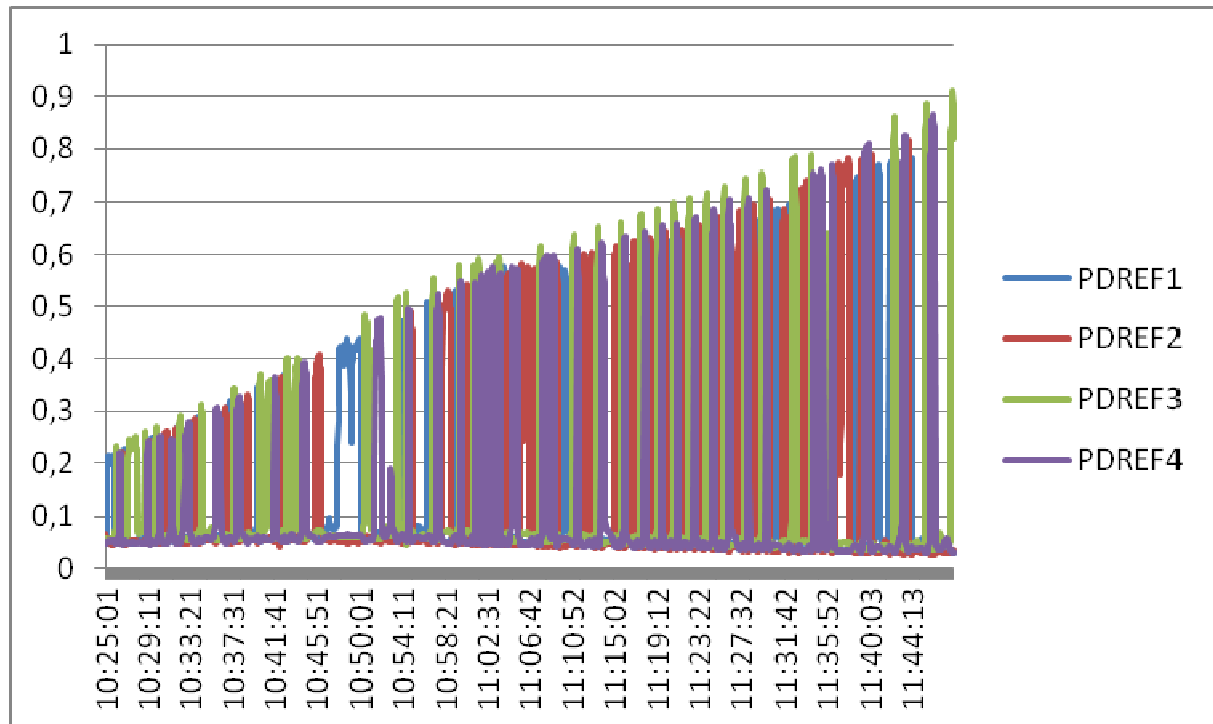
A bevezetésben említetteknek megfelelően a tudományos eredmények egy részének kiértékelése még javában zajlik, így ezek részletes ismertetésére a későbbiekben kerül sor. Első lépésként a mintákra eső sugárzás dózisének számítását tűztük ki célul.

A 45. ábrán a relatív sugárzás értéke látható, melyet a misszió során mértünk. Ezek azok az



45. ábra
Relatív sugárzásintenzitás a misszió során

értékek, melyet az uracil detektor nélküli, referencia fotodióda detektorok (PDREF) mértek. Az ábrán jól látható, hogyan változik a sugárzás a misszió során. A mérésből megállapítható, hogy a detektorok iránykarakterisztikája olyan kicsi, hogy egyszerre csak az egyik doboz detektorán mérhető jel, de vannak időpontok, amikor egyik detektor sem mért sugárzást. Az egyes detektorok jelei időben azért váltakoznak, mert a gondola forog, így mindig más és más optikai dobozokat éri közvetlen napsugárzás. Az emelkedési szakaszon mért sugárzás a 46. ábrán látható, amely a 45. ábra elejének kinagyított része. Jól látható, hogy az emelkedési



