

Ballon technológiai platform fejlesztése a kozmikus sugárzás monitorozására az Európai Űrügynökség BEXUS programja keretében

Zábori Balázs

TECHDOSE csapatvezető, MTA Energiatudományi Kutatóközpont

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatóiból álló CoCoRAD diákcsoport Magyarországról elsőként vehetett részt 2011-ben az Európai Űrügynökség BEXUS (Balloon Experiments for University Students) programjában. A kísérlet sikerén felbuzdulva – valamint tekintetbe véve a kozmikus sugárzás kutatásának jelentőségét és tudományos fontosságát – az idei évben is sikerrel jutott be a BEXUS program hivatalos csapatai közé a hazai egyetemek hallgatóiból álló TECHDOSE diákcsoport, hogy az előző évi kísérletet tovább bővítvén egy még komplexebb és a jövőben is felhasználható ballon technológiai platformot és mérési módszert alkossanak meg a kozmikus sugárzás és hatásainak mérésére a sztratoszférában.



A TECHDOSE diákcsoport és a BEXUS program

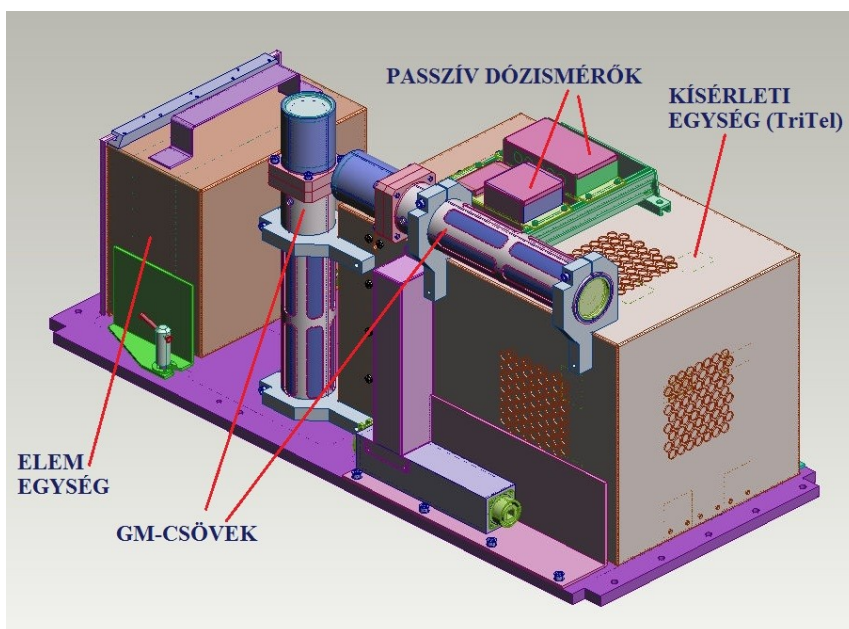
Az Európai Űrügynökség (ESA) oktatási programja keretében évről évre meghirdetésre kerül diákcsoportoknak a REXUS/BEXUS sztratoszférikus rakéták és ballonok fedélzetén kísérletek kivitelezésének lehetősége. Hazánkból 2011-ben jutott be elsőként egy diákcsoport (CoCoRAD), melyet a rákövetkező évben további sikeres magyar pályázatok követtek, közöttük a TECHDOSE kísérlet. A csapat egyik különlegessége, hogy a tagjai Magyarország számos régiójának egyetemén tanulnak (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Pannon Egyetem, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Debreceni Egyetem), valamint a kísérlet hazai kutatóhelyek összefogásával valósul meg, hogy a nemzetközi tudományos közösség számára is színvonalas eredményeket mutathassanak fel a diákok.

A kísérlet felépítése és a tudományos célok

Napjainkban a kozmikus sugárzási környezet tanulmányozása egyre nagyobb hangsúlyt kap a növekvő légi forgalom és az emberes űrutazások gyakorisága következtében. A sugárzás szempontjából legkevésbé ismert térségek egyike a sztratoszféra, ahol változatos kozmikus környezet alakul ki a Föld mágneses mezeje, valamint a légkör és az elsődleges kozmikus részecskék kölcsönhatása eredményeképpen. Ezen régió vizsgálata csak légköri kutatóballonokkal lehetséges, melyek akár huzamosabb ideig is képesek egy adott magasságban repülni és méréseket végezni.

