

1. ÁBRA.
Az Aether S kutatórakéta
még az indítóállványon,
a motor begyújtásának
pillanatában
(Fotó: BME Aerospace Team)

ILLYÉS ANDRÁS* – MATÉCSA BARBARA** – OLÁH ÁDÁM*** – PRINCZ KATALIN**** – SZILÁGYI-SÁNDOR ANDRÁS*****

RAKÉTAFEJLESZTŐ MÉRNÖKHALLGATÓK A BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEMEN

BME AEROSPACE TEAM ÉS AZ AETHER S KUTATÓRAKÉTA

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi (BME) egyetemen számos hallgatói közösség tevékenykedik, amelyek közül – a szó szoros értelmében – a BME Aerospace Team tűzte ki a legmagasabbra céljait, a csapat

ugyanis kutatórakéták fejlesztésével foglalkozik. Ilyés András csapatvezető és Pálfi Bars főmérnök sokéves tapasztalattal rendelkezik a rakétechnikában; többek között az ő főszervezésükben valósult meg 2020-ban az első magyarországi CanSat verseny is. [1] 2021 szeptemberében

alapították meg a BME Aerospace Teamet, hogy a hasonló érdeklődéssel rendelkező egyetemisták az elméleti tudásukat átültethessék a gyakorlatba, ezzel bekapcsolódhassanak az európai és hazai űrszektor tevékenységébe. A BME Aerospace Team fő célja tehát, hogy utat nyisson a rakétatudományok iránt érdeklődő hallgatók következő generációjának. A csapat ezt a célt különféle fejlesztési projektekkel, valamint nemzetközi versenyeken történő megmérettetések segítségével kívánja elérni.

A kutatórakéták (sounding rocket) olyan, általában szilárd hajtóanyagú rakétamotor segítségével működő, egy- vagy kétfokozatú rakéták, amelyeket tudományos kísérletek légkörbe juttatására használnak. Némely kutatórakéta, a Kármán-vonalat átlépve elérheti a világűr is, de a Föld körüli pályára állás/állítást legtöbbször nem része tudományos küldetésüknek. [2]

A BME Aerospace Team magját különféle műszaki és tudományos területeken tanuló hallgatók adják,

* Villamosmérnök, MSc-hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Védelmi Innovációs Kutatóintézet, munkatárs. ORCID: 0009-0009-5143-6588

** Csillagász, PhD-hallgató, Eötvös Loránd Tudományegyetem. ORCID: 0009-0004-2364-0841

*** Állatorvostan-hallgató, Állatorvostudományi Egyetem. ORCID: 0009-0009-3072-0803

**** Közgazdász, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem alumna. ORCID: 0009-0009-3180-0645

***** Űrkutató, PhD-hallgató, Eötvös Loránd Tudományegyetem. ORCID: 0000-0002-0006-6275

ÖSSZEFOGLALÁS: A BME Aerospace Team egy innovatív hallgatói rakétechnikai csapat, amelynek Aether S kutatórakétája, hazánkban elsőként jutott fel 7000 méteres magasságra. Az Aether S legnagyobb elért sebessége 750 m/s (Mach 2,2) volt, amely európai sebességi rekord a hallgatói csapatok között. Rakétájukban emberi csontszöveti sejtekkel kísérleteztek, valamint egy légkörfizikai mérés is helyet kapott az eszközükben. Jelen tudományos közlemény a BME Aerospace csapatát, az Aether S fejlesztését, felépítését, repülési teljesítményét, valamint az eszköz belsejében zajlott tudományos kísérleteket mutatja be, ismeretterjesztő szándékkal.

KULCSSZAVAK: kutatórakéta, BME Aerospace Team, űrpar, űrkutatás, Aether S, légkörfizika

ABSTRACT: The BME Aerospace Team is an innovative student rocketry team, the first in Hungary to reach an altitude of 7,000 meters with their Aether S sounding rocket. The Aether S achieved a maximum speed of 750 m/s (Mach 2.2), a European speed record for student teams. They experimented with human bone tissue cells in their rocket and also carried out an atmospheric physics measurement. This article – with an educational intent – describes the BME Aerospace Team, the development, construction and flight performance of the Aether S, and the scientific experiments it has carried out.

KEY WORDS: sounding rocket, BME Aerospace Team, space industry, space research, Aether S, atmospheric physics



2. ÁBRA.
Farkas Bertalan
kutatóúrhajós az Aether S
projektbemutató eseményen
(Fotó: BME Aerospace Team)



1. TÁBLÁZAT.
Az EuRoC verseny kategóriái
(A szerzők szerkesztése
a [4] alapján)

Csúcsmagasság	3000 m		9000 m		
	COTS	SRAD	COTS	SRAD	
Fejlesztési mód	Szilárd	S3-c	S3	S9-c	S9
Hajtóanyag	Hibrid	H3-c	H3	H9-c	H9
	Folyékony	nincs	L3	nincs	L9

de a csapat integráns részét képezik a gazdasági és társadalomtudományi területekről érkező csapattagok is. A csapat 2021 őszén tűzte ki célul egy megközelítőleg 10 000 méteres csúcsmagasság elérésére képes hordozóeszköz megépítését (a rakétaplatform neve Aether S), valamint az azzal az eszközzel történő nemzetközi versenyzést a Portugál Űrügynökség által évente megrendezett European Rocketry Challenge (EuRoC) 2022. évi versenyén. [3]

