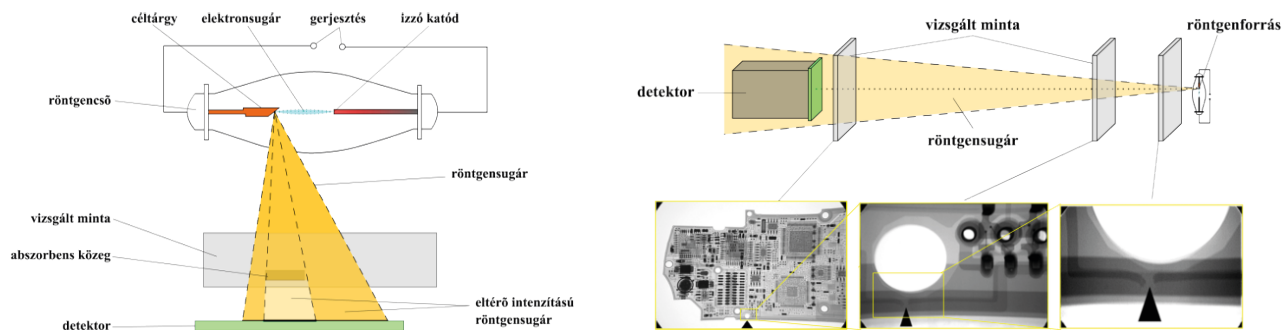


# Röntgenmikroszkópos vizsgálatok az űrtechnológia szolgálatában

Az űrtevékenységgel kapcsolatos tervezői munka számos nehézséget rejt magában. A világűr mint működési környezet – szélsőséges fizikai paraméterek sokszor egymást erősítő hatásával – megnehezíti az űrkatatási, vagy űrtechnikai eszközök működését. Az esetek döntő többségében alkalmazott távüzemel-

rán tapasztalhatók. A teljes projektköltség viszont csak töredéke az űrküldetéseknek. Az utóbbi időben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elektronikai Technológia Tanszéke (BME ETT) a Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Kutatóközpontjával (MTA EK) közösen több magaslégtéri kísérletben vett részt.

A küldetés során 4 darab Centronic ZP1210-es GM-csővet alkalmaztunk a kozmikus sugárzás mérésére. A csövek merőleges elrendezésének köszönhetően lehetőség volt a sugárzás irányfüggő viselkedésének kimutatására. Technológiai demonstrációs kísérlet céljából a mérési összeállításban helyet kapott to-



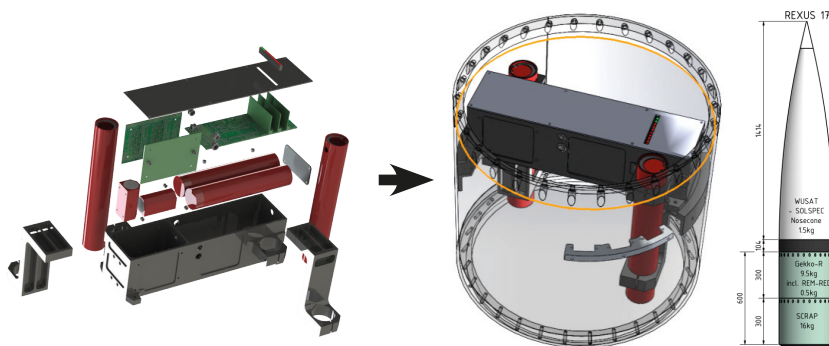
1. ábra. Balra: Röntgensugárral történő képkalkítás sematikus rajza. A minta egyes elemei más-más mértékben nyelik el a röntgensugarakat, ezáltal kontrasztos kép jön létre a detektoron. Jobbra: A geometriai nagyítás elvét szemléltető ábra. A forráshoz közelebb lévő minta képe nagyobbak látszik

tetés kizárja az esetleges javítási lehetőségeket, ezért a nagyobb megbízhatóság eléréshez körültekintőbb tervezésre, precízebb kivitelezésre és még több tesztre van szükség. A felsorolt tényezők többletköltséget jelentenek, végeredményben jelentősen drágítva a küldetést [1–2]. Az űrtechnikai alkalmazásokban a repülő példányt is teljeskörűen tesztelik, ezért nagy jelentősége van a roncsolásmentes analitikai módszereknek, mert alkalmazásukkal szerkezeti károsodás kockázatát nélkül vizsgálhatjuk az űreszközöket. Ilyen roncsolásmentes vizsgálati módszer például a röntgenmikroszkópos vizsgálat, melynek során a minta belsejében található, eltérő röntgenelnyelő-képességű szerkezeti elemek kontrasztos képet hoznak létre a detektoron. A geometriai nagyítás elvét kihasználva, a röntgenforráshoz közelebb elhelyezkedő tárgy képe nagyobbak látszik a detektoron, ezáltal olyan kis részletek is vizsgálhatók egy komplex rendszer belsejében, mint a nagy rajzolatlanságú alkatrészekhez vezető fémvezetékek (1. ábra).