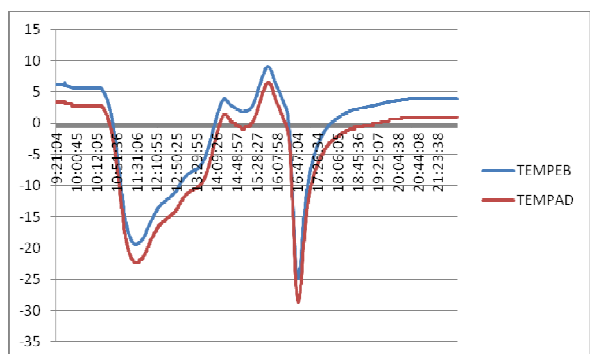
46. ábra
Relatív sugárzásintenzitás az emelkedési szakaszon

szakaszon viszonylag gyorsan váltakoztak a detektorok jelei. Valószínűleg ez azért történt, mert az alacsonyabb rétegekben még jelentős légmozgások vannak, így mindig más-más detektort ért a napsugárzás. Látható az is, hogy a PDREF3 (zöld) mindig egy kicsit nagyobb értéket mutatott, mint a többi detektor. Ennek oka egyrészt, hogy a detektorok erősítőjében levő ellenállások idő hiányában nem lettek korrekten bemérve (1% pontosságú ellenállások), másrészt az adatokat még korrigáltuk a detektorok kalibrációjánál kapott értékekkel. Az adatok megfelelő korrekciója után lehetőségünk lesz besugárzott dózis pontos meghatározására.

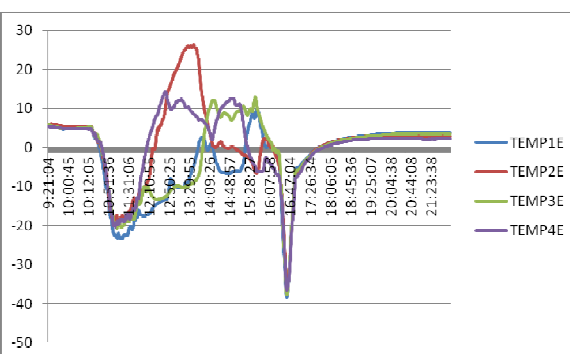
7.2. Technológiai kísérlet

A korábbi fejezetekben olvasható, hogy a kísérlet nem csak a tudományos kísérleti cél számára hasznos jeleket regisztrálta, hanem olyan adatokat is, melyek segítségével a kísérlet működése ellenőrizhető, minősíthető. Ebben a részben a hőmérsékletdiagramokat szeretném kiemelni, mivel azokon látható érdembeli változás. A többi telemetriáról elmondható, hogy megfelelő volt a misszió során, de ezek konstans értékek voltak.

4 különböző hőmérsékletdiagram látható az alábbi ábrákon. Minden diagramon a hőmérséklet Celsius fokban értendő. A 47. ábrán jól látszik, hogy a tápegységkártyán levő

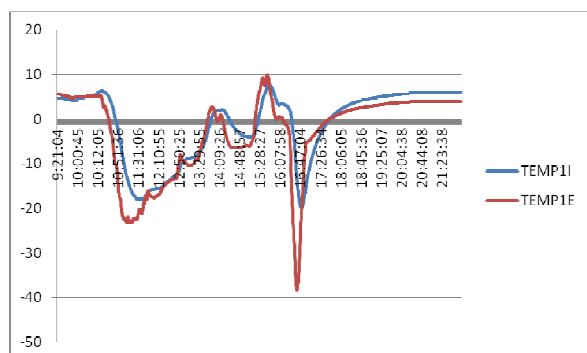


47. ábra
Elektronika doboz - AD és PS hőmérsékletei

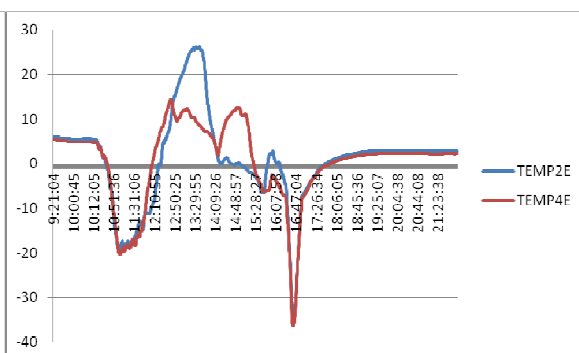


48. ábra
Optikai dobozok külső hőmérsékletei

hőmérsékletszenzor és az AD konverterbe integrált szenzor elég jól együtt futnak. Azért fontos ez az ábra, mert a két hőmérsékletérzékelő különböző elven méri a hőmérsékletet, így megállapítható, hogy a hőmérsékletérzékelők helyesen funkcionáltak. Az tápegység kártyán levő hőmérsékletérzékelő mindig egy kicsit magasabb értéket mutatott, mint az AD konverter belső hőmérője. Ennek valószínűleg az a magyarázata, hogy a tápegység kártyán levő érzékelő a kapcsolóelem mellett közvetlenül helyezkedett el, így normális ha ezen érzékelő



49. ábra
Optikai doboz külső és belső hőmérséklete



50. ábra
Azonos alapllemezen levő optikai dobozok külső hőmérséklete

hőmérséklete néhány fokkal nagyobb. A hőmérő szenzorok pontossága $2,5^{\circ}\text{C}$ és mivel a hőmérők jelei le voltak osztva ellenállásosztóval az AD konverter számára, így ezeket a osztási arányokat is pontosítani kell (az osztási arányok pontos mérése már megtörtént,

hőkamrában is, de még az itt közölt adatok nincsenek korrigálva ezen adatok szerint). A hőmérő szenzorokat a későbbiekben még pontosítani lehet mérésekkel. Számunkra leginkább a hőmérséklet szenzorok egymáshoz viszonyított hőmérséklete a fontos, nem pedig a pontos, abszolút hőmérséklet. Az optikai dobozok külső hőmérséklete látható a 48. ábrán. Jól látszik, hogy a misszió kezdete előtt, illetve után a hőmérsékletek megegyeznek, közben pedig nagy, akár 20-30°C fokos eltérések is adóttak az egyes fémdobozok hőmérsékletei között. Az is látható, hogy a 2-es doboz hőmérséklete majdnem a 30°C-t is elérte. Ha ezt összevetjük a 45. ábrával, ahol a sugárzás intenzitások láthatóak, megmagyarázható a magas hőmérsékletemelkedés, mivel ebben az időszakban a 2-es optikai doboz huzamosabb ideig kapott közvetlen napsugárzást. A nagy hőmérsékletkülönbségek a vákuumhoz hasonló ritka légnyomással magyarázható, ugyanis itt a közeg nem szállítja el a sugárzás elnyeléséből származó többlet hőmennyiséget a kísérlet más részei felé. Az 50. ábra a 48. ábra egy részét tartalmazza. Ezen az ábrán csak a 2-es és 4-es optikai doboz hőmérsékletdiagramja látható. A 2-es és 4-es doboz ugyanarra az alaplemezre voltak felszerelve, így várhatóan a köztük levő hőmérséklet különbség is kisebb, mint a másik alaplemezre felszerelt dobozokhoz viszonyítva. Az ábrán jól látható, hogy annak ellenére, hogy ugyanazon az alaplemezen voltak, a 2-es dobozt ért nagyobb ideig tartó napsugárzás idején a 2-es doboz hőmérséklete több mint 10°C-kal megemelkedett a 4-es doboz hőmérsékletétől.

A 49. ábrán az 1-es doboz külső és belső hőmérsékletdiagramja látható. Ez az ábra jól jellemzi az alkalmazott hőszigetelés hatékonyságát és a szigetelés termikus időállandóját. Magasabb hőmérsékleteken a hőmérsékletkülönbség kisebb, de a ballon ereszkedési szakaszában, amikor a külső hőmérséklet -40°C körüli volt, akkor a belső hőmérséklet még mindig -20°C fok felett maradt.