A csapat életében – a 2021. őszi megalakulása után, de még a műszaki tervezés megkezdése előtt – egy kulcsfontosságú időszak következett: a közösségépítés és a tanulás időszaka. Előbbi, a közösségépítés alapvető a BME Aerospace Team esetében, ahol a cél a folyamatos, kiegyensúlyozott, kiváló teljesítmény. Utóbbi, a tanulás is kiemelendő, mert bár az egyes ta-

2. TÁBLÁZAT.
Az 2. táblázat az EuRoC
pontozási és díjazási
kategóriái
(A szerzők szerkesztése
a [4] alapján)

Pontozási kategória	Díjazási kategória	Részpont
Technical Report	Technical Award	20%
Vehicle Design	Design Award	25%
Team Effort	Team Award	20%
Flight Performance	Flight Awards (S3, H3, L3, S9, H9, L9)	35%
Overall Winner	EuRoC Award	100%
Best Payload	Payload Award	külön díjazás

gok egy igen alapos felvételi eljárás útján kerülhettek a csapatba (illetve kerülhetnek a mai napig), ám a rakétaszpecifikus ismeretek átadása ezzel együtt is szükséges az új tagok számára. A legfrissebb versenyszabályzat ismerete ugyancsak elengedhetetlen a csapattagok számára.

Az Aether S rakétaplatform tervezésekor a műszaki szakmai szempontok, és a BME Aerospace Team elképzelései mellett figyelembe vettük az EuRoC versenyszabályzatát is. A versenyt két magassági kategóriában (3000 m és 9000 m csúcsmagasság) írják ki. A magassági kategóriák további felosztását a hajtóanyag típusa szerint különítik el: szilárd, folyékony, illetve hibrid kategória. További csoportosítást jelent az ún. COTS (Commercial Off-The-Shelf – kereskedelemből megvásárolt) és az ún. SRAD (Student Researched And Developed – saját fejlesztésű) eszközök megkülönböztetése. Az EuRoC verseny kategóriáit az 1. táblázat, míg a pontozási és díjazási kategóriákat a 2. táblázat tartalmazza.

A csapat az Aether S rakétával az S9 kategóriában történő versenyzés mellett döntött. A cél ennek keretében egy olyan szuperszonikus, szuborbitális kutatórakéta építése volt, amely repülése idején tudományos kísérleteket végez, illetve minél pontosabban éri el a talajtól számított 9000 méteres magasságot. A közel 3,5 méter hosszú, és hozzávetőleg 100 mm átmérőjű eszköz testében helyet kapott két tudományos kísérlet is, amelyeket a publikáció további részében is-

mertetünk. A fejlesztés több mint 70 támogató hozzájárulásával, és több mint 16 000 munkaóra befektetésével valósult meg.

A tervezés nyomán a gyártás, majd az összeszerelés után, 2022 októberében utaztunk ki az EuRoC versenyre Portugáliába, hogy első és egyedüli csapatként képviseljük Magyarországot és a Műegyetemet az EuRoC verseny 9000 méteres kategóriájában. Az Aether S kutatórakéta sikeresen teljesítette a Flight Readiness Review-t, amely során a szakmai zsűri többórás tüzetes vizsgálat alá vetette az eszközt. A rakéta az indítás kitűzött napján, a felbocsátási helyszínen a Launch Readiness Review-n is jól teljesített, így megkapta felbocsátási engedélyt. Ez a dokumentum igazolta, hogy a rakéta biztonságosan indítható, és nem jelent veszélyt a helyszínen tartózkodókra.

Az EuRoC versenyen időjárási (túl nagy szél) és légiforgalmi (utasszállító gépeket irányítottak a felbocsátási helyszín fölé) okok miatt az Aether S felbocsátása meghiúsult. Ezzel együtt is a versenyt a csapat 9000 méteres (S9, H9, L9 együtt) kategória 4. helyén zárta, valamint az összes résztvevő közül a Payload Award 3. helyezését értük el.

Az Aether S felbocsátására 2023 januárjában, Magyarországon került sor. A felbocsátás nagyszabású eseménye előtt a BME Aerospace Team projektbemutató eseményt tartott, ahol a támogatók, partnerek és érdeklődők kaptak betekintést a projekt részleteibe. (2. ábra)

Az Aether S felbocsátási kampánya 2023. január 25–27. között valósult meg a Magyar Honvédség Böszörményi Géza Csapatgyakorlótér Parancsnokság várpalotai nullponti löterén, a felbocsátásra január 26-án, délután 16:00 órakor került sor. A felbocsátás előkészítése a legnagyobb körültekintéssel zajlott, már a megelőző napon, január 25-én megtörtént az eszköz összeszerelése, a rakétamotor integrálása, és minden berendezés tüzetes ellenőrzése. (1., 3–4., 6. ábrák)

Az Aether S felbocsátására 2023. január 26-án sikeresen került sor. A felbocsátásról készült videó online megtekinthető. [5] A felbocsátás során az eszköz 7000 méteres

csúcsmagasságot ért el, ezzel a BME Aerospace Team tudásunk szerint magyarországi magassági rekordot döntött, amatőr rakétafejlesztő csapat által fejlesztett eszköz, ilyen magasságba hazánkban korábban nem jutott. Kiemelendő továbbá, hogy a rakéta sebessége meghaladta a 750 m/s (Mach 2,2) értéket, amely tudásunk szerint európai sebességi rekord a diákcsoportok között, ugyanis az EuRoC-on versenyző csapatok ilyen sebességet eddig nem tudtak elérni. A csúcsmagasság tervezett csökkentésére (9000 m helyett 7000 m) a biztonsági zóna területének csökkentése érdekében volt szükség.