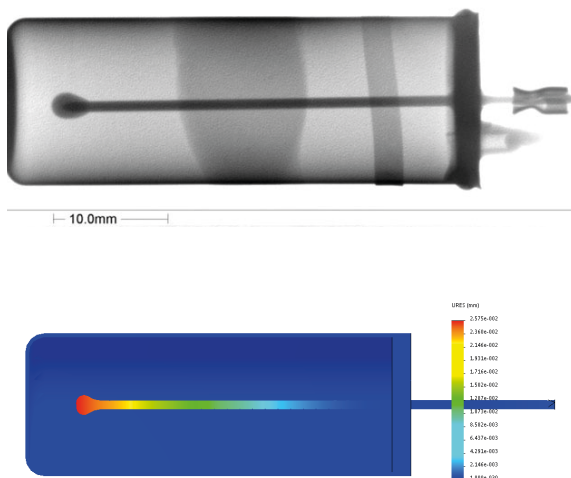
A magaslégtéri rakéta- és ballonkísérletek az űrtechnikai alkalmazások tesztelésének nagyon fontos eszközei, mert az ezek során fellépő hatások sok tekintetben hasonlítanak az űrben folytatott küldetések so-

A REXUS program keretében például egy továbbfejlesztett Orion típusú rakéta fedélzetén 90–100 km magasságban Geiger-Müller-számlálókon alapuló, kozmikus sugárzást mérő kísérletet végeztünk. A küldetés tervezésének és kivitelezésének több fázisában is segítségünkre volt a BME ETT hibaanalitikai laborjában működő Dage XD 6600 típusú analitikai röntgenberendezés.

vábbi két darab, 49,2x15,1 mm méretű ZP1200 típusú GM-cső, hossz tengelyekkel egymásra merőleges elrendezésben (2. ábra). Az előzetes tervezési fázisban (Preliminary Design Phase) elkészítettük a ZP1200 CAD rajzait, hogy mechanikai szimulációk segítségével eldönthető legyen az ilyen típusú csövek alkalmazhatósága egy rakétakísérletben. A CAD modellhez szükséges anyagi paramétereket elektron-



2. ábra. A REXUS-17-es rakéta fedélzetén repült REM-RED kísérleti összeállítás robbantott rajza és a tudományos kísérlet rakétamodulban elfoglalt helye. A hat darab GM-cső merőleges elrendezésben mérte a kozmikus sugárzást



**3. ábra.** ZP1200 típusú Geiger–Müller-cső röntgenmikroszkópos felvétele és a 3D modelljén végzett statikus szimuláció eredménye 20g terhelés hatására

sugaras mikroanalízis (SEM-EDX) segítségével határoztunk meg, szintén a BME ETT hibaanalitikai laborjában. A fém katódos GM-cső belső szerkezete kívülről szabad szemmel nem látható, ezért röntgenmikroszkópban a megfelelő tárgysík megválasztása után megmértük a belső struktúra méreteit. A **3. ábra** röntgenmikroszkópos képén látható, hogy a ZP1200 cső anódja csak egyik oldalán rögzül a katód testtől elszigetelő zárósapkán. Az ilyen típusú elrendezés különösen érzékeny lehet a külső mechanikai rezgésekre, ezért a statikus szimulációk mellett dinamikus számításokat is végeztünk.

A dinamikus szimulációk bemenő paraméteréül szolgáló mechanikai terhelést a REXUS User Manual [3] adatai alapján tápláltuk a szimulációba. A GM-cső működése szempontjából az anód kihajlása kritikus kérdés, hiszen a tipikusan 400–600 voltra előfeszített GM-cső esetében a katód-anód távolság csökkenése az átütés kockázatát rejtheti magában. Az anód maximális kihajlása a szimulációk alapján a statikus terhelés hatására következett be. Korábbi REXUS küldetések repülési adatainak tanulmányozása során a statikus terhelés maximumát 20 g-nek választottuk, ekkor az anód kihajlása kb. 25  $\mu\text{m}$ , ami a névleges anódvastagság 1/40-ed része. Ilyen mértékű deformáció még nem okoz érezhető karakterisztikatorzulást vagy átütést a GM-cső működése során. A GM-csőveket meghajtó áramkör tervezésénél külön hangsúlyt kellett fektetni a nagyfeszültségű részek helyes szigetelőtávolságának beállítására, amit a beültetett áramkörön szintén röntgenmikroszkóp segítségével vizsgáltunk. A felületszerelési technológiával beülte-

tett alkatrészek forrasztásait egyesével szintén röntgen segítségével vizsgáltuk, gázzárányt és esetleges repedést keresve.