A BEXUS ballonok átlagos repülési magassága mintegy 25–30 km, a repülési idő megközelítőleg 4–6 óra. A felbocsátás helyszíne az Észak-Svédországban található ESRANGE űrbázis [1]. Mindezen tulajdonságok ideálissá teszik a BEXUS programot a kozmikus sugárzás vizsgálatára irányuló kísérletek kivitelezésére. A TECHDOSE kísérlet az előző évben repült CoCoRAD kísérlet kibővítése további sugárzásmérő műszerekkel, annak érdekében, hogy a lehető legteljesebb képet kapjunk a mérési eredményekből a sugárzást alkotó részecskékre vonatkozólag. A kísérletben helyet kapott az MTA Energiatudományi

Kutatóintézetében kifejlesztett TriTel háromtengelyű űrdozimetriai teleszkóp [2], amely egy félvezető technológián alapuló sugárázmérő műszer. Ezen kívül két Geiger–Müller-számlálócső alkotta még az aktív, valós idejű monitorozást a repülés során. Felhasználtunk még számos passzív mérőrendszert is. Ezek közé sorolhatóak különböző termolumineszcens anyagok és TL dózismérő rendszerek (pl. Pille, [3]), illetve neutron nyomdetektorok, melyek kiértékeléséből a termikus neutronok részarányára vonhatunk le következtetéseket. Ez utóbbi különösen nagy jelentőséggel bír, hiszen ebben a magasságtartományban a neutronok aránya a 40%-ot is megközelítheti [4].



1. ábra A TECHDOSE kísérlet felépítése (kép: Csőke Antal)

A BEXUS-14 felbocsátása az ESRANGE bázisról

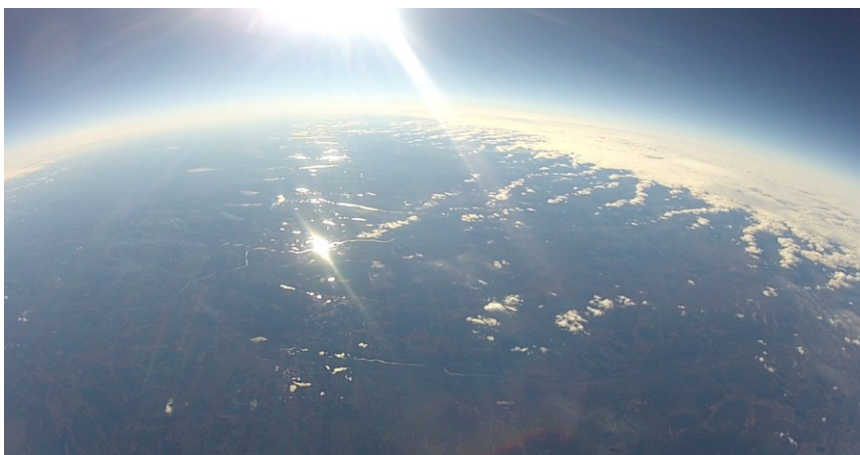
A felbocsátás egy közel egy éves munka végső állomása, melynek keretében számos szakmai felülvizsgálatot teljesítettünk, tervezési és kivitelezési problémákat oldottunk meg és végül eljutottunk az ESRANGE űrbázisra, hogy felkészüljünk a program utolsó szakaszára.

A bázisra való megérkezés és a felbocsátás között alig telt el több mint három nap, így a munka meglehetősen feszített tempóban zajlott. A megérkezést követő napokban került sor a kísérletünk integrációjára a gondolába, egy teljes funkcionális rendszertesztre, valamint a legfontosabb kritérium vizsgálatára, ami az elektromágneses kompatibilitás vizsgálata a ballon saját kommunikációs rendszerével. A gondolán egy német csapattal osztoztunk, akik a gyors neutronok mérését tűzték ki célul. Az Űrügynökség szándékosan helyezte ezt a két kísérletet közös gondolára az eredmények későbbi összehasonlíthatósága érdekében, hiszen a TECHDOSE kísérletben felhasznált nyomdetektorok főként a termikus (lassú) neutronokra érzékenyek, míg a német csapat a gyors neutronokat szándékozott mérni. Így a két mérés eredményeinek összevetéséből a neutronenergia tartomány egy jelentős részére vonatkozólag vonhatunk majd le következtetéseket.



