

BÁRCZY PÁL – SZŐKE JÁNOS – SOMOSVÁRI BÉLA – SZIROVICZA PÉTER – BÁRCZY TAMÁS

## Magyar anyagtudományos kísérlet a Nemzetközi Űrállomáson

*Ipari habosítási kísérletre került sor a Nemzetközi Űrállomáson 2010. február 7-én. A kísérlet tudományos célja a habképződés és a gravitáció kapcsolatának a tisztázása volt. A technológiai cél pedig kettős: egyrészt bebizonyítani, hogy egy magyar kisvállalkozás is képes technikai eszközöket készíteni az űrkutatás számára, másrészt pedig a habgenerátor gravitációs érzékenységének a kimérése. A mért adatok feldolgozása után habfejlődési modell készül, amit az új fémhabgyártási technológia kidolgozásához lehet majd hasznosítani.*

### Bevezetés

A hab lényegében egy folyadékfolyadékából álló épület. Ha a folyadékfolyadékot megdermesztjük, akkor üreges szilárd testet kapunk, aminek sok előnyös tulajdonsága van. A XXI. század egyik reményteljes anyagtípusa a hab, amit polimerből és kerámiából évtizedek óta sikeresen gyártanak, de fémből csak legújabbban kezdődtek el a gyártási kísérletek. A fémhabgyártási technológia kidolgozásához három nehézséget kell egyszerre legyőzni:

- a nagy fajsúlyú habolvadék gyors összemomlását (ezt a gravitációs erők okozzák);
- a fémolvadék átlátszatlanságát;
- a nagy hőmérséklet okozta technikai nehézségeket.

Ezek a tényezők hallatlan költségessé és hosszadalmassá teszik a fémhab kutatást. Ezért döntött úgy az ADMATIS, hogy az új fémhabgenerátor fejlesztési munkájához kapcsolódóan szimulációs űrkísérletet végez, ahol részecske-stabilizált fémolvadék helyett transzparens vízes szuszpenziót habosít mikrogravitációs körülmények között, s a habképződés folyamatát és a hab cellafalainak leépülését optikai eszközzel vizsgálja. Ez lett a FOCUS (FOam Casting and Utilization in Space, habkészítés és hasznosítás az űrben), amit 2006-ban az ESA SURE nevű nemzetközi pályázatára az ADMATIS benyújtott. Az ESA a beadott 32 pályázatból 10-et fogadott el, köztük az ADMATIS projektjét,

mint a legjobb ipari kis- és középvállalkozástól érkező pályázatot.

- A projekt döntően négy részből állt. Egyrészt tudományos kísérletekkel kellett bizonyítani, hogy az űrállomáson végzett kísérlet választ adhat a feltett kérdésekre. Ezek a kérdések a következők voltak:
- Mekkora szerepe van a gravitációnak a habképződésben?
  - Milyen habgenerátor alkalmas leginkább a gravitációs effektus tompítására?
  - Összefügg-e a habképződés dinamikájával a habszerkezet?

Másrészt meg kellett tervezni és kivitelezni a kísérleti eszközt, elvégezni az összes tesztet, átmenni a többszörös zsúrizésen, egyszóval megszerezni az ESA beszállítói rangot. Harmadrészt a kész hardver és a kész kísérleti program birtokában be kellett gyakorolni a végrehajtást, meg kellett tanítani az asztronautát, és együtt kellett működni a Felhasználói Központtal az operatív szakaszban az űrkísérlet tényleges végrehajtása során. A negyedik rész az űrkísérlet adatainak a kiértékelése és értelmezése.

**Dr. Bárczy Pál** 1965-ben végzett kohómérnök. 1965–1994 között a Miskolci Egyetem Fémtani tanszékén dolgozott, adjunktusként, docensként, egyetemi tanárként majd 1987–93 között tanszékvezetőként. 1994–2000 között a Nemfém anyagok tanszékén tanszékvezető és az Anyagtudományi Intézet igazgatója. 2000–2005 között a Polimermérnöki tanszék vezetője. Jelenleg a Polimermérnöki tanszék professzora. 2000 óta az ADMATIS Kft ügyvezető igazgatója.

**Bárczy Tamás** 2002-ben végzett a Miskolci Egyetemen anyagmérnöként. 2002-től három éven keresztül doktorandusz a Miskolci

Egyetemen, ahol infiltrációs kutatásokat végzett növelt gravitációs térben. 2005-től az ADMATIS-nál dolgozik, 2010-től ügyvezető. Cégen belül felelős a minőségbiztosítási rendszerért, a fémhab fejlesztésért, és a hőkamerás mérésekért.