A felbocsátásból az Aerospace csapat nagyon sok értékes tapasztalatot szerzett, az eseményt követő heteket pedig a kamerák (pl. fedélzeti kamerák) felvételeinek, valamint a fedélzeti számítógépek adatainak elemzésével, különböző számítások elvégzésével töltöttük. A rendelkezésre álló információk alapján megállapítottuk, hogy a rakétatest egy pontja az emelkedés közben nem volt képes elviselni a legnagyobb dinamikus nyomás (*max q*) [6] állapotában fellépő erők okozta túlterhelést, így az eszköz maradó, bár egyszerűen javítható károkat szenvedve ért földet. Ugyanakkor a rakéta rendszereinek döntő többsége kiválóan vizsgázott, termékfejlesztési szempontból TRL9-es szintet [7] ért el – köztük az egyik legfontosabb rendszer, a fedélzeti elektronika, valamint a földi állomás is –, amelyek a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karának Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékének szakmai támogatásával készültek. Sikeres vizsgáztak továbbá a rakéta strukturális rendszerei (a fentebb említett, azonosított hibán kívül), a hajtóműrendszerei, valamint a csapat szimulációs megoldásai is.

A BME Aerospace Team az Aether S felbocsátása óta a következő generáció, az Aether M fejlesztésén dolgozik, amelynek bemutatása 2024-ben várható. Az Aether M fejlesztési folyamatába integráljuk az Aether S fejlesztése során megszerzett tudást, de több új funkció is helyet kap majd az eszközben. Fejlesztéseinkről közösségimédia-felületeinken rendszeresen beszámolunk.



3. ÁBRA.
Az indításra kész Aether S rakétát a csapattagok a felbocsátási helyszínre szállították (Fotó: BME Aerospace Team)

AZ AETHER S KUTATÓRAKÉTA FELÉPÍTÉSE, MŰSZAKI PARAMÉTEREI

Az Aether S rakéta három modulra osztható fel: elülső modul (*forward module*), hasznos-teher-modul (*payload module*), hátsó modul (*aft module*). A rakétatest hat részből áll: orrkúp (*nose cone*), ejtőernyők és avionika tere (*recovery and avionics bay*), hasznos-teher-tér (*payload bay*), hajtóműtér (*motor bay*), vezérsíkok (*fin can*), farkkúp (*tail cone*). A rendszerek szempontjából vizsgálva a rakétát, öt egységet különböztethetünk meg: visszatérítő rendszer (*recovery system*), avionika-rendszer (*avionics system*), hasznos-teher-rendszer (*payload system*), hajtómű-rendszer (*propulsion system*), sárkány-szerkezet (*structural system*). (5. ábra)

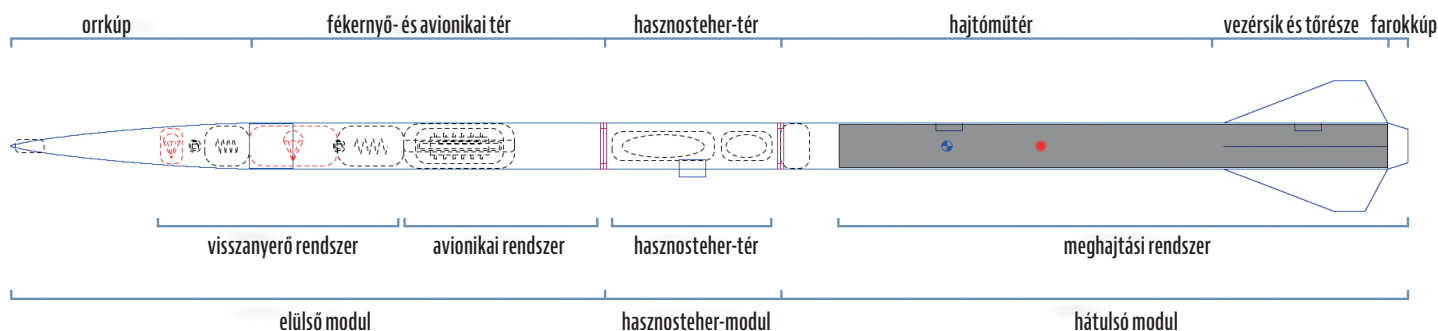
Az alábbiakban ismertetjük az Aether S néhány repülési paramétereit; az adatok a 9000 méteres felbocsátásra előkészített eszközre vonatkoznak. Korábban említettük már a rakéta hozzávetőlegesen 3,5 méteres hosszát, valamint körülbelül 100 mm-es átmérőjét, ugyanakkor egy további fontos paraméter a rakéta körülbelül 28 kg-os felszállótömege. A rakéta-motor égése során átlagosan körülbelül 3500 N tolóerőt biztosít, a várható égési idő 6 s körüli, így az összpulzus 21 000 Ns körül alakul. A várható legnagyobb sebesség a számítások alapján 700 m/s körüli (Mach 2,1), míg az indítóállványt az eszköz közel 50 m/s sebességgel képes elhagyni. Az állványelhagyási sebességnek fontos szerepe van a rakéta repülé-

sének stabilitásában, ám ugyanez a szerep játszik a rakéta statikus aerodinamikai stabilitása.