2. ábra A BEXUS-14 előkészítése a repülésre (kép: SSC)

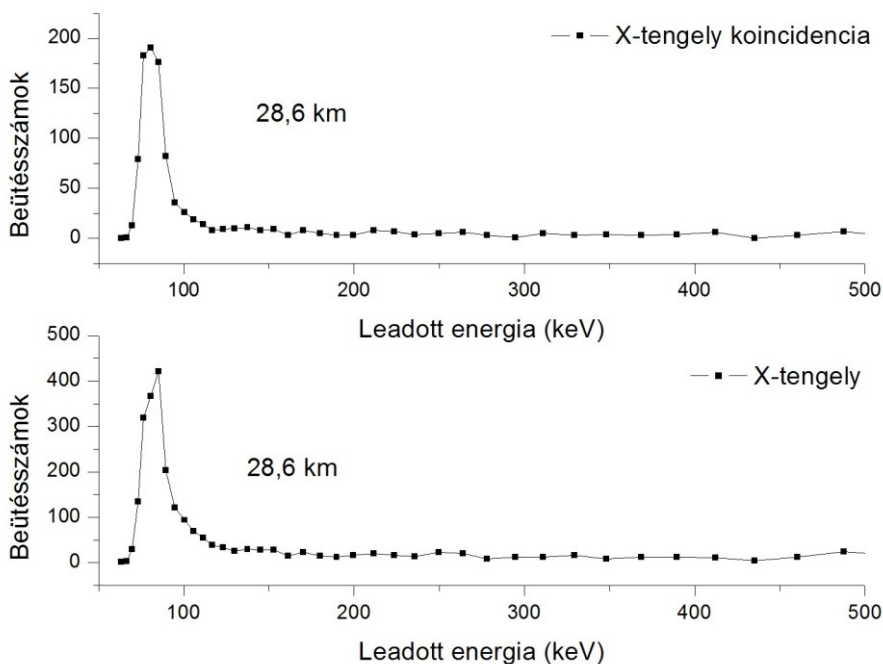
A BEXUS-14 felbocsátására 2012. szeptember 24-én 13 óra tájékán került sor. Ragyogó napsütésben kísérhettük végig a repülést, melyhez alig társult szélmozgás, így a ballon mindösszesen 50 km-re távolodott el a bázistól és a tiszta időben a levágást is láthattuk szabad szemmel megfigyelve. A repülési magasság mintegy 28,6 km volt. A repülés teljes időtartama alatt – fel- és leszállással együtt 4 óra – hibátlanul kommunikáltunk a kísérletünkkel, megkaptuk az összes adatot és az előzetes feldolgozást végző szoftverünk segítségével az első eredményeket is élőben követhettük nyomon. A rákövetkező napon helikopter hozta vissza a gondolánkat, melyből kisereltük a kísérletet, letöltöttünk minden adatot és kiolvastuk a passzív dózismérők egy részét a helyszínen.



3. ábra A Föld megközelítőleg 22 km magasságból nézve a BEXUS-14 fedélzetéről (kép: TECHDOSE)

Előzetes mérési eredmények és jövőbeli kilátások

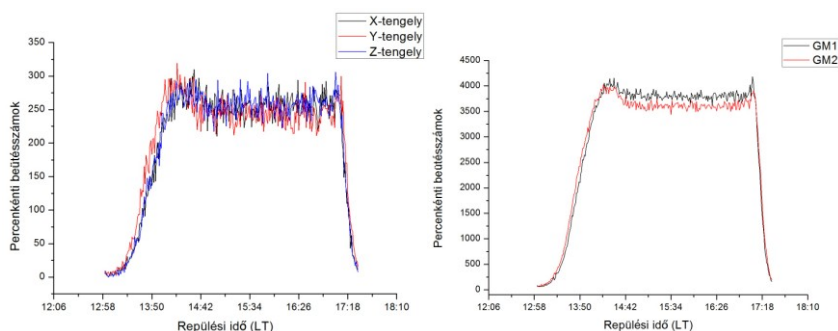
A repülés során tíz percenként rögzítettünk energiaspektrumokat a TriTel segítségével, valamint perces időlépéssel időspektrumokat a TriTellel és a Geiger–Müller-számlálókkal. A számlálósöveket egymásra merőlegesen helyeztük el, így lehetővé téve irányfüggés detektálását is. A 4. ábrán a TriTel által 28,6 km magasságban rögzített egyik energiaspektrum látható. Az alsó grafikon a koincidencia mérést mutatja (a TriTel minden detektora két, párhuzamos szilícium lapot tartalmaz, melyek együttes detektálása esetében beszélünk koincidenciáról). A grafikonokon azt láthatjuk, hogy a beütések jelentős hányada a spektrum kisenergiás részében található (1 MeV alatt), valamint az egészen nagy energiák esetében is tapasztalunk beütéseket, melyek különösen nagy energiás kozmikus részecskéktől származnak.



