

CoCoRAD kísérlet az Európai Űrügynökség BEXUS programjában

Zábori Balázs

egyetemi hallgató, csapatvezető

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Napjainkban a repülőgépes utazás egyre népszerűbb, a Nemzetközi Űrállomás elkészültével az emberes űrrepülések szerepe nagyobb, mint az űrkutatás története során bármikor. Ennek köszönhető, hogy a kozmikus sugárzás térbeli és időbeli változásainak dozimetriai célú tanulmányozása a Föld-közi térségben jelentősebb, mint valaha. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) hallgatóiból álló CoCoRAD diákcsoport Magyarországról elsőként nyerte el a jogot, hogy részt vehessen az Európai Űrügynökség BEXUS (Balloon Experiments for University Students) programjában. A BEXUS program keretében a diákoknak egy kísérletet kell megtervezniük és megépíteniük, amely a svéd űrkutatási hivatal (SSC) sztratoszférikus ballonrendszerének a fedélzetén repülhetett, mintegy 30 km-es magasságban. A CoCoRAD kísérlet legfőbb célja a kozmikus sugárzás vizsgálata volt a sztratoszféra alsó rétegében, a magyar fejlesztésű Pille és a TriTel dózismérő rendszerekkel.



A BEXUS program és a CoCoRAD diákcsoport

Az Európai Űrügynökség (ESA) 2010-ben is meghirdette a REXUS/BEXUS rakéta- és ballonkísérleti pályázatát egyetemek hallgatói számára. A BEXUS programban sztratoszférikus ballon fedélzetére adaptálhatóak kísérletek. A ballon körülbelül 30 km-es magasságig emelkedik, és megközelítőleg 2–5 órán keresztül repül a sztratoszféra alsó tartományában, olyan magasságban, ameddig a hagyományos repülőgépek már nem képesek eljutni. A felbocsátásra minden év őszen kerül sor az Észak-Svédországban található ESRANGE űrbázisról [1].

A BEXUS-12 és -13 küldetésen a magyar CoCoRAD diákcsoport is részt vehetett. A program történetében most először történt meg, hogy Magyarországról került ki az egyik kísérlet, így kifejezetten büszkén és méltóképpen igyekeztünk képviselni a hazai űrkutatás hagyományait a projektben. A BEXUS program azonban lényegesen több, mint egy kísérlet megépítése és felbocsátása. A programban részt vevő diákok egyben lehetőséget kapnak arra, hogy beleszóljanak egy valós űrkutatási program menetébe, tanulhassanak az Űrügynökség legelismertebb szakértőitől és kiutazhassanak olyan űrbázisokra és kutatóközpontokba, ahová egyébként magyar diákok még nem juthattak el. A csapatunk megfordulhatott az ESA Technológiai Központjában Hollandiában (ESTEC), a DLR MORABA rakétabázisán Németországban (itt található a Nemzetközi Űrállomás Columbus moduljának vezérlőközpontja is), valamint a Svéd Űrkutatási Hivatal (SSC) ESRANGE űrbázisán, mely az Északi-sarkkörön túl fekszik, Kiruna város közelében.



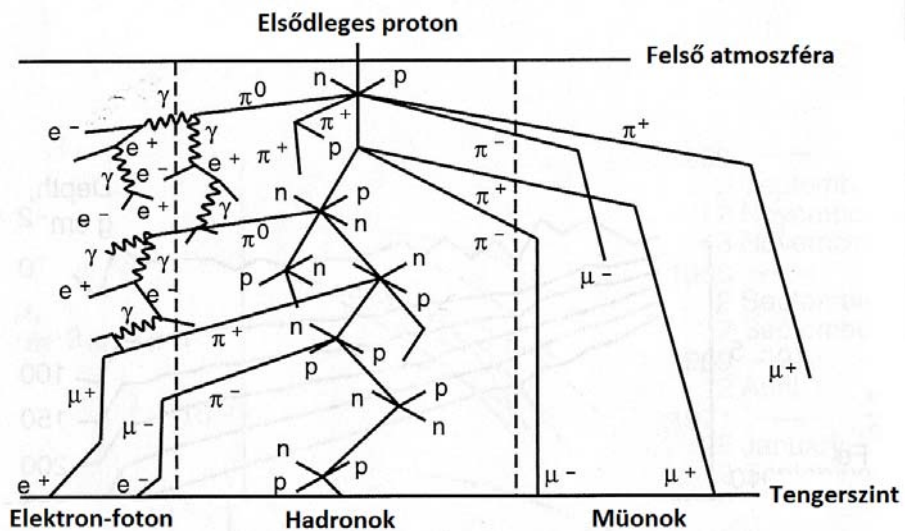
1. ábra A CoCoRAD csapat logója



2. ábra Az ESRANGE űrbázis. (Kép: SSC)