**Somosvári Béla Márton** 2003-ban végzett az ELTE Természettudományi Karán fizikuscsillagász szakon. 2003–2006-ig doktorandusz a Miskolci Egyetem Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák doktori iskolában, kutatási területe a habok keletkezése és fejlődése eltérő gravitációs körülmények között. 2006-tól az ADMATIS Kft.

munkatársa, 2010-től a FOCUS projekt vezetője.

**Szirovicza Péter** 2003-ban végzett a Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Karán anyagmérnök szakon. 2003-tól az ADMATIS Kft. munkatársa, mint fejlesztőmérnök.

**Szőke János** 1992-ben bányamérnöként végzett a Miskolci Egyetemen. Doktoranduszként folytatja tanulmányait a Fémtani tanszéken 1993-tól 1996-ig. 1996–2001-ig az Anyagtudományi Intézet tanszéki mérnöke, majd 2002-től pedig az ADMATIS Kft. fejlesztő mérnöke. A FOCUS projekt vezetője 2006-tól 2010-ig.

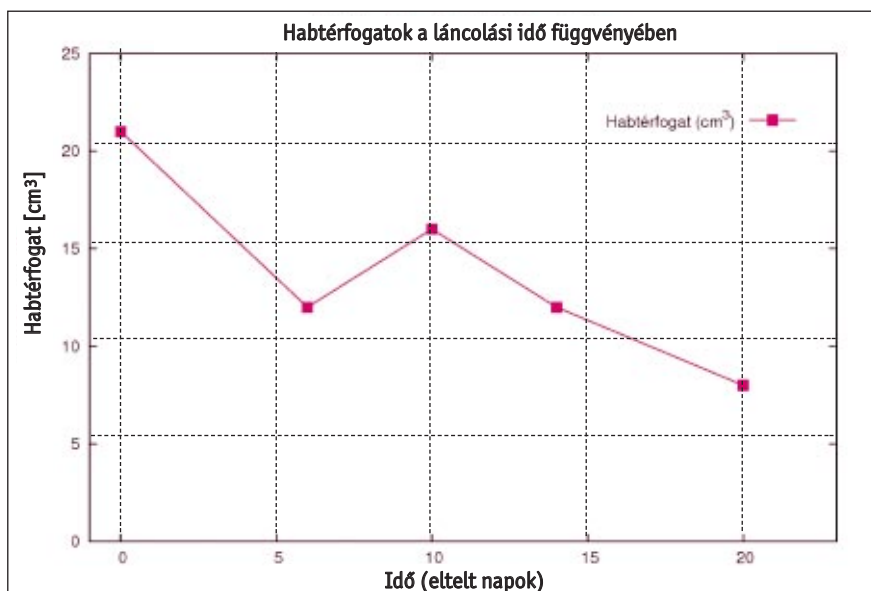
Mivel az értékelés és a referenciakísérletek végrehajtása jelenleg is folyik, cikkünkben csupán az első három feladat teljesítéséről tudunk beszámolni.

### Habosítási kísérletek

Az ADMATIS újszerű – és szabadalommal védett – fémhabosító eszközének a lelke az ún. habgenerátor, ami lényegében egy üreges szilárd test, aminek az üregeiben helyezkedik el a habosításra alkalmas folyadék. Mivel az úrkísérlet a földi fémhagyártást szimulálja, a habgenerátor geometriai szerkezete, illetve a folyadék viszkozitása és nedvesítési szöge a generátorfalon hasonló, mint a fémhabelőállítás esetében.

Egészen nyilvánvaló, hogy a habgenerátor térgeometriáját úgy választottuk ki, hogy alkalmas legyen egyenletes cellaméretű hab előállítására.

A habfal anyaga egy víz alapú szuszpenzió (0,05% nátrium-dodecil szulfát, 2% SiO<sub>2</sub> nanopor). Az összetétel optimalizálásához hosszú kísérletsorozatra volt szükség. A fejlesztés fő szempontjai az alábbiak voltak. (1) csak a NASA által jóváhagyott anyagok jöhetnek szóba, (2) a szuszpenzió szerkezete a bekeverés után ne változzon (eltarthatóság), (3) a keletkezett hab megfelelően stabil legyen. E szempontok közül az (1) pontot maradéktalanul, a (2) és (3) pontokat csak részben sikerült teljesíteni. Különösen nehéz volt a „bármikor habosítható” anyag megtalálása, mert a habképződést csak olyan nanorészecskék segítik, amelyeket a víz csak „közepesen” nedvesít, azaz a folyadékban lebegő nanorészecskék összetapadása, illetve ülepedése előbb-utóbb törvényszerűen bekövetkezik. (Ez ugyanaz a jelenség, mint a tejben lebegő kazein nanorészecskék koagulálása, ami miatt



1. ábra. Habtérfogatok a tárolási idő függvényében

egy idő után a tej habosíthatatlanná válik).