4. ábra Alul egy TriTel által mért energiaspektrum, felül egy TriTel által mért energiaspektrum koincidencia módban

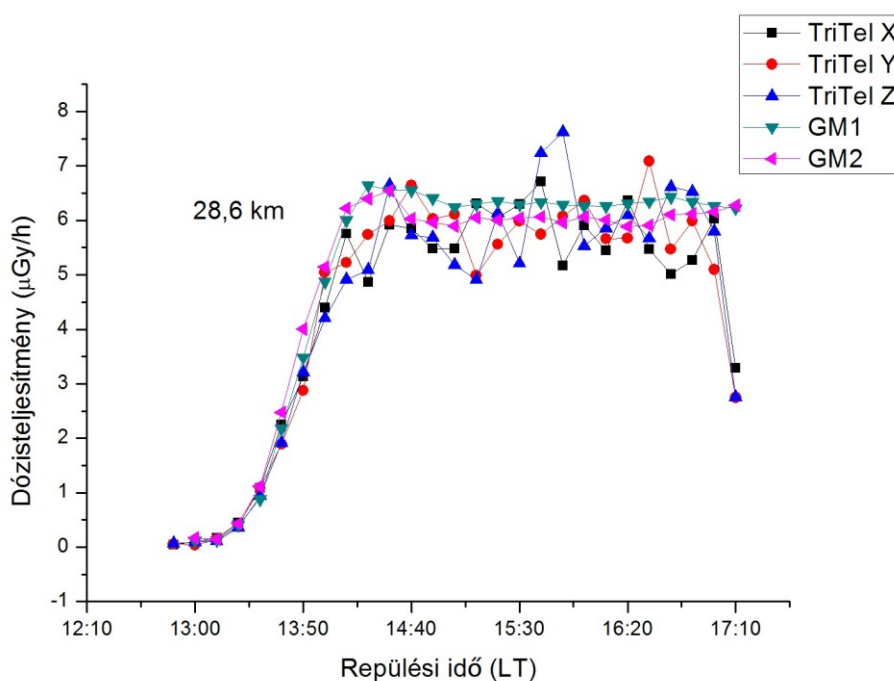
Az 5. ábrán a TriTel és a Geiger–Müller-számlálók által mért időspektrumok vannak együtt feltüntetve. A két mérőműszer által mért grafikonok lefutásukban jó egyezést mutatnak. Mindkét esetben megjelenik 20 km magasság környékén a várt Pfotzer-maximum, amely a másodlagosan keletkező részecskék által okozott részecskefluxus-maximum. Szintén jól megfigyelhető a sugárzás irányfüggése és ennek változása a repülés során mindkét adatsor esetében. A TriTelnél a vízszintes síkban mért két tengely és a függőleges síkban elhelyezkedő tengely adatai között, valamint a GM-csövek esetében a két, egymásra merőleges cső adatsora között tapasztalunk összefüggést. A fel- és a leszállás során a vízszintes síkban érzékenyebb műszerek adtak nagyobb beütésszámokat, míg ez a tendencia a Pfotzer-maximum környékén megfordult a függőleges irányban érzékenyebb műszerek javára. Mindez azt jelenti, hogy egyre nagyobb magasságok felé haladva a részecskesugárzás irányított-sága megváltozik és a többsége a világűr irányából érkezik. Kisebb magasságokban a légkör

szóró hatása következtében és a másodlagosan keletkező részecskék miatt ez a hatás már nem érvényesül.