A kozmikus sugárzási környezet a sztratoszférában és a CoCoRAD kísérlet céljai

A világűrben több nagyságrenddel nagyobb a sugárzás intenzitása, ami az élő szervezeteket és az elektronikai berendezéseket is súlyosan károsíthatja. A jövőbeli űrutazások elengedhetetlen feltétele, hogy erről a sugárzásról, összetételéről, tulajdonságairól és a mérési módszereiről minél több tapasztalatot szerezzünk. Bolygónk felszínén az emberiség kettős védelmet is élvez e pusztító sugárzással szemben. A védelem első vonalát a Föld belsejében zajló folyamatok eredményeképpen indukálódott mágneses tér alkotja, mely eltéríti a töltött részecskéket. További védelmet jelent a légkör árnyékoló hatása. Ahogy azonban egyre magasabbra emelkedünk, úgy csökken a felettünk lévő légréteg vastagsága. A sarkvidékek közelében pedig a nagyenergiájú töltött részecskék a mágneses erővonalakat követve a felszínhez egészen közel juthatnak; gondoljunk csak a sarki fényre (*aurora borealis*).



3. ábra Részecskekeletkezés a légkörben [2].

A kozmoszból érkező nagyenergiájú részecskék kölcsönhatásba lépnek a légkör felső tartományával, aminek eredményeképpen részecskék sokasága keletkezik. A keletkezett részecskéket három főbb csoportba soroljuk. Beszélhetünk elektron-foton komponensről, ami alapvetően elektronokat, pozitronokat és gamma-fotonokat jelent, a második jelentősebb csoport a mezon komponens (műonok, pionok, ...), a harmadik pedig a hadronikus komponens, ami főként protonokat és neutronokat takar. Ezek a részecskék alapvetően az elsődleges, közvetlenül a világűrből érkező kozmikus sugárzás hatására keletkeznek, ami főként elektronokból, protonokból és alfa-részecskékből áll. Az így keletkezett részecskéket nevezzük szekunder részecskéeknek, mivel közvetetten keletkeztek az elsődleges kozmikus sugárzás hatására [2]. A szekunder részecskék keletkezését a 3. ábra foglalja össze. Megvizsgálva a részecskék összes számát a felszín feletti magasság függvényében, azt tapasztaljuk, hogy kb. 20 km magasságban maximum alakul ki, amit Pfozter-maximumnak nevezünk [3]. Ez annak köszönhető, hogy a szekunder részecskék keletkezése ebben a tartományban éri el a maximumát. Ezen magasság felett a légkör túl ritka és nincs elegendő ütközés a primer sugárzás részecskéi, illetve a légkör atomjai között a szekunder részecskék keletkezéséhez. Ezen magasság alatt pedig a légkör sűrűsége exponenciálisan nő, aminek következtében az árnyékoló hatás annyira megnövekszik, hogy a keletkezett részecskék jelentős része nem éri el az alsóbb légrétegeket.

Láthatjuk, hogy a légkörben a kozmikus sugárzás hatására egy különösen összetett sugárzási tér alakul ki. Ennek sokféle komponense van, amit vizsgálni érdemes. A CoCoRAD kísérlet legfőbb tudományos célja ezen sugárzási környezet tanulmányozása, a Pfozter-maximum magasságának kimérése, valamint annak a többletdózisnak a meghatározása, amiet egy ehhez hasonló űrúgrás során egy űrturista elszenvedne.

A kísérlet lelke: a Pille és a TriTel

A kísérlet technológiai céljainak megértése érdekében először meg kell ismerkednünk azon mérőműszerekkel, melyekkel a méréseinket végeztük a repülés során. Egyszerre használtunk passzív (Pille) és energiaellátást igénylő aktív (TriTel) doziméter rendszert, ezáltal lehetőséget teremtve a mért adatok összehasonlítására is. Mindkét mérőműszert Magyarországon fejlesztették ki az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet (AEKI) Űrdozimetriai Kutatócsoportjának gondozásában.

Az űrhajósok dózisának mérésére leggyakrabban termolumineszcens (TL) dózismérőket használnak. Ennek a legfőbb oka az egyszerűsége, olcsósága, illetve az a tény, hogy csak a kiértékelés során igényel energiát. Ennek a technológiának az egyik úttörője a hazánkban kifejlesztett Pille rendszer (4. ábra), mely napjainkban is a Nemzetközi Űrállomás kiszolgáló rendszerének a része [4]. A TL dózismérők lelke egy termolumineszcens kristály, amely a kozmikus sugárzásból elnyelt energia egy részét eltárolja. A TL kristály melegítés hatására az elnyelt energiát fény formájában bocsátja ki, a kibocsátott fény mennyisége arányos az elnyelt sugárzási energiával, így végső soron a kapott dózissal. A kifűtéskor kibocsátott fény mérésével tehát közvetlenül meghatározható az elnyelt dózis. A módszernek ugyanakkor jelentős hátránya, hogy csak utólagos kiértékelésre nyújt lehetőséget, legtöbbször csak a felszínre történő visszatérést követően. Azonban gyakran előfordulhat, hogy egy űrhajós közel valós időben szeretné tudni a sugárzás dózisát. A TL dózismérő rendszerek csak az elnyelt dózis mérésére alkalmasak; az ionizáló sugárzás sztochasztikus biológiai hatásának



4. ábra A Pille dózismérő. (Kép: AEKI)

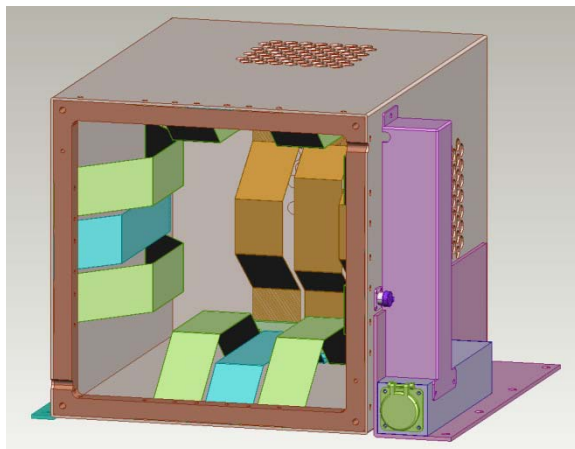
jellemzésére használt egyenérték dózis és effektív dózis meghatározásához ugyanakkor a lineáris energiaátadás (*Linear Energy Transfer*, LET) eloszlás, más néven LET-spektrum ismeretére is szükség van. A töltött részecskék LET értéke adott közegben (például testszövetben, vízben vagy a detektor anyagában) az adott úthosszon lokálisan elnyelt energia és az úthossz hányadosa. A LET-spektrum meghatározása és a valós idejű mérések megvalósítása érdekében kezdődött a TriTel kifejlesztése évekkal ezelőtt az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben.

A TriTel háromtengelyű ürdozimetriai tesztet (5. ábra) egy új generációs detektor rendszer képviselője, mely arra lett tervezve, hogy valós időben monitorozza a sugárzási viszonyokat a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén [5]. A TriTel lelke a szilícium detektor, melyekből 2-2 darab van elhelyezve egymásra merőlegesen, ezáltal irányérzékeny mérések megvalósítására is lehetőséget biztosítva.

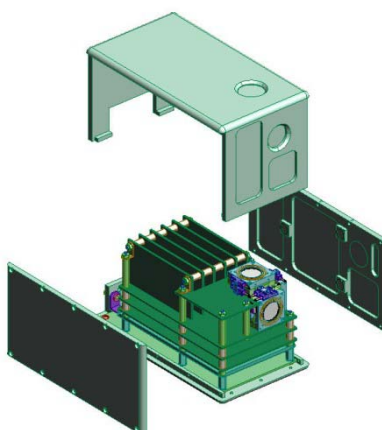
A CoCoRAD kísérletben együttes TriTel és Pille mérések megvalósítását tűztük ki célul, ami egyben fontos technológiai tesztnek is bizonyult, hiszen a TriTel most először végzett méréseket valós, közel űrbeli körülmények között. Mindezek magyarázatot adnak a csapat angol elnevezésére (*Combined TriTel/Pille Cosmic Radiation and Dosimetric Measurements*) is.

A CoCoRAD kísérlet megvalósítása, avagy a „magyar fekete doboz”

A kísérlet megtervezése során a legnagyobb kihívást a BEXUS küldetés rendkívül zord környezeti feltételeinek teljesítése jelentette. A ballon csúcsmagasságában a légkör sűrűsége lényegesen kisebb, mint a felszínen, valamint a sztratoszféra hőmérséklete szélsőséges esetben elérheti a -90°C -ot is. A repülés során akár 25 g-nek megfelelő gyorsulás is felléphet, ami hatalmas erőket jelent a kísérleti dobozunkra nézve. A landolás megközelítőleg 8 m/s sebességgel történik, ami megfelel egy három méter magasságból történő ejtésnek.



6. ábra A külső doboz. (Kép: Csőke Antal)



5. ábra A TriTel. (Kép: AEKI)

