

Fantomokkal a Hold körül – magyar részvétel az Artemis küldetés első tesztrepülésében

Strádi Andrea,
Szabó Julianna,
Hirn Attila

ELKH
Energiatudományi
Kutatóközpont,
Űrkutatási
Laboratórium,
Budapest

A NASA Artemis-programjának célja, hogy nemzetközi együttműködésben új fejezetet nyisson az űrkutatás és -felhasználás területén, többek között emberi személyzetet szállító űrhajó, Hold körüli pályán keringő űrállomás és a későbbiekben holdbázis létrehozásával. Hosszú évek előkészületei, megannyi elhalasztott start, meghosszabbított határidő és költségvetési terv-újrarendelés eredményeképpen készen áll az a rendszer, amely lehetővé teszi az első tesztrepülést (Exploration Mission- 1) a legújabb emberes űrhajó, az Orion számára. Eltérően a hidegháborús időktől, az első legénység emberi testet imitáló fantomokból fog állni, amelyek lehetővé teszik, hogy átfogó sugárvédelmi mérések készülhessenek, még mielőtt az élő űrhajósok megtapasztalják a kozmikus sugárzási környezet hatásait. A kísérletben részt vesznek az Energiatudományi Kutatóközpont kutatói is.

BEVEZETÉS

Az emberes űrutazások új korszakába lépve egyre közelebb kerülünk ahhoz, hogy ismét űrhajósok sétálhassanak a Hold felszínén, és felhasználva a megszerzett tapasztalatokat komoly előrelépéseket tegyünk a biztonságosan kivitelezhető marsi utazáshoz. A NASA Artemis elnevezésű programjának égisze alatt megvalósuló nemzetközi együttműködés nemcsak az űrkutatás megerősítését, hanem a nemzetek közötti békés kapcsolatok megszilárdítását is szolgálja. Szemben ugyanis az Apollo-programmal, kifejezett cél, hogy együttműködésben valósuljon meg az összes küldetés a biztonság és a fenntarthatóság növelése érdekében. Összességében a résztvevő nemzetek olyan rendszereket fejlesztenek ki, amilyeneket más országok is használhatnak, köszönhetően a tudományos információk nyilvánossá tétele melletti elköteleződésnek.

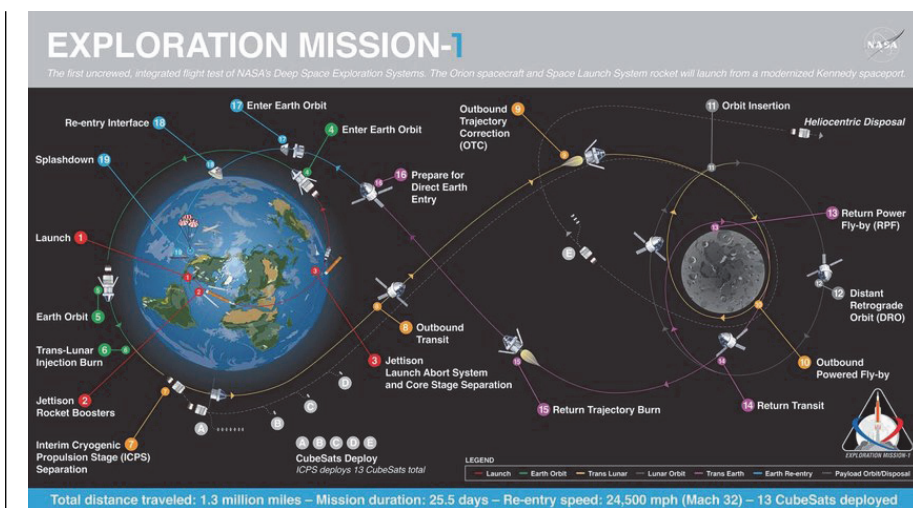
Az Artemis mélyűr-felfedező infrastruktúrájának alapját az SLS (Space Launch System) rakéta, az Orion űrhajó és a kiszolgáló földi egység (Kennedy Űrközpont, Florida) alkotja. A program első fázisaként ezen eszközök segítségével fektetik le az alapokat és demonstrálják a technológiai képességeket, majd a további lépések során az emberi jelenlét kiterjesztése következhet a Hold körüli térségbe és a felszínre. A kitűzött ambiciózus célok eléréséhez alapvető fontosságú, hogy égi kísérőnk sugárzási terét jobban megértsük, felhasználva a rendelkezésre álló modern méréstechnikát. Lényeges körül-