Ahogy bármely légi jármű esetén, a rakéták felbocsátása előtt is az aerodinamikai statikus stabilitás vizsgálatakor két pont, a súlypont

4. ÁBRA.
A rakéta elhelyezése az indítóállványon (Fotók: Zrínyi Nkft. / honvedelem.hu / Kertész László)





5. ÁBRA. Az Aether S felépítésének modellje (A szerzők szerkesztése)

(Center of Gravity – **CG**), valamint a nyomásközéppont (Center of Pressure – **CP**) egymáshoz képesti helyzetét vizsgáljuk. [8] A CP pont a légerők egy pontba redukálásával adódik; és akkor szokás egy légi járművet stabilnak nevezni, ha a CG megelőzi a CP-t. A rakéatechnikában a CP – CG pontok távolságát, mint a stabilitásra jellemző mennyiséget szokás megadni, általában az átmérő többszöröseként. Ökölszabályként ismeretes, hogy a CP – CG távolságot az átmérő arányában érdemes 1,5 – 2 körül tartani. Az 1-es érték alatt a rakéta már nem minősül stabilnak, így természetesen nega-

tív érték esetében sem, amely már azt jelentené, hogy a CP előzi meg a CG pontot. Míg a 3-as érték fölött az eszközt az ún. **overstable** kategóriába szokás sorolni, ez sem kívánatos. Az Aether S ezen stabilitási értéke a 9000 méteres felbocsátás esetén 1,98 átmérő, így az ideális tartomány legstabilabb végén helyezkedik el.

FEDÉLZETI KÍSÉRLETEK

Az Aether S fedélzetén két tudományos kísérlet, egy orvosbiológiai és egy légkörfizikai is helyet kapott a 2022. októberi EuRoC verseny, valamint a 2023. januári magyarországi felbocsátás alkalmával. Ezek számára a rakéta középső részében, az avionika és a rakétamotor között kialakítottunk egy dedikált szekciót, az ún. **payload bay**-t (hasznosteher-tér). Itt a kísérletek igényei szerint alakítottuk ki az egyedi tartószerkezetet, valamint az elektronikus rendszert a kísérletek áramellátására és a mért adatok rögzítése érdekében.

Az orvosbiológiai kísérlet során az emberi csontállomány felépítéséért felelős sejtekhez (**oszteoblaszt sejtek**) nagyon hasonló, laboratóriumi körülmények között tenyésztett, ún. MG-63 sejtek életképességét vizsgáltuk. Ezek a sejtek különösen érzékenyek a mechanikai hatásokra, így ideális alanyok tűntek a repülés során fellépő fizikai tényezők (sebesség, gyorsulás, hőmérséklet-változás stb.) biológiai hatásának vizsgálatára.

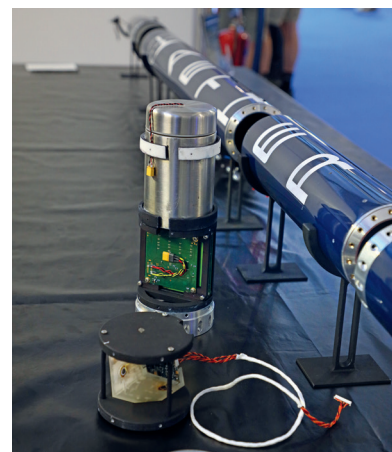
A kísérlet során a fent említett MG-63 sejtek egy felülethez tapadva élnek, és azon szaporodnak el. Jelen esetben ezt az életteret speciális, lezárható Petri-csészék jelentették, amelyek alsó lemezére ültettük a sejteket, és komplex élesztőfolyadékkal biztosítottuk az ideális életkörülmé-

nyeiket. Ennek megvalósításában a Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Karának Orálbiológiai Tanszéke volt segítségünkre.

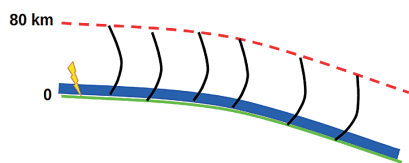
Tekintettel az emberi sejtek hőmérsékleti érzékenységre, és a 9000 méterre történő repülés során fellépő jelentős hőmérsékletváltozásra, kritikus fontosságú volt, hogy megfelelő termoregulációt alkalmazzunk. Eerre légmentesen záródó duplafalú, vákuumbélelt termoszt használtunk. A légmentes záródás a nyomásváltozások kiküszöbölése szempontjából is kiemelt fontosságú, ugyanis a nyomásváltozás is képes lenne károsítani a sejteket. Az orvosbiológiai kísérlet termosza a 7. ábrán látható. A termosz belsejében elektronikus rendszer figyelte és rögzítette a kulcsfontosságú paramétereket, mint pl. a hőmérsékletet és a nyomást. A vizsgálat célja, hogy megállapítsuk a repülés miatt bekövetkező sejtpusztulás mértékét. Ehhez a felbocsátás helyszínén alakítottunk ki egy ideiglenes labort, ahol számító-



6. ÁBRA. Az Aether S repülése a távolból, a rakéta és a lángcsóva hasonló hosszúságú (Fotó: Zrínyi Nkft. / honvedelem.hu / Kertész László)