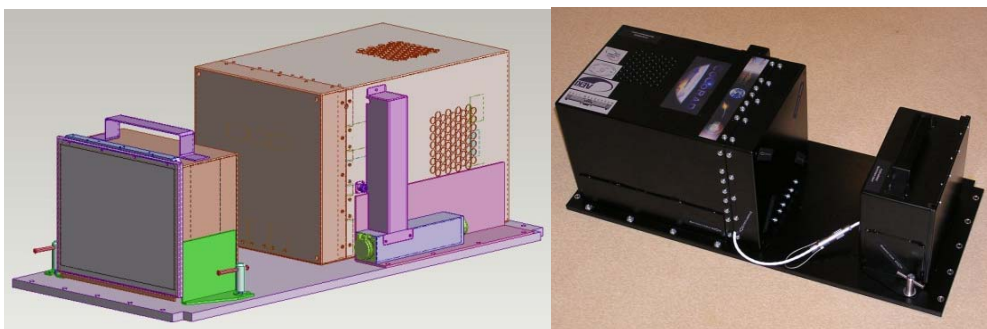
A fejlesztés során olyan koncepcióval álltunk elő, ami képes megóvni a mérőműszereinket a repülés és a landolás során. A nagy gyorsulások csillapítása érdekében a Pille kiolvasó egységek védelmére már korábban kifejlesztett módszerhez nyúltunk vissza. Az ötlet alapja egy olyan külső doboz alkalmazása, amely a mechanikai védelem érdekében minden belső oldalán filccel bevont laprugókat tartalmaz (6. ábra). Ezek a laprugók képesek jelentős mértékben deformálódni, ezáltal elnyelve a doboz belsejében elhelyezett érzékeny műszerek mozgási energiáját. A CoCoRAD kísérlet esetében három laprugót alkalmaz-

tunk oldalanként, melyek közül a középső a többinél erősebbre volt tervezve, mintegy tartaléknak azon esetre, ha akkora gyorsulás lépne fel, amekkora a tervezési alapunkban nem szerepelt.

A külső hőmérsékleti ingadozások kezelése szintén nehézséget okozott, hiszen a TriTel méréseihez biztosítanunk kellett a $+30^{\circ}\text{C}$ és -40°C közötti hőmérsékletet. Ha a detektorok hőmérséklete jelentősen megnövekszik, akkor nagy mértékben romlik a jel-zaj viszony. Az elektronika pedig -40°C -ig van letesztelve, ezen érték alatt nem tudhatjuk, miként viselkednének az egyes áramköri elemek. Egyértelműnek tűnt a számunkra, hogy hőszigetelést kell alkalmaznunk, hiszen a külső fémdoboz gyorsan át fogja venni a környezet igen alacsony hőmérsékletét. Azonban a felállított hőtani modell és a számítások eredményei rámutattak, hogy az összeszerelés során a hangárban, ahol a külső hőmérséklet mintegy $+20^{\circ}\text{C}$ -ra becsülhető, túlmelegedés léphet fel a hőszigetelésben. Ezt mindenképpen el kellett kerülni, hiszen a detektorok a kísérlet indításakor a magas hőmérséklet miatt zajosak lennének, a lehűléshez pedig jelentős időre volna szükségük a hőszigetelés számottevő hőellenállása következtében. A probléma megoldására a hőszigetelésbe bonyolult elrendezésben és mennyiségben lékeket fűrtünk annak érdekében, hogy egy magasabb hőmérsékletű környezetben a túlmelegedést mennél inkább lelassítsuk.

Komoly fejtörést okozott a csapat mérnökei számára az energiaellátás kérdése. A TriTel méréséhez mintegy 3–5 W teljesítményt kellett biztosítanunk megközelítőleg 24 órán keresztül, hogy biztosan legyen elegendő energiánk egy hosszabb küldetés esetére is (számításba kellett vennünk, hogy a felbocsátás akár 3–10 órán át is húzódhat, ahogyan ez a mi esetünkben be is következett). Végül azokra az elemekre esett a választásunk, melyeket az ESRANGE űrbázison is használnak a ballon kommunikációs rendszerének táplálására. Kilenc elemből építettünk egy elemegységet. Minden ilyen egység hőszigetelést, illetve saját termisztort és fűtést kapott annak érdekében, hogy a leadott energiája az optimális érték közelében maradjon a teljes küldetés során.

A sok tervezés és fáradhatatlan munka eredményeképpen összeállt és megépült egy olyan kísérleti koncepció, amely a mi és az ESA szakértők elvárásainak is magasan megfelelt (7. ábra).



7. ábra A végleges CoCoRAD tervek (balra, kép: Csőke Antal), a kész CoCoRAD kísérlet (jobbra, kép: Apáthy István)

A történelmi pillanat: felbocsátás az ESRANGE űrbázisról – 2011. szeptember 27.

A kísérlet megépítését követően közel egy hónapon keresztül teszteltük a különböző funkciókat, igyekeztünk előállítani minden lehetséges hibaforrást és javítani a felmerülő problémákat. Az ESA szakértők többször is meglátogattak bennünket, és ellenőrizték a munkánkat. Szeptember elejére elkészültünk minden szükséges teszttel és megkaptuk a zöld utat

az utolsó ESA felülvizsgálat során, így útnak indítottuk a kísérletet Svédországba. Egy héttel később mi magunk is repülőre szálltunk, hogy kiutazzunk az űrbázisra a felbocsátás idejére.