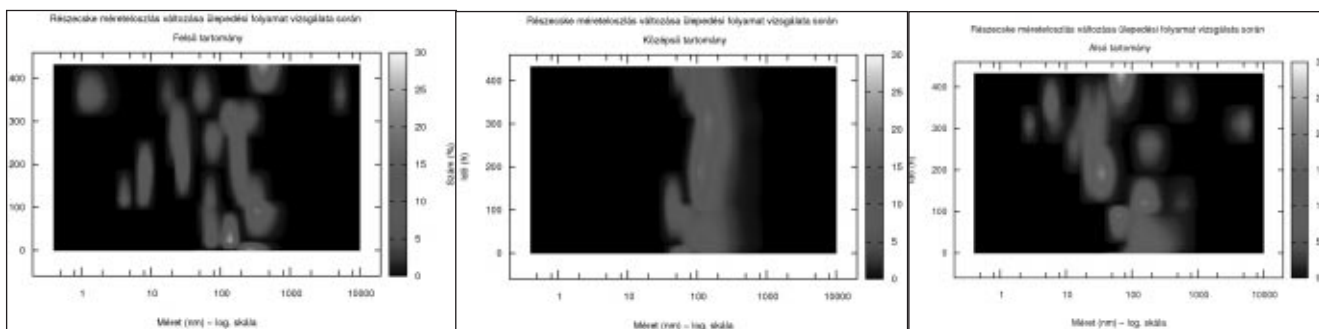
A legjobbnak talált szuszpenzióknak habosíthatóságának romlásáról az 1. ábra ad tájékoztatást. Az ábrán azonos körülmények között elvégzett habosítással kapott habtérfogatokat látjuk a szuszpenzió elkészítése után eltelt idő függvényében. Kiolvasható, hogy 14 nap tárolás után a habosíthatóság mintegy felére csökken. A habosíthatóság romlásának a megállítására az adott hardverkörnyezetben nem találtunk működőképes megoldást.

Részletesen vizsgáltuk a tartályban való tárolás közben lejátszódó folyamatokat. A szuszpenzió szemmel látható módon, a friss állapotú átlátszatlannól fokozatosan egyre átlátszóbbá változott. Találtunk mind a tartály aljára leülepedő, mind a folyadék felszínére felúszó részecskepopulációkat. A nanorészecskék koagulációját és a gravitációs szeparálódást lézeres szemcseeloszlás vizsgálattal követtük. A tapasztalatokat a 2. ábrán mutatjuk be.

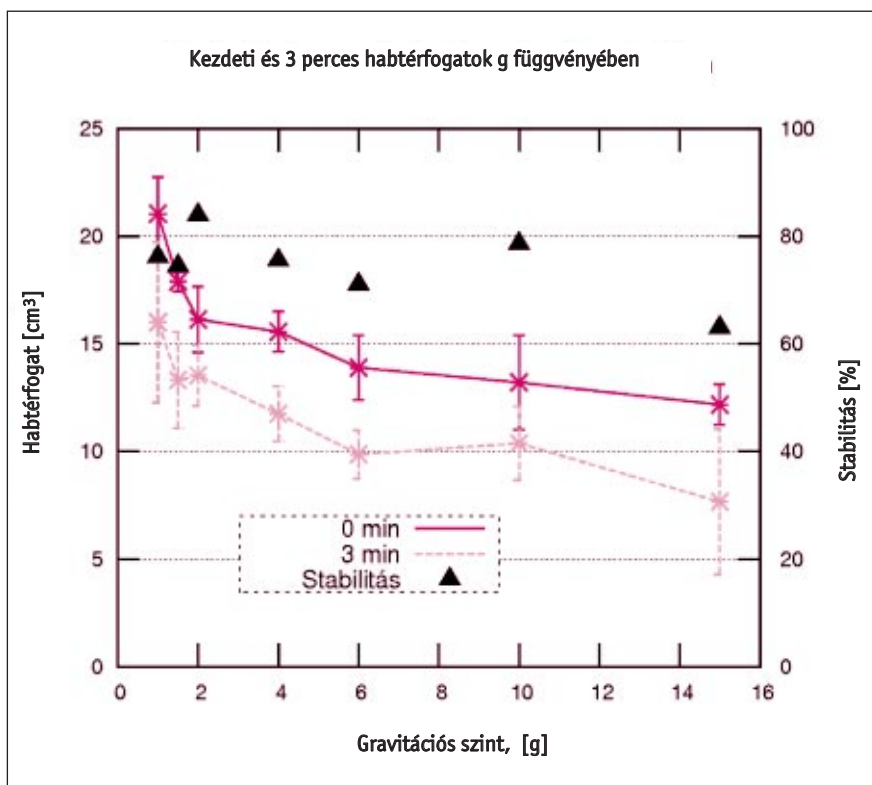
A felső (krémszerű) és alsó (leülepedett) tartományban az idő előrehaladtával nő a szemcsekoncentráció és nagy a méretszórás. Középen a szuszpenzió kitisztul, kicsi a koncentráció, és a méretszórás is kisebb (100 nm körüli szemcsék).