8.Tovább lépés

Az év hátralevő részében az mérési eredmények kiértékelésével foglalkozunk. A besugárzott UV-dózis meghatározása után a következő lépés a minták újbóli, spektrofotometriai lemérése. Mivel az így kapott adatsorok a biológiai minták végállapotát tükrözik, ezen értékeket a kísérlet indulása előtt mért kezdeti értékekkel összevetve meg tudjuk határozni az UV-sugárzás hatására bekövetkezett dimerizáció mértékét. A molekuláris változás nagyságából a dimerizáció kiváltásához szükséges effektív biológiai dózis is.

A projekt ugyan a végéhez közeledik, de a csoport a BioDos kísérlet eredményeinek kiegészítését tervezi az ez év végén induló BEXUS-16/17 programban. A Daemon (DNA Adverse Effects Monitoring) név alatt futó kísérlet az uracilmintákat T7 bakteriofág DNS-ével helyettesítve. Mivel az UV-sugárzás élő szervezetekre káros hatásai elsősorban a DNS szerkezetében érvényesülnek, a biokémiai modell váltása segít abban, hogy pontosabb képet kapjunk az UV sugárzás hatásairól. A BioDos és a Daemon kísérletek kiértékelési módszerei közt lesz ugyan átfedés, de a DNS-minta biokémiai tulajdonságainál fogva alkalmas a spektrofotometriai validáción kívül egy pontosabb, molekuláris biológiai mérésre.

Bízunk benne, hogy kísérleteinkkel hozzájárulhatunk az asztrobiológia jelenlegi kutatási területeinek eredményeihez.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Sarkadi L.: Biokémia mérnök szemmel, Typotex kiadó, 2007
- [2] D.A. Rothery, I. Gilmour, M.A. Sephton.: An introduction to astrobiology, Cambridge University press, 2011
- [3] G.J. Fisher, H.E. Johns, Pyrimidine photoproducts, in: S. Wang (ed.) Photochemistry and Photobiology of Nucleic Acids, Acad. Press, New York, 1; pp. 169-224, 1976
- [4] Gróf P, Gáspár S, Rontó G.: Use of uracil thin layer for measuring biologically effective UV dose, Photochem Photobiol. 1996 Nov; 64(5):800-6.
- [5] BEXUS User Manual
- http://www.rexusbexus.net/images/stories/bexus/bx_ref_usermanual_v6-3_31aug11.pdf
- [6] Analog devices: Printed Circuit Board Design Issues
- [7] Nilesh Rajbharti (Microchip): The Microchip TCP/IP Stack AN833

10. Rövidítésjegyzék

AD	Analogue to digital
AUX	Auxiliary panel
BEXUS	Balloon-borne Experiment for University Students
CDR	Critical Design Review
CPD	ciklobután-pirimidin-dimer
DLR	Német Légügyi és Űrkutatási Hivatal
DNS	dezoxiribonukleinsav
EAR	Experiment Acceptance Review
EB	Electronic Box, elektronika doboz
EGSE	Earth Ground Support Equipment
EMI	Electromagnetic Interference
ESA	European Space Agency
GUI	Graphical User Interface
IPR	Integration Progress Review
NYÁK	Nyomtatott áramkör
OBDH	Onboard Data Handler
OB	Optical Box, optikai doboz
OD	Optical density
PD	Photodiode detector
PDR	Preliminary Design Review
PS	Power Supply
RNS	ribonukleinsav
SED	Student Experiment Documentation
SNSB	Svéd Nemzeti Űrkutatási Bizottság
UD	Uracil detektor
UTC	Coordinated Universal Time
UV	ultraibolya sugárzás
VUV	vákuum ultraibolya sugárzás