Útban a bázisra lehetőségünk nyílt egy kicsit bejárni Stockholm városát, azonban a szép idő ellenére a felbocsátás izgalma már elvonta a figyelmünket a város szépségeiről. Egy borongós péntek éjjel érkezünk meg az űrbázisra. Másnap reggel pedig kezdődött is az első megbeszélés a bázis személyzetével, melynek során áttekintettük az egy hétre tervezett felbocsátási program minden apró lépését. A tervek szerint két ballont (BEXUS-12 és -13) kellett útnak indítani öt nap alatt. A mi kísérletünk a BEXUS-12 fedélzetén repült, a munkát a hét elején erre a gondolára összpontosították, hiszen az első alkalmas időjárás esetén el akarták indítani.

A hétvégén lehetőséget kaptunk, hogy dolgozzunk a kísérletünkön. Végrehajtottunk egy utolsó teljes funkcionális tesztet, majd pedig kezdődtek is a hivatalos végső tesztek. Összeszereltük a kísérletünket a gondolába, majd a bázis személyzete beépítette a gondola kiszolgáló rendszereit, kommunikációs rendszerét és a teljes kábelezést. Ezt követően a hétfői nap folyamán egy interferencia-teszt következett, amikor bizonyítanunk kellett, hogy a kísérletünk nem zavarja a gondola fedélzeti rendszereit. A tesztek során egy német diákcsoporttal együttműködésben kellett dolgoznunk, hiszen a BEXUS-12 gondolán közösen osztottak a kísérleteink. A németek szélsébsége, áramlási irányt és külső hőmérsékletet terveztek mérni. Ennek érdekében távtartó szerkezeteket erősítettek a gondolára, hiszen a gondola keltette turbulens zónán kívül szerettek volna mérni. Végeredményben a gondolánk úgy festett, mint valamiféle rovar a csápjaival (8. ábra). Szerencsére az interferencia-tesztek gond nélkül lezajlottak. A gondolat elhelyezték egy lezárt hangárban és nekünk már nem volt szabad módosításokat végrehajtanunk rajta a felbocsátásig.



8. ábra A BEXUS-12 gondola a Herkulesen. (Kép: Litos)



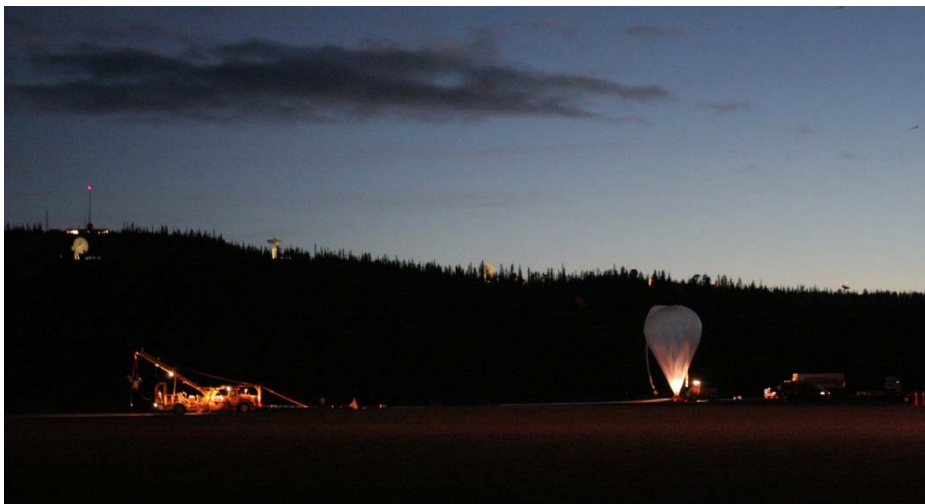
9. ábra A CoCoRAD bekapcsolása. (Középen: Váradi Zsolt, kép: Litos)

Másnap reggel izgatottan ébredtünk, habár szitáló eső és sűrű köd fogadott bennünket, mégis bizakodtunk egy lehetséges indításban. A reggeli megbeszélésen az időjárás-előrejelzés azt jósolta, hogy délre kitisztul az idő, így megszületett a döntés, hogy kezdődjön a három órás visszaszámlálás délelőtt tíz órakor. Ennek fényében nekiláttunk a repülés előtti teendőkhöz. Kiolvastuk a Pille dózismérőket, töröltük a TriTel memóriáját, valamint beszereltük a repülésre szánt elemegységünket. Azonban az időjárás nem javult és a visszaszámlálást megszakították. Idegörlő várakozás következett.

Jó két óra telt el, mire elállt a szemerkélő eső és elkezdtek az előkészületeket a ballon felállításához. Minden készen állt az indításhoz, mindkét kísérletet bekapcsolták és élt a kommunikáció is a földi irányítással. Mi is kaptuk folyamatosan az adatokat a TriTeltől, miközben kint várakozott az indítópadon. Ekkor azonban megerősödött a szél, így ismét megszakították a visszaszámlálást és kikapcsolták a kísérleteket. Nem merték kockáztatni az indítást ilyen körülmények között. Újabb három óra telt el, miközben vártuk, hogy jobbra forduljon az idő.