7. ÁBRA. Az orvosbiológiai kísérlet termosza, és a légkörfizikai kísérlet mérőrendszere (Fotó: BME Aerospace Team)



8. ÁBRA. A hullámfront a földfelszín közelében torzul (A szerzők szerkesztése)

géphez csatlakoztatott mikroszkóppal fényképeztük a sejteket a repülés előtt, és utána is. Ha a sejtet olyan hatások – esetünkben a kifejezetten nagy gyorsulás miatti erők – érik, amelyek miatt elpusztul, akkor az aljzaton elterülten élő MG-63 sejt leválik onnan, és a felületi feszültség hatása miatt gömbölyded alakra zsugorodva szabadon lebeg a tápfoliadékban. Így mikroszkóppal vizuálisan is könnyedén elkülöníthetők az élő sejtek az elpusztultaktól, és összességében megállapítható, hogy a rakéta szenzorai által mért erők valójában milyen mértékű biológiai károsító hatással jártak az emberihez nagyon hasonló MG-63 sejtekre.

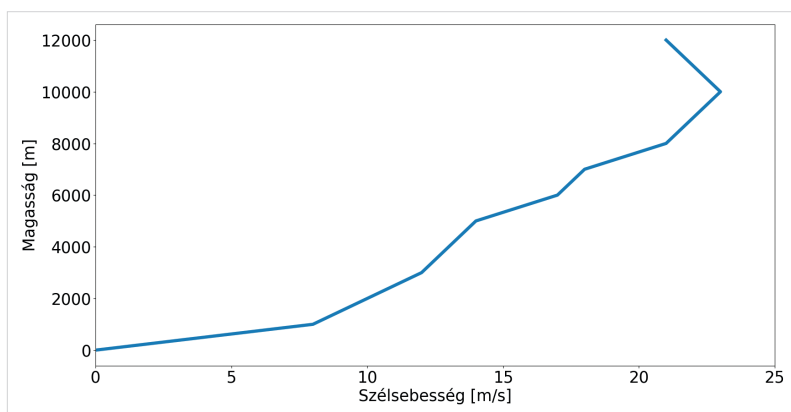
A légkörfizikai kísérlet célja a síkhullám-közéltetés ellenőrzése a felszín-ionoszféra üregrezonátor (Earth-Ionosphere Waveguide – **EIWG**) alsó határfeltételének közelében, azaz a felszínhez közeli tartományon. [9] A földkéreg és az ionoszféra alsó régiói anizotróp véges hullámvezetőt képeznek az elektromágneses hullámok számára a DC (azaz 0 Hz) – **VLF** (Very Low Frequency, általában 3 – 30 kHz) frekvenciasávokban. [10] A magasabb frekvenciákat a jelen cikkben nem tárgyaljuk. A kísérlet során együttműködtünk az ELTE Űrkutató Csoportjával.

Az EIWG-ben terjedő hullámok mérése tudományos szempontból igen hasznos mérést jelent. Az ebben a gömbrétegben lévő természetes és mesterséges források (pl. zivatarok villámjai, kommunikációs antennák kisugárzott jelei), valamint a Föld körüli plazmakörnyezetből bejutó hullámok (pl. kórusok, whistlerek) a felszínen sok mérhető hullámot eredményeznek. Ezen alapul például a valós idejű villámdektálás, amely nagyban segíti a légi közlekedést. A mérés háromtengelyes vevőkészülékekkel valósítható meg, irányadatok az amplitúdóarányból és/vagy fázisból nyerhetők (**direction finding**). Ezeket

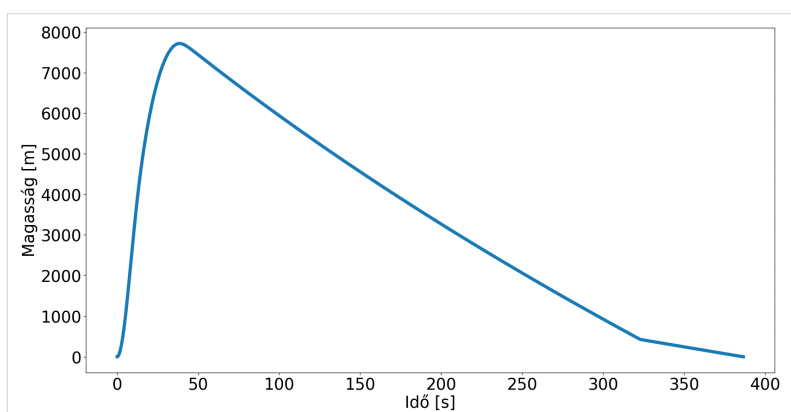
Időpont	Esemény	Megfigyelés
0 s	Indítás	A 11. ábrán látható a sebességnövekedés, a 12. ábrán a hatalmas gyorsulás.
~ 10 s	Rakétamotor kiegészése, a rakéta repül tovább felfelé	A 11. ábrán sebességmaximum látható, a 12. ábrán ugrás és lecsengés figyelhető meg.
~ 40 s	Csúcsmagasság elérése, fékezőernyő nyitása	A 10. ábrán magasságmaximum látható, a 11. ábrán a sebesség lecsökkent, a 12. ábrán pedig látható egy gyorsulásbeli ugrás a fékezőernyő (drogue parachute) nyitásakor.
~ 325 s	Főernyő nyitása	A 10. ábra meredekségének változásán, valamint a 11. ábrán is látható a sebesség csökkenése, továbbá a 12. ábrán látható egy gyorsulásbeli ugrás a főernyő (main parachute) nyitásakor.
~ 385 s	Földet érés	Mindhárom ábra értékei egyaránt nullára csökkennek.