Laboratóriumi körülmények között tanulmányoztuk a habképződést a habosítási irány függvényében (függőlegesen felfelé, ill. lefelé, továbbá vízszintesen). Azt tapasztaltuk, hogy jelentősek a különbségek. Mindig vízszintesen kaptuk a legkevesebb habot, míg a legtöbbet és a legfinomabb cellaméretűt akkor, ha felfelé, vagyis a gravitációval szemben fújtuk.

Részletesen vizsgáltuk a megnövelt gravitáció hatását a habképződésre Brémában, a ZARM óriáscentrifugájában. Azt tapasztaltuk, hogy a növelt gravitáció hatására egyre kevesebb hab képződik. Az eredményeket a 3. ábra mutatja. Érdekeség, hogy maga a cellaméret egyáltalán nem függött a gravitáció nagyságától.



2. ábra. A részecskék méreteloszlásának a változása a szuszpenzióban a tárolás során. A bal oldali ábra a tartályban felül, a középső a közlül, míg a jobb oldali ábra az alul mért eloszlásváltozást mutatja.



■ 3. ábra. Habtérfogatok változása a gravitációs szint függvényében. A hab stabilitását a kezdeti és a 3 perccel később mért térfogatok százalékban kifejezett aránya mutatja

Köztudott, hogy a hab nem él örökké, hisz a cellafalban a folyadék mozog a nagyobb rádiuszú falaktól a kisebb rádiuszú falak felé. Ennélfogva a fal vékonyodik, majd kiszakad, s a folyadék a cellaélek csatornáiba kerül, ahol a gravitáció hatására lefelé csurog, s a hab eltűnik. A hab tartóssága vagy stabilitása azért fontos, mert ha szilárd anyagot akarunk, a habot még összeomlás előtt meg kell szilárdítani. Ezért vizsgáltuk a gravitáció és a stabilitás összefüggését is.

### A kísérleti eszköz

Az űrkísérlet előkészítése során először a hardver környezetét kellett körvonalazni. Mivel az űrállomáson emberek élnek, a légtérbe nem kerülhet semmilyen ártalmas anyag, még extrém helyzetekben sem. A habosító eszközben hajtógáz és nyomáskülönbség is van, így a felhasznált anyagok légtérbe kerülését kettős védelemmel kellett megakadályozni. Az űrállomás ugyan több zárt terű eszközzel is rendelkezik, amelyben biztonságosan elvégezhető hasonló kísérletek, (Fluid Science Laboratory, Biolab, és a Portable Glove Box), ezeknek azonban sem a mérete, sem a bérleti díja nem tűnt elfogadhatónak. Ezért az ADMATIS a dupla védelem-

mel rendelkező kísérleti eszközt végül maga tervezte meg és készítette el. Az űrállomás légtérének esetleges szennyezésén kívül még sok egyéb más biztonsági szempontot is figyelembe kellett venni a tervezés során, például a könnyű felszerelhetőséget és a biztonságos üzemeltetést. A FOCUS kísérlet végrehajtásához három eszköz volt szükséges:

- 1 – a FOCUS hardver,
- 2 – digitális fényképezőgép,
- 3 – az univerzális kamerarögzítő konzol.

A FOCUS eszköz lényege a habosító cső. Ebben történik a habosítás. A cső egyik végében a folyamat megvilágítását szolgáló LED helyezkedik el, a megfelelő tápegységgel és kapcsolóval. A cső másik végében kap helyet a hajtógáz tartálya, ami szeleppel csatlakozik a habgenerátorhoz. A biztonsági előírások miatt a habosító cső egy féloldalról átlátszó nyomás- és szivárgásbiztos konténerben helyezkedik el. A kísérleti terv szerinti három habosítási akció miatt a konténerbe három cső került. Magát a konténert két kézi csavar rögzíti a Columbus modul tartósínjéhez (4. ábra).