mény, hogy mivel a Hold nem rendelkezik mágneses térrel, ami eltérítené a töltött részecskéket, ezért egy esetleges napkitörés során kilöködő nagy mennyiségű anyag (koronakidobódás) akadálytalanul zúdul az útjában lévő űrhajóra. Mindemellett a mélyűrből származó, és a Naprendszerben folyamatosan jelen lévő nagy energiájú kozmikus sugárzás is bombázza az utasokat. A módszer, amellyel lehetséges megmérni azt, hogy pontosan milyen mennyiségű és minőségű ionizáló sugárzás érheti az űrhajósokat az Orion fedélzetén, ismert és rendelkezésre áll: humanoid fantomok tetőtől talpig tele a legkülönbözőbb sugármérő eszközökkel.

Köszönhetően a kozmikus sugárzás detektálásában való négy évtizedes tapasztalatának, az Energia-tudományi Kutatóközpont Űrkutatási Laboratóriuma több tekintetben is részese lehet az emberiség következő „nagy ugrásának”. Elsőként az alábbiakban bemutatásra kerülő tesztrepülésben, a későbbiekben pedig a Gateway űrállomás sugárvédelmi rendszerének fejlesztésében.

UTAZÁS A HOLD KÖRÜL

Az Orion űrhajó egy emberes felfedező jármű 2-6 fő legénység részére. Fejlesztésének ötlete már 2004-ben felkerült a NASA hivatalos tervei közé, a dizájn megtervezéséhez versenyt hirdettek, amelyet a Lockheed Martin már akkor elnyert, és az *Orion Crew Exploration Vehicle* része lett a 2005-ben kezdődött, de a késések és a finanszírozási keret túllépései miatt négy évvel később felfüggesztett Constellation programnak. Az űrjármű rendelkezik vészhelyzeti megszakítási lehetőséggel arra az esetre, ha felbocsátáskor a rakéta meghibásodna, fenntartja a személyzet életéhez szükséges körülményeket az űrutazás során, és lehetővé teszi a légkörbe való biztonságos belépést, majd az óceánba történő „landolást”. A Lockheed Martin által gyártott személyzeti modulhoz kapcsolódik az európai kiszolgáló egység (*European Service Module*), amelyet az Airbus Defence and Space készített el, és többek között célja az energiaellátás biztosítása a napelemek segítségével. Az űrhajó automata dokkoló rendszerrel rendelkezik, sebességét és pozícióját a főhajtóművel, valamint nyolc kisebb hajtómű és hat fúvóka segítségével tudja változtatni.



1. ábra: Az Orion űrhajó tervezett pályája a Hold körül (NASA)

Mindezekre szükség lesz az Artemis következő fázisaiban megépítendő Gateway űrállomáshoz való kapcsolódáshoz. A visszatérő egység, bár hasonlít az Apollo-programban használt modulra, modern elektronikával rendelkezik. A műszerfal nem hagyományos analóg számlapokkal és műszerekkel van felszerelve, hanem a Boeing 787 Dreamliner sugárhajtású utasszállító repülőgép pilótafülkéjének felépítését tükrözi digitális repülési műszerkijelzőkkel, nagyméretű LCD monitorokkal.