a mért adatokat síkhullám-leírású hullámterjedési modellekkel értelmezve azonban hamis képet kapunk. Az alsó határfeltétel (maga a földfelszín) véges vezető, ezért a síkhullám-közéltetés ennek közelében torzul. (8. ábra) A **litoszféra** (a Föld külső, a kéregből és a felső földköpeny szilárd részéből álló kőzetburok) helyről változó geológiai felépítése (kristályos összetétel) határozza meg a torzulás mértékét. Például a villámok által keltett elektromágneses jelek, de a katonai VLF-adók jelei sem a fizikai modellnek megfelelően

viselkednek. A hullámfront torzulása a határfelület közelében fontos paraméter a pontos iránymérések szempontjából, a hullámfront torzultságát figyelembe nem vevő modelleken alapuló alkalmazások pontatlanok. A nem síkszerűségekre vonatkozó információk segítik az **ELF** (Extreme Low Frequency, általában 3–30 Hz) – VLF irányított hullámterjedés földi méréseinek jobb értelmezését az EIWG-ben. Ugyanakkor nagyon kevés (ha egyáltalán van ilyen) magasság szerinti mérés létezik a hullámfront **normálokról** (a hullám adott pont-

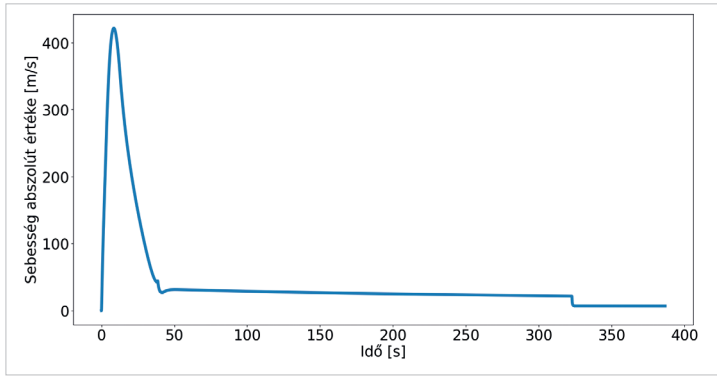


9. ÁBRA. A vízszintes átlagos szélesség szerinti eloszlásának modellje (A szerzők szerkesztése [11] alapján)



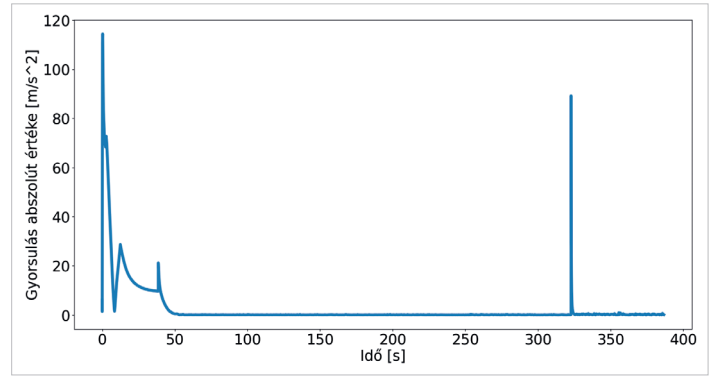
10. ÁBRA. Magasság – idő grafikon (A szerzők szerkesztése)

3. TÁBLÁZAT. Események az eszköz repülése közben (A szerzők szerkesztése)



11. ÁBRA.

Sebesség - idő grafikon abszolút értéke az eszköz függőleges tengelye mentén
(A szerzők szerkesztése)



12. ÁBRA.

Gyorsulás - idő grafikon abszolút értéke az eszköz függőleges tengelye mentén
(A szerzők szerkesztése)

jának terjedési irányáról), ez indokolja a kísérlet szükségességét.

A rakéta 9000 méteres csúcsmagasságig folyamatos méréseket végezve, éppen a legfontosabb tartományról (EIWG leginkább torzult tartománya) nyerünk információkat. A kísérletben gyűjtött szélessávú felvételek az ionoszféra-változások szempontjából pillanatnyi, így lehetőség nyílik e hatás magasság szerinti frekvenciafüggésének követésére.

A mérés elvégzésére készített műszer két fő részből áll: a SAS (*Signal Analyzer and Sampler*) magyar fejlesztésű műholdas adatrögzítőből, és az erre a célra elkészített antennákból, és előerősítőből. Ez utóbbi 3 db egymásra merőleges tekercs, közepén nagy permeabilitású maggal, amellyel DC-től 50 kHz-ig tudunk mérni. (7. ábra) A méréshez a repülő mérőrendszer mellett egy felszíni referenciamérés is tartozik, amely ugyanezt a konfigurációt jelenti a repülőmérés közelében, ám az 50 Hz-es

zajforrásoktól (hálózati áram) távol ponton elhelyezve.

REPÜLÉSI TELJESÍTMÉNY

Egy rakéta tervezése mindig a szimulációval kezdődik, nem volt ez másképp az Aether S esetében sem. A szimulációk elkészítésére a kifejezetten rakéták szimulálására készített OpenRocket és RocketPy programokat, valamint saját Matlab és Python nyelven írt kódokat alkalmaztuk. Több szoftver használata lehetőséget biztosít a keresztvalidációra, saját kóddal kiegészíthetők az elérhető szoftverek hiányosságai.