A kamerarögzítő konzol hasonlóképpen kézi csavarral csatlakozik a tartósínhez. A FOCUS kísérlet teljes elrendezését a



■ 4. ábra. A FOCUS berendezés a földi tesztlécek során az Európai Űrhajós Központ (European Astronaut Centre) Columbus makettjében



■ 5. ábra. A FOCUS kísérleti elrendezés közelről



■ 6. ábra. A FOCUS doboz, benne a három habosító csővel

Columbus modulban az 5. ábra mutatja.

A FOCUS hardver végső változata négy példányban készült el. A gyakorló példány (Training Model) szolgált az asztronauta tréningre, a kvalifikációs példány (Qualification Model) szenvedte el az összes tesztet (rázótesztet, vákuumteszt, szivárgásteszt, nyomásteszt), és végül a két repülő példány (Flight Model 1-2), amiből a betöltés utáni végtesztel dőlt el, hogy melyik kerül fel tényleg az űrállomásra (6. ábra).

A tervezés, a zsúrízás és a tesztek hosszú időt és sok erőfeszítést követeltek. Az ESA gyakorlatában elfogadott módszer az, hogy a tudományos tartalomért és az eredmény kidolgozásáért egy egyetem, vagy kutatóintézet felel, míg a kísérleti eszköz elkészítése egy professzionális űr-





■ **7. ábra.** Csoportkép az ESTEC-ben, az Experiment Sequence Test és a Flight Acceptance Review alkalmával



■ **8. ábra.** Berakodás a PROGRESSZ-be. (Roskosmos)



■ **9. ábra.** A kilövés pillanatai (Roskosmos)

technikai cég feladata. A FOCUS kísérletnél mindkét feladatot az ADMATIS látta el (7. ábra). A legnagyobb kihívás az volt, hogy a teljes végrehajtás az ESA előírásai szerint zajlott. A PM (project manager), *Neil Melville* az ESTEC-ből (Hollandia), a PIM (payload integration manager), *dr. Raimondo Fortezza* a MARS Centerből (Milánó) irányította a műveleteket. Az adatközlés az ESA szerinti tagolásban történt. Külön tartották a biztonságtechnikai, a tervezési, a repülési zsűriket, a tudományos tartalom zsűrijét. Az eljárás alaposágára jellemző, hogy pl. a Flight Acceptance Review (FAR)-re 26 dokumentum készült, összesen 1300 oldal terjedelemben.

A berendezés tervezése, gyártása és a tesztek mellett, a kísérlet előkészítése is folyt. Az előkísérletek eredményei alapján rögzítettük a felhasználandó anyagok listáját, és gondosan megterveztük a kísérlet minden mozzanatát. A művelet egyszerűsége ellenére is másodpercről másodpercre sokszor végig kellett pörgetni az eseményeket (összeszerelés, habosítás, képrögzítés, szétszerelés stb.). A műveletsor a próbateszt („dry run”) és az érvényesítés (Experiment Validation) után lett végleges. Tapasztalt űrhajós, akinek az volt a feladata, hogy minden, mikrogravitációban esetleg nehézséget okozó mozzanatra felhívja a figyelmet, először a próbatesztben találkozott a berendezéssel. A végleges kísérlettervet először a repülésirányítókkal ismertették meg a kiképzők (Flight Control Team Training), majd sorra került *Jeffrey N. Williams* űrhajós is, aki februárban végül élesben próbálhatta ki a FOCUS berendezést (Astronaut Training).

### Az űrkísérlet

Mivel a szuszpenzió habzóképesége gyorsan romlik, a kísérlet elvégzése előtt a lehető legkésőbb kellett betölteni az anyagot. Erre végül 11 nappal a végrehajtás előtt került sor, így bőven benne volt a lehetőség, hogy jelentősen leromlik a betöltött anyag habzóképesége. (1. ábra.) A betöltés után egy utolsó nyomás- és szivárgástesztet kellett átészniük a repülő modelleknek. Az átadást követően űreszközünk Bajkonurba indult, majd február 3-án a PROGRESSZ M-04M (36P) teherűrhajón a magasba emelkedett, egészen az űrállomásig (8. és 9. ábra).

A nagyjából háromórás kísérletet február 7-én, helyi idő szerint vasárnap dél-