A Kennedy Űrközpontból történő felbocsátást követően az Orion Föld körüli pályán kinyitja a napelemeit, majd az átmeneti kriogén meghajtási szakaszban kapott lökés hatására tranzit pályára kerül. Eközben a másodlagos hasznos teherként magával vitt kisműholdakat (CubeSatokat) útjukra engedi, amelyek technológiai demonstrációként és kísérleti platformként szolgálnak. Amikor megérkezik a Holdhoz, az Orion közeli elrepülést (*flyby*) hajt végre, körülbelül 100 kilométerrel a felszín felett. Ezután egy úgynevezett távoli-retrográd pályára áll. Az űreszköz keringési iránya ellentétes (retrográd) lesz tehát a Holdéval, és a továbbiakban messzebb halad majd a felszíntől, nagyjából 61 ezer kilométerre. Az Orion nagyjából hat napig marad Hold körüli pályán, hogy adatokat gyűjtsön, és a földi küldetésirányítók értékelhessék a különböző technológiai egységek teljesítményét. A személyzet nélküli űrhajó végezetül még egy közeli elrepülést hajt végre, mielőtt a szervízmodul hajtóművei segítségével a visszatérő egység a megfelelő pályára áll a Föld felé. A kapszula ezt követően belép a Föld légkörébe és ejtőernyős lassítást követően a Csendes-óceánban, a Kaliforniai-félsziget (Baja California, ejtsd: baha) partjainál ér majd „földet”. A nagyjából 25 és fél napos küldetése alatt az Orion közel 2,1 millió kilométer utat tesz meg [1].

FANTOMOK A FEDÉLZETEN

Az optimális sugárvédelmi árnyékolás, a megfelelő dóziskorlátok kidolgozása, a bőrt, valamint a belső szerveket érő sugárterhelés összefüggéseinek megértése kulcskérdés az emberes küldetések terve-



2. ábra: Matroshka fantom a DLR laboratóriumában és az űrséta szimulációjához felépített szka-fanderrel. (Fotó: ESA / DLR)

zése során. Nem új keletű ötlet, hogy az űrhajósokat kívül-belül érő ionizáló sugárzást a valóságot jól modellező bábu, úgynevezett fantom segítségével vizsgálják. Emberi koponyát imitáló fantommal már a 90-es években is végeztek méréseket a NASA űrsiklóin, majd a Mir űrállomáson [2,3]. Az EK kutatói is részt vettek abban a lényegesen részletgazdagabb fantomot használó kísérletsorozatban, melyet az Európai Űrügynökség (ESA) megbízásából a Német Repülési és Űrrepülési Hivatal (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*, DLR) koordinált [4]. A HAMLET program Matroszka elnevezésű fantomjának lágy szövetei és tüdeje testszövetazonos, kis sűrűségű poliuretánból készültek és valódi emberi csontokat tartalmazott. Több mint ezer mérési pozíciót alakítottak ki a bábun aktív (energiaellátást igénylő) és passzív (utólagos kiértékeléssel elemezhető) detektorok számára. A Nemzetközi Űrállomás külső platformjához rögzítve, űrsétát szimulálva, valamint különböző modulokban az űrállomáson belül is végeztek méréseket 2004 és 2011 között [5]. Hasonló modelleket alkalmaznak egyébként a radioterápiás besugárzó berendezések tesztelése, kalibrálása során is.

Az Orion űrhajón tervezett *Matroszka AstroRad Radiation Experiment* (MARE) sugárzási kísérletet szintén a DLR vezeti az ESA megbízásából. Doziméterekkel részt vesznek több ország (Ausztria, Belgium, Csehország, Lengyelország, Magyarország, Németország, az Egyesült Államok és Japán) kutatói is, akik már tapasztaltak a hasonló típusú mérésekben. Miként a Matroszka küldetésekben, a cél ez esetben is a különböző szövettípusokban elnyelt sugárzás mennyiségének és minőségének megállapítása, ezáltal felmérve az űrhajóban utazó személyzetet érő sugárterhelést. Lényegi különbség a MARE fantomok tekintetében, hogy ez esetben női testet imitálnak, összesen 38 darab 2,5 cm-es szeletből felépítve.