A szoftverekben először is a rakéta geometriai modelljét alkottuk meg (hasonlóan a 5. ábrához), amely a valós rakéta egyszerűsített, matematikai reprezentációja. Az adott szcenáriónak megfelelő kezdeti és peremfeltételek, valamint a numerikus megoldó beállítását követően, a szimulációkat futtatva kaptuk meg a nyers szimulációs eredményeket.

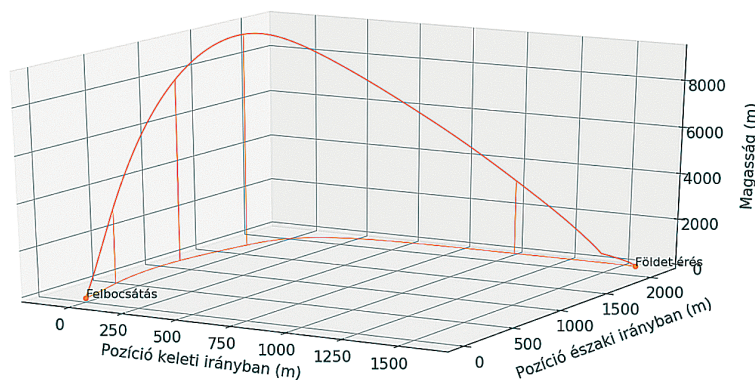
Az adatok posztprocesszálását saját fejlesztésű algoritmusokkal végeztük, végül a vizualizáció során a rakéta trajektóriáját¹ mint térgörbét, szoftveren ábrázoltuk a könnyebb értelmezhetőség érdekében.

Ahhoz, hogy pontosan ki tudjuk számolni a rakéta röppályáját, egy szélmodellt is be kellett építenünk a szimulációnkba. Ehhez a 9. ábrán látható modellt használtuk.

Miután a szoftverben megterveztük és felparamétereztük a rakétát, szimuláltuk annak repülését. A 7000 méteres, hazai felbocsátás esetében kapott szimulációs eredményeket a 10–12. ábrák mutatják be, az adatok az eszköz függőleges tengelye mentén értelmezhetők.

A lehető legpontosabb szimulációk elkészítése fontos elemét képezi egy rakéta megtervezésének, és ez az EuRoC versenyen történő részvétel egyik feltétele is. A szélmodell helyett friss széladatokkal történő szimuláció pedig a felbocsátás előtti felkészülés egyik fontos mérföldköve. Később ezeket a szimulációs eredményeket a mérési adatokkal is összevetettük. A szimulációs eredmények grafikonjain a 3. táblázatban felsorolt eseményeket figyelhetjük meg.

A magasság, a sebesség és a gyorsulás időfüggvényei, valamint egyéb szimulációk mellett a szoftvereink alkalmasak a teljes röppálya-szimuláció elkészítésére is. Egy nominális repülési szcenárió szimulált röppályáját a 13. ábra mutatja.



13. ÁBRA.
Nominális repülési szcenárió szimulált trajektóriája 6°-os zenitű és 30 km/h-s oldalszél esetén, ejtőernyő használatával
(A szerzők szerkesztése)

¹ A fázisér egy pontja leírja a rendszer pillanatnyi állapotát. A rendszer állapotának változását követve ez a pont elmozdul, és egy utat jár be. Ezt az utat trajektóriának (azaz pályának) nevezik.

A 2023. januári felbocsátás során mért adatokat három fedélzeti számítógép szolgáltatva. A valós repülési adatokat a leírtak szerint alapos vizsgálatnak vetettük alá. Tapasztalataink szerint a magasság, sebesség és gyorsulás időfüggvényeit nagy pontossággal közelítették szoftvereink, a legnagyobb eltérést a röppálya esetében találtuk. Ennek oka a szintúgy az első fejezetben részletezett rongálódás a rakétatesten, a legnagyobb dinamikus nyomás állapotában. Ettől kezdve az eszköz már nem az eredetileg számított/szimulált aerodinamikai paraméterekkel repült, így az eredeti röppálya-szimulációtól a valós röppálya eltért. Ezen eltéréssel együtt is az eszköz az előre kiszámított biztonsági zónán belül landolt. ■

HIVATKOZÁSOK

- [1] Somogyi Boglárka, Árok Péter. CanSat Hungary – először http://www.urvilag.hu/almuk_a_vilagur/20200817_cansat_hungary_eloszor (Letöltve: 2023.11.30.);
- [2] NASA: Types of Sounding Rockets <https://www.nasa.gov/soundingrockets/vehicles/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [3] European Rocketry Challenge <https://euroc.pt/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [4] European Rocketry Challenge: Rules & Requirements <https://euroc.pt/rules-and-requirements/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [5] BME Aerospace Team: Aether S First Launch <https://www.youtube.com/watch?v=sNPKYbbFW5E> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [6] NASA: Dynamic Pressure <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/dynamic-pressure-2/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [7] NASA: Technology Readiness Levels <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [8] NASA: Rocket Center of Pressure <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-center-of-pressure/> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [9] Wait, J. R. Mode Conversion in the Earth-Ionosphere Waveguide <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C13-3cc288ccf1e74c0d6d7a0c358e14388a/pdf/GOVPUB-C13-3cc288ccf1e74c0d6d7a0c358e14388a.pdf> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [10] Wait, J. R., Spies, K. P. Characteristics of the Earth-Ionosphere Waveguide for VLF Radio Waves <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/TN/nbstechnicalnote300.pdf> (Letöltve: 2023.11.30.);
- [11] Becker, S., Bruce, P. Experimental Study of Paraglider Aerodynamics https://www.researchgate.net/publication/319702478_Experimental_Study_of_Paraglider_Aerodynamics (Letöltve: 2023.11.30.) <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33674.16321>.