Este hat óra felé járhatott az idő, amikor megszületett a döntés, hogy elindítják. Újra bekapcsolták a kísérleteket (9. ábra), elindult a kommunikáció. Ezúttal elkezdtek feltölteni héliummal a ballont, és erről a pontról pedig már nem volt visszaút. A töltés sziszegő hangja az egész környéket betöltötte, miközben a diákok és az ESA szakértők a hangár kapujából figyelték a felbocsátás utolsó lépéseit.

A végső pillanatokban a sziszegés elhalkult, majd nem sokkal később eloldották a rögzítő kapcsolatokat, és a BEXUS-12 gond nélkül útjára indult. A hatalmas ballont a félhomályban egy darabig követtük szemmel is, míg bele nem veszett az éjszaka sötétjébe. Legnagyobb megnyugvásunkra azonban a kommunikáció hibátlanul működött és folyamatosan kaptuk a TriTellel mért adatokat a ballon fedélzetéről.

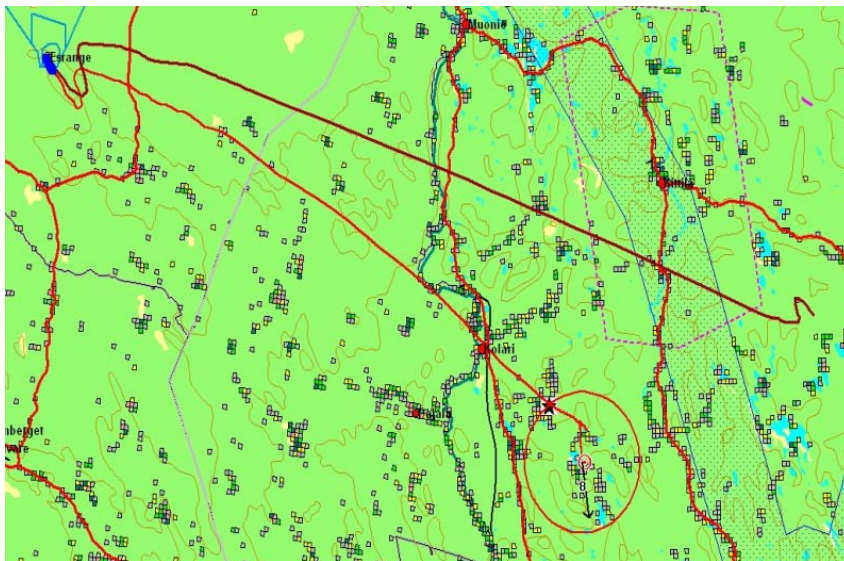


10. ábra A BEXUS-12 felbocsátása. (Kép: Litos)

A teljes repülés időtartama valamivel több mint négy óra volt. Ebből megközelítőleg két órát töltött a ballon 27,6 km-es csúcsmagasságban. A landolásra nem sokkal éjfél után került sor, ekkor mi is elvesztettük a kapcsolatot a kísérletünkkel. Némi izgalmat okozott, hogy a térképen nyomon követve a leszállást, meglehetősen közel került a ballon egy nagyobb tóhoz. Szerencsére azonban a parton a fenyőfák tetejére érkezett a gondola és nem a vízben kötött ki. Három nappal később helikopterrel hozták vissza a bázisra a BEXUS-12 és -13 gondolákat a kísérletekkel együtt. Legnagyobb örömünkre nem találtunk látható sérülést a kísérletünkön, és a megérkezés után is hibátlanul működött a TriTel minden funkciója. A kísérlet teljes sikerrel zárult!

Előzetes eredmények a BEXUS-12 CoCoRAD küldetésből

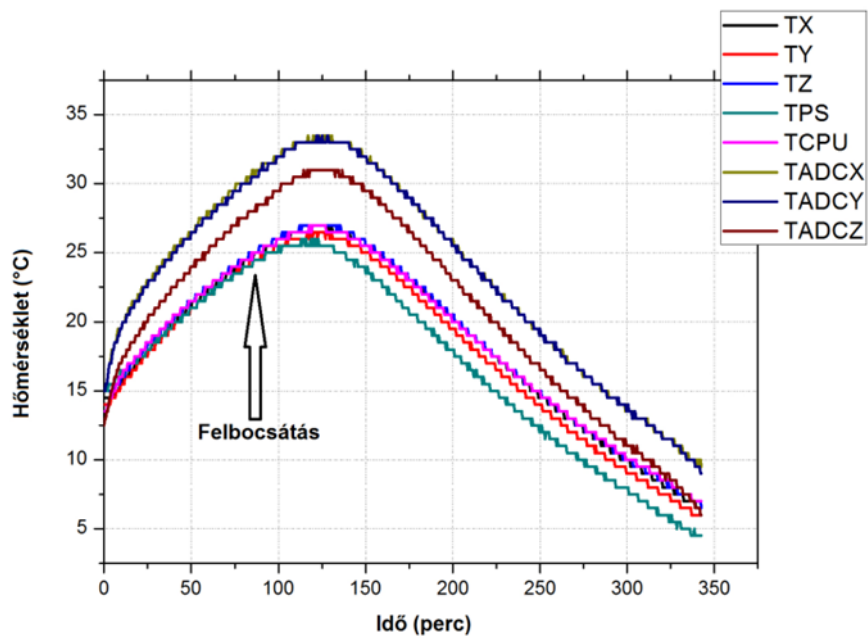
A repülés időtartama 27,6 km magasságban mintegy két óra volt. Ennek jelentősége a Pille mérések esetében van, hiszen az óránként mérhető dózis csupán egy nagyságrenddel haladja meg a Pille kristályok érzékenységi határát. A ballon repülését a 11. ábra szemlélteti, ahol sötétvörös szín jelzi a tervezett, és világosvörös szín a tényleges (délebbre húzódó) repülési trajektóriát.