5. ábra A TriTel (balra) és a Geiger–Müller-számlálók (jobbra) által mért időspektrumok

A 6. ábrán a TriTel és a GM-csövek által rögzített dózisteljesítményeket tüntettük fel. A két műszer által mért eredmények jó egyezést mutatnak, továbbá a passzív dózismérő rendszerek segítségével előzetesen nyert eredmények is hasonló dózissokról tanúskodnak. Megállapíthatjuk, hogy a közel 4 órás BEXUS-14 repülés többletdózisa mintegy $15,2 \mu\text{Gy}$ volt, az átlagos dózisteljesítmény a repülési magasságban pedig $6\text{--}6,5 \mu\text{Gy/h}$. Összehasonlításképpen ez az érték a Föld felszínén a kozmikus sugárzásból eredő dózisteljesítménynél mintegy két nagyságrenddel nagyobb.



6. ábra A TriTel és a Geiger–Müller-számlálók által mért dózisteljesítmények

A nyomdetektorok által mért eredmények elemzése jelenleg is folyamatban van. Előzetesen megvizsgáltuk, hogy a detektorok érzékenységi határa feletti beütésszámokat rögzítettünk, így hamarosan lesznek számszerű adataink a termikus neutronokra vonatkozólag is.

A jövőbeli terveink között szerepel esetleges további ballonos mérések megvalósítása ezzel a mérési összeállítással, valamint egy tervezett rakétakísérlet a GM-csövek felhasználásával. Ez mintegy 50–60 km magasságig bővítené ki a BEXUS-14 repülése során kapott adatokat, további elemzésre biztosítva lehetőséget.

Zárszó és köszönetnyilvánítás

A TECHDOSE diákcsoport sikerrel tervezett meg és épített fel a korábbi CoCoRAD BEXUS kísérletet felhasználva egy kozmikus sugárzást monitorozó és vizsgáló kísérleti összeállítást, mely 2012 szeptemberében repülhetett az ESRANGE űrbázisról. A repülés teljes sikerrel zárult, az összes mérési adatot megkaptuk, melyeknek a részletes kiértékelése jelenleg is folyamatban van. A kapott adatok tudományos szempontból is jelentős eredményeket szolgáltatnak, melyekből a közeljövőben a hazai tudományos közösséget gazdagító nemzetközi publikációk születnek majd.

A szerző köszönetét fejezi ki mindazoknak a munkájáért, akik nélkül a TECHDOSE kísérlet nem valósulhatott volna meg. Elsősorban azoknak a hallgatóknak, akik a csapat tagjaként munkájukkal hozzájárultak a sikerhez: Gyovai Ágnes, Ludmány Orsolya, Korsós Marianna Brigitta, Hurtony Tamás, Pálfalvi József és Mesterházy Dávid. Köszönet illeti Dr. Zagvyai Pétert, aki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanáráként 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 Energiatudományi 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). A csapat köszönetét fejezi ki a BL-Electronics cégnek az elektronikai fejlesztésekben nyújtott segítségéért. Köszönet az Űrvilág szerkesztőségének a folyamatos tudósításokról a TECHDOSE 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 TECHDOSE csapatot az előrehaladásban: Alex Kinraid, Dr. Alan Owens, Helen Page, Koen Debeule, Mark Fittock, Martin Siegl, Olle Persson, Paul Stevens, Mikael Inga.

A BEXUS TECHDOSE kísérlet finanszírozása a 4000107210/12/NL/KML számú PECS szerződés keretében valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] EuroLaunch: BEXUS User Manual (2010), REXUS User Manual (2010)
- [2] Pázmándi T., Deme S., Láng E. (2006): Space dosimetry with the application of a 3D silicon detector telescope: response function and inverse algorithm. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 120, pp. 401–404
- [3] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvolgyi J., Szabó P. P., Csőke A., Ránky M., Akatov Yu. A. (1981): A new Thermoluminescent Dosimeter System for Space Research. *Advances in Space Research*, Vol. 1, pp. 61–66
- [4] 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



7. ábra A BEXUS-14 gondolája repülés előtt és a TECHDOSE csapat néhány tagja
(balról jobbra: Pálfalvi József, Zábori Balázs, Gyovai Ágnes, Hurtony Tamás)