DR. LUKÁCS LÁSZLÓ

Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban az 1800-as évek végétől napjainkig

„A mai műszaki katonai nemzedék, amely a jövőben a vezetésre hivatott, csak a múltból tanulhat. Aki pedig nem becsüli múltját, annak nincs jövője.” Jacobi Ágost utász ezredesnek, az I. világháborúban harcoló magyar műszaki katonáknak emléket állító 1938-ban megjelent könyvében (A Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban 1914–1918. Közlekedési Nyomda K.F.T., Budapest) olvasható mondatai voltak azok, amelyek a jelen, valamint a korábbi két monográfia megírására ösztönözte a szerzőt.

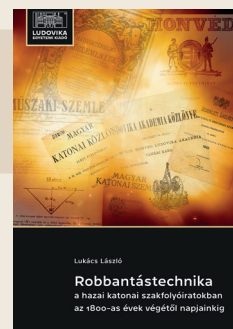
Dr. Lukács László az előző két könyvében a hazai katonai robbantástechnika fejlődéstörténetét dolgozta fel, az éppen érvényes (szabályzatokban, utasításokban foglalt) előírások alakulásán keresztül. (Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, Dialóg Campus, 2017; Szemelvények a hazai katonai robbantástechnika és a földalatti aknaharc fejlődéstörténetéből, Ludovika Egyetemi Könyvkiadó, 2023.) A hazai katonai robbantástechnika múltjának összefoglaló bemutatásából a szerzőnek már csak egyetlen adóssága maradt: a katonai szakfolyóiratokban megjelent korabeli cikkek, tanulmányok feldolgozása. A legújabb kutatások és gyakorlati tapasztalatok eredményeivel mindig a periodikákban találkozhattak/találkozhatnak először a szakemberek. A legjelentősebb szakmai kérdések később – jó esetben – bekerültek az újabb szabályzatokba is, de talán annál

is nagyobb jelentőségű e kiadványok megjelenésekor az olvasóik hivatalos előírásokon túlmutató szakmai ismereteinek elmélyítése, a legújabb információk, tapasztalatok, kipróbált és bevált új módszerek bemutatásával.

A neves szakember könyvében nagy történelmi kirándulásra invitálja az olvasót, a hazai katonai szakfolyóiratokban megjelent, robbantástechnikával foglalkozó cikkek világába, az 1800-as évek végétől napjainkig. A hazai szakfolyóiratok megjelenésének első akadályát a magyar katonai szaknyelv hiánya jelentette. Az első fejezetben – többek között – erről is olvashatunk.

A további fejezetekben három alfejezetre bontva követik egymást az adott témához kapcsolódó anyagok, amelyekben az 1945-ig, az 1945-től 1990-ig tartó időszakban, és az 1990-től napjainkig megjelent cikkek között szemlétett a szerző. Három különböző társadalmi rendszer, három hadseregének robbantástechnikai történelme elevenedik meg ezekben a fejezetekben, az általa felállított szakmai rendszerezés szerint. Olvashatunk a robbantóanyagokról, a robbanás irányított hatásáról, a szerkezeti elemek és építmények, továbbá a föld- és a sziklás kőzetek robbantásáról szóló anyagokat. A kötet utolsó fejezete egy szakmailag látszólag távol álló kérdéssel foglalkozik: a robbanás egészségügyi hatásait tárgyaló cikkek bemutatásával. E témaválasztásban Lukács László azon véleménye tükröződik, hogy a robban-

tástechnikával foglalkozó szakembereknek ismerniük kell úgy a robbanás során keletkező gázok mérgező hatását, mint a robbanóanyagok gyártása, kezelése, és az azokkal történő munkavégzés során betartandó munkaegészségügyi szabályokat. Ugyanígy fontos a robbanás emberi szervezetre gyakorolt hatásainak, a robbanás során keletkező sérülések megismerése, természetesen nem a sebész, hanem a parancsnok, a katonáiért felelős vezető szemzőgéből. A könyv a robbantástechnika kutatásával és fejlesztésével, a robbantás oktatásával, a kiképzéssel és a gyakorlati munkák kivitelezésével foglalkozó azon magyar műszaki katonáknak, szakembereknek kíván emléket állítani, akik értékes gondolataikat, eredményeiket a bemutatott szakfolyóiratokban osztották meg kortársaikkal. (L.L.)



A monográfia a Ludovika Egyetemi Kiadó gondozásában jelent meg, 432 oldal terjedelemben. E-könyvként beszerezhető: <https://webshop.ludovika.hu/termek/konyvek/hadtudomany/robbantastech-nika-a-hazai-katonai-szakfolyoiratokban-az-1800-asevek-vegetol-napjainkig/> Ára: 2223 Ft, a kiadó webshopjában: 1778 Ft.