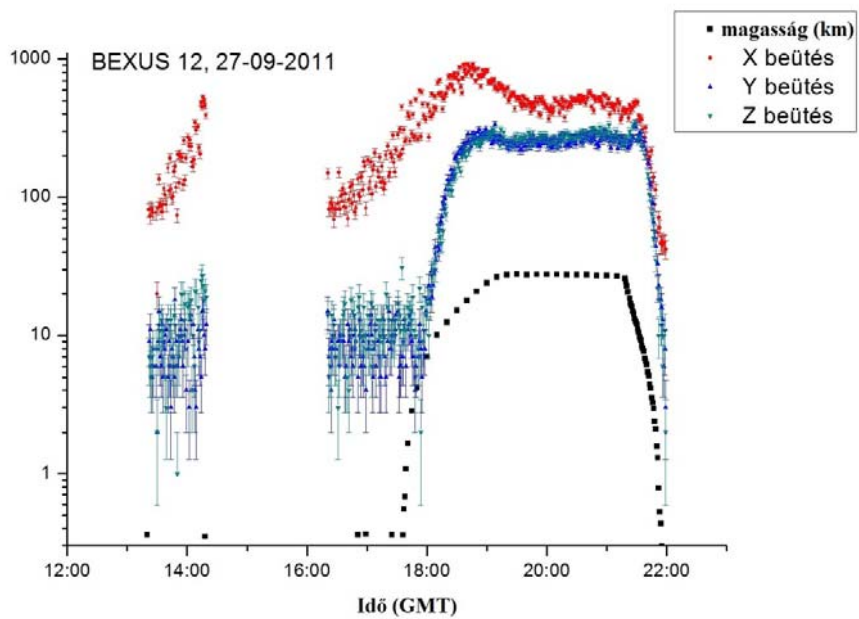
11. ábra A BEXUS-12 repülési trajektória. (Kép: SSC)

A BEXUS-12 repülése során nagy mennyiségű adatot kaptunk a kommunikációs rendszeren keresztül. Minden fél percben érkeztek technológiai adatok (hőmérsékletek, feszültségek, áramerősségek) a TriTel belső érzékelőitől, illetve tíz percenként érkeztek a mért leadottenergia- és időspektrumok.

A 12. ábrán szemléltettük a TriTel belső hőmérsékletmérő szenzorainak az adatait a BEXUS-12 repülése idejére. Az ábrán bejelöltük az indítás pillanatát is. A mért értékek verifikálják a fejlesztés során felállított hőtani modellt, hiszen a hőmérséklet $+30^{\circ}\text{C}$ és -40°C között maradt a teljes küldetés alatt. Az indítópádon történt várakozás során a belső hőmérsékletek emelkedtek, majd pedig az indítást követően – ahogy a külső hőmérséklet csökkent – a belső hőmérsékletek emelkedése megállt és fokozatos csökkenésbe ment át. A további kiértékelések során pontosan össze fogjuk hasonlítani a TriTel belső hőmérsékleteit a ballon saját rendszerei által mért külső hőmérséklet adatokkal.



12. ábra A mért hőmérsékletek



13. ábra A BEXUS-12 repülése során mért időspektrum. (Kép: Dr. Hirn Attila)

A 13. ábrán foglaltuk össze a TriTel által mért összesített időspektrumot a küldetés időtartamára. Láthatjuk a grafikonon, hogy a tényleges felbocsátás előtt egyszer bekapcsoltuk a kísérletet, amit aztán egy kikapcsolás követett a felbocsátás halasztása miatt. Az is kiderül ebből a bekapcsolásból, hogy a pirossal jelzett detektor által mért beütésszámok (X beütés) jelentősen növekednek, míg a többire ez nem jellemző. Ez arra utal, hogy ezen detektornak a hőmérsékletfüggése nem elhanyagolható, amit ki kell majd vizsgálnunk. A repülés során mért adatokon is látható, hogy a piros beütésszámok eltérnek a másik két detektor által mért eredményektől, ez is a detektor nagyobb zajára és hőmérsékletfüggésére utal. A grafikon tanúsága szerint az emelkedés során az elvártan megfelelően növekedtek a beütésszámok, majd pedig 20 km magasság környékén – ahol vártuk – a Pfozter-maximumot is detektáltuk, erre utal a konstans tartomány előtti kisebb csúcs. Ugyanezen csúcs jelenik meg a leszállás során is, azonban sokkal élesebben, hiszen az ereszkedés lényegesen gyorsabb volt, mint az emelkedés. A további munkánk része lesz a mért leadottenergia-spektrumok kiértékelése. Ezáltal következtetéseket vonhatunk majd le a kozmikus sugárzási környezetre vonatkozólag a BEXUS-12 küldetésre.