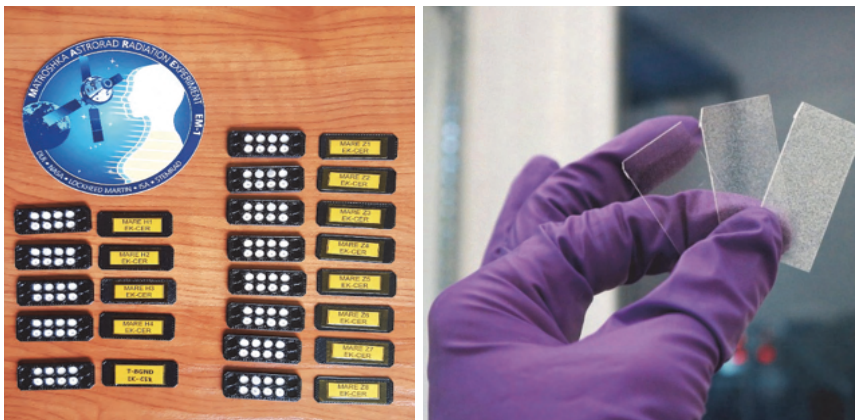
3. ábra: A MARE fantom. (Fotó: DLR)

Biológiai és sugárvédelmi szempontból nem elhanyagolható a különbség a két nem szöveti és szervi felépítésében, emiatt az új eredmények hiánypótlók lesznek. A küldetés során két teljesen azonos – Helga és Zohar névre keresztelt – fantomot helyeznek majd el az egymás melletti ülésekben, melyek közül az egyik (Zohar) az AstroRad elnevezésű sugárvédelmi mellényt is viseli majd. A Nemzetközi Űrállomáson már tesztelték a mellényt, de a Hold körüli térség kitettsége egyedi körülményeket teremt, így hasznos új információkkal gazdagodhatunk. A fantomok belsejében kialakított 1400 szenzorpozíció mellett a „bőrfelületen” és a mellény külső felületén is folynak majd mérések, így egyértelműen látható majd, hogy milyen mennyiségű és minőségű sugárzástól védi meg a viselőjét [6].

PASSZÍV DOZIMÉTER ÖSSZEÁLLÍTÁS

Az Apollo-küldetésekből meglehetősen kevés és kezdetleges szabályozások mellett rögzített dozimetriai adat áll rendelkezésre. Habár az indiai Chandrayaan szonda szolgáltatott releváns mérési adatokat a Hold körüli pályáról [7] és a közelmúltban publikáltak már a Hold felszínén mért sugárdózis adatokat is [8], mégis a MARE kísérlet fantomok alkalmazásával várható eredményei az emberes küldetések szempontjából hiánypótlóak lesznek. A résztvevő kutatócsoportok a DOSIS-3D kísérletsorozat keretein belül a Nemzetközi Űrállomás Columbus moduljában több mint 10 éve végeznek méréseket [9]. Az együttműködés során felhalmozott tapasztalatok segítségével kialakítottak egy olyan mérési összeállítást, amelyben egyidejűleg különböző típusú passzív dózismérőkkel detektálható a kozmikus sugárzás. Többek között ezt a termolumineszcens dózismérőket és szilárdtest-nyomdetektorokat tartalmazó összeállítást fogják alkalmazni az Orion űrhajóban helyet foglaló fantomok testfelületén és a sugárvédelmi mellény alatt és felett. Kiegészítésként további nyomdetektorok elhelyezésére is lehetőség nyílt mindkét fantom tüdejének, gyomrának, méhének és gerincoszlopának közelében, ezek ugyanis az ionizáló sugárzásra legérzékenyebb területek.

A szilárdtest-nyomdetektorok a nagyobb energia leadásra képes részecskéket regisztrálják látható felületi roncsolás formájában (ilyenek a protonok és a szupernóva-robbanások során szétrepülő, közel fénysebességgel száguldó atomok), míg a termolumineszcens detektorok a kisebb energialeadású protonokra, ionokra, gamma-sugárzásra és az űrhajó falából kilökött neutronokra érzékenyek. Ezeket a detektorokat a küldetés végén, a földi laboratóriumban értékeli ki a kutatók.



4. ábra: A MARE kísérlethez előkészített termolumineszcens doziméterek a 3D nyomtatott tartókban (balra) és kalibrációs besugárzások során különböző mértékben roncsolt szilárdtest-nyomdetektor lapkák (jobbra). (Fotók: EK)

STARTRA KÉSZEN