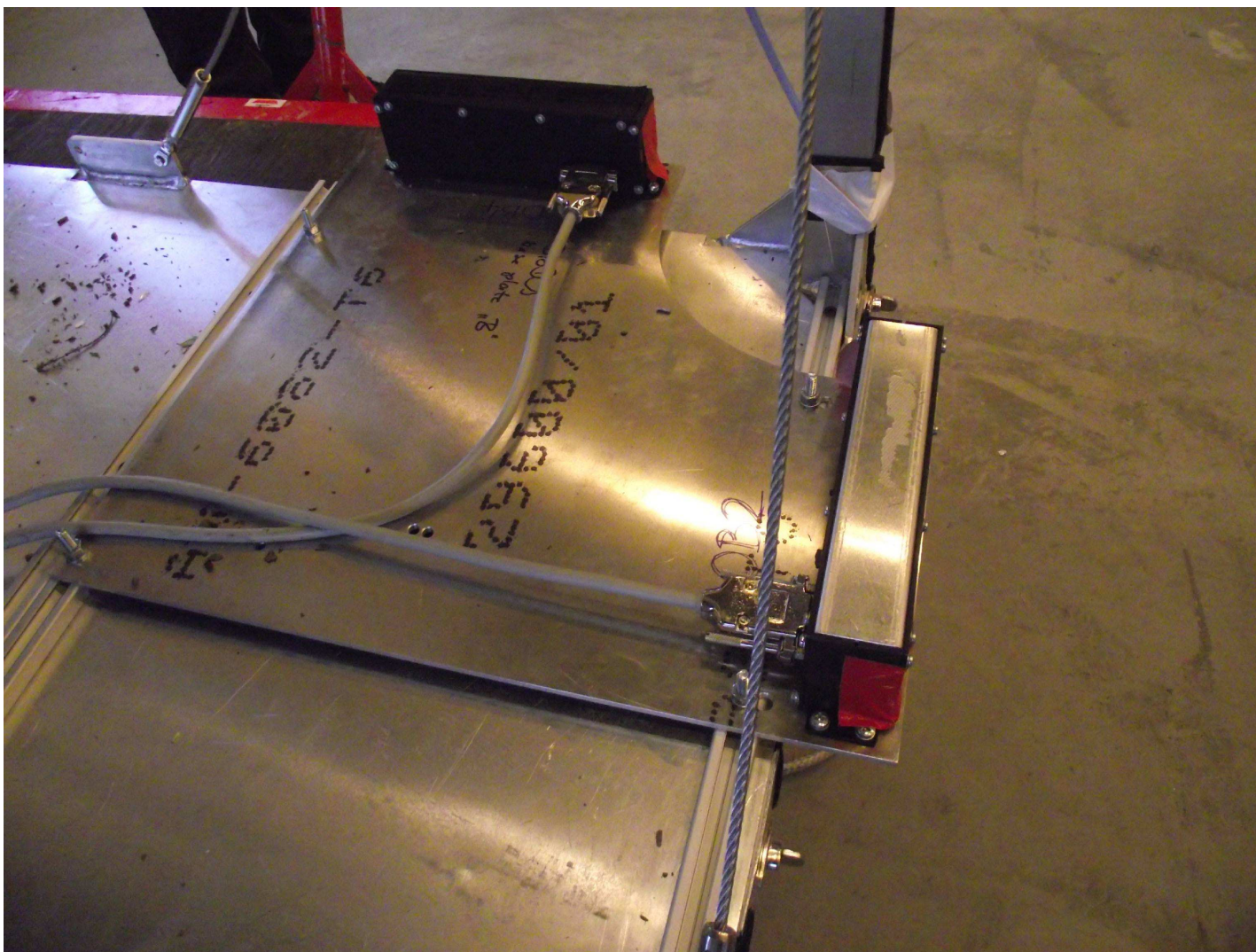
11. Melléklet

1. sz. melléklet: BEXUS15 gondola a Hercules nevű szállító járművön



BioDos (egyik optikai doboz)

2. sz. melléklet: BioDos kísérlet 2 optikai doboza a gondolára felszerelve



3. sz. melléklet: BioDos kísérlet a misszió előtti sugárzási teszt közben