A Pille dózismérők által mért teljes elnyelt dózis megközelítőleg $21,8 \mu\text{Gy}$ volt. Ezt az értéket összevetve a referencia dózismérők által mért $6,3 \mu\text{Gy}$ átlagos értékével és a $27,6 \text{ km}$ -es magasságban végrehajtott repülés megközelítőleg két órás időtartamával az átlagos dózisteljesítmény mintegy $7,8 \mu\text{Gy/h}$ volt a BEXUS-12 küldetés során, ami jól egyezik az ebben a magasságtartományban és ezen a földrajzi szélességen várható értékekkel.

Zárszó és köszönetnyilvánítás

A BEXUS-12 CoCoRAD küldetés sikerrel zárult, hiszen első alkalommal vettek részt magyarok ebben a programban és nyerték el az ESA szakértőinek elismerését. A program keretében világszínvonalban is jelentős szakmai képzésen vehettünk részt, ahol rengeteg tapasztalattal és élménnyel lettünk gazdagabbak. A felbocsátás során pedig felbecsülhetetlen értékű adatokhoz jutottunk, melyek alapján a TriTel jövőbeli fejlesztése is új irányt vehet, hogy mire az űrállomás fedélzetére felkerül, már hibátlanul végezhesse feladatát. Reméljük, hogy a példánk lelkesítőleg hat majd a jövő fiatal magyar űrkutatóinak a generációira is, és mind több és több tehetséges kutató fogja öregbíteni a hazai űrkutatás hírnevét.

A szerző köszönetét fejezi ki mindazoknak a munkájáért, akik nélkül a CoCoRAD kísérlet nem valósulhatott volna meg. Elsősorban azoknak a hallgatóknak, akik a csapat tagjaként munkájukkal hozzájárultak a sikerhez: Váradi Zsoltnak, Goldschmidt Gergelynek és Király Richárdnak. Köszönet illeti Dr. Zagyvai Pétert, aki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanáraként elvállalta, hogy támogató professzora lesz a csapatnak. Külön köszönet illeti Dr. Hirn Attilát, akinek áldozatos segítsége és támogatása folyamatos támasza volt a magyar diákoknak a program során. Köszönet az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet mindazon munkatársainak, akik időt és fáradságot nem kímélve segítettek munkánkat (Apáthy István, Cseri Sándor, Csikós József, Csőke Antal, Dr. Deme Sándor, Dr. Pázmándi Tamás, Szántó Péter), valamint köszönet Bodnár Lászlónak (BL-Electronics) a TriTel hardver módosításában nyújtott segítségével. Köszönet az Űrvilág szerkesztőségének a folyamatos tudósításokról a CoCoRAD kísérlet kapcsán.

Továbbá a szerző külön köszönetét fejezi ki az ESA szakértőknek és az Oktatási Iroda mindazon munkatársainak, akik a munkájukkal, tanácsaikkal folyamatosan segítettek a CoCoRAD csapatot az előrehaladásban: Adam Lambert, Dr. Alan Owens, Helen Page, Koen Debeule, Mark Fittock, Mark Uitendaal, Martin Siegl, Olle Persson, Paul Stevens.

A BEXUS CoCoRAD kísérlet finanszírozása a 4000103810/11/NL/KML számú PECS szerződés keretében valósul meg.



14. ábra A BEXUS-12 és -13 küldetés diákjai a szervezőkkel. (Kép: ESA)

Irodalomjegyzék

- [1] EuroLaunch: BEXUS User Manual (2010), REXUS User Manual (2010)
- [2] EURADOS, radiation protection 85. In: McAulay I., et al. (eds.): *Exposure of air crew to cosmic radiation*, EURADOS Report 1996-01, Luxembourg, pp. 1–77, 1996
- [3] Schaefer H.J.: Radiation and man in space, *Advances in Space Science*, Vol. 1, pp. 267–339, 1979
- [4] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvolgyi J., Szabó P.P., Csőke A., Ránky M., Akatov Yu. A.: A new Thermoluminescent Dosimeter System for Space Research, *Advances in Space Research*, Vol. 1, pp. 61–66, 1981
- [5] Pázmándi T., Deme S., Láng E.: Space dosimetry with the application of a 3D silicon detector telescope: response function and inverse algorithm, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 120, pp. 401–404, 2006