Egy ballisztikus rakétakísérlet teljes repülési ideje jellemzően 4–5 perc, amely idő alatt a külső hőmérsékleti viszonyok ugyan széles tartományban változnak, de a küldetés rövid ideje alatt a nagy hőtehetetlenség következtében nincs idő az állandósult termikus állapot elérésére. A 3D modellen termikus szimulációkat végeztünk és azok eredményeire alapozva a GM-csőveket a kísérleti egység belsejében hőszigetelő anyaggal bélelt alumínium modulokba rögzítettük. A végszerelést követően szintén röntgenmikroszkóppal ellenőriztük, hogy a nagyfeszültségű kivezetések a beépítést követően sehol sem közelítik meg kritikus távolságon belül a környező alkatrészeket.

2015. március 17-én, az észak-svédországi Esrange űrbázisról a REXUS–17-es rakéta sikeresen elstartolt a Geiger–Müller-csővel felszerelt REM-RED kozmikus sugárzás mérő platformmal. A küldetés tudományos és technikai szempontból is sikeresen zárult, sikerült kimutatnunk a kozmikus sugárzás irányfüggő viselkedését, ami a mérési eredményeink alapján kb. 50 km magasságig tapasztalható, ezután izotróp jeleget mutat.

A biztonságkritikus rendszerek analizálásával kapcsolatos tapasztalataikat a BME ETT hibaanalitika csapata azóta is több űrtechnikai vonatkozású tevékenységben sikerrel kamatoztatja. ✎

## Irodalom

- [1] LARSON, Wiley J.; WERTZ, James Richard. Space mission analysis and design. Microcosm, Inc., Torrance, CA (US), 1992.
- [2] WERTZ, James Richard; LARSON, Wiley J. (ed.). Reducing space mission cost. Hawthorne: Microcosm Press, 1996.
- [3] Simon Mawn, REXUS User Manual, Document ID: RX\_UserManual\_v7-11\_08Jan14, version 7.11, 2014.



**Magyar  
Asztronautikai  
Társaság**

*A cikkek a Magyar Asztronautikai Társaság támogatásával jelentek meg.*

## E számunk szerzői

DR. ALMÁR IVÁN űrkutató-csillagász, c. egyetemi tanár, Budapest; DR. BABINSZKI EDIT geológus, PhD, tudományos főmunkatárs, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; DR. BACSÁRDI LÁSZLÓ PhD, intézetigazgató egyetemi docens, Soproni Egyetem, Sopron; DR. BALÁZS LÁSZLÓ PhD, pszichológus, kutatócsoport-vezető, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest; DR. BENECZE GYULA a fizikai tudomány doktora, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Rézecske- és Magfizikai Intézet, Budapest; DR. BOTH ELŐD, csillagász, Budapest; DR. CSABA GYÖRGY professzor emeritus, Semmelweis Egyetem, Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest; DOBOS-KOVÁCS MIHÁLY BSc-hallgató, BME VIK, Budapest; DR. EHMANN BEA PhD, pszichológus, tudományos főmunkatárs, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest; FARKAS PÉTER geofizikus, PhD, ELTE és Geo-Sentinel Kft., Budapest; DR. FREY SÁNDOR PhD, csillagász, MTA CSFK Csillagászati Intézet és Geo-Sentinel Kft., Budapest; GÁSPÁR ANITA informatikus könyvtáros, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; GÉCZY GÁBOR okl. villamosmérnök, Bonn Hungary Electronics Kft., BME SZHVT SMOG-1, Budapest; DR. GRENERCZY GYULA PhD, geofizikus, Geo-Sentinel Kft., Budapest; DR. GSCHWINDT ANDRÁS okl. villamosmérnök, c. egyetemi docens, Budapest; DR. HIRN ATTILA PhD, mérnök-fizikus, tudományos főmunkatárs, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest; DR. HOLLÓSY FERENC biológus, klinikai kutatási munkatárs, KCR, Budapest; DR. HURTONY TAMÁS PhD, egyetemi docens, BME Elektronikai Technológia Tanszék, Budapest; KÓBÁNYAI PÉTER geográfus, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; LAKATOS MÓNKA meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Éghajlati Osztály, Budapest; DR. LENTE GÁBOR egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Kémiai Intézet, Debrecen; DR. MARADI ISTVÁN, okl. villamosmérnök, Budapest; MILE MÁTÉ meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest; DR. RÓZSA SZABOLCS egyetemi docens, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest; SZÉPSZÓ GABRIELLA meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Klíma-modellezési Csoport, Budapest; ZÁBORI BALÁZS fizikus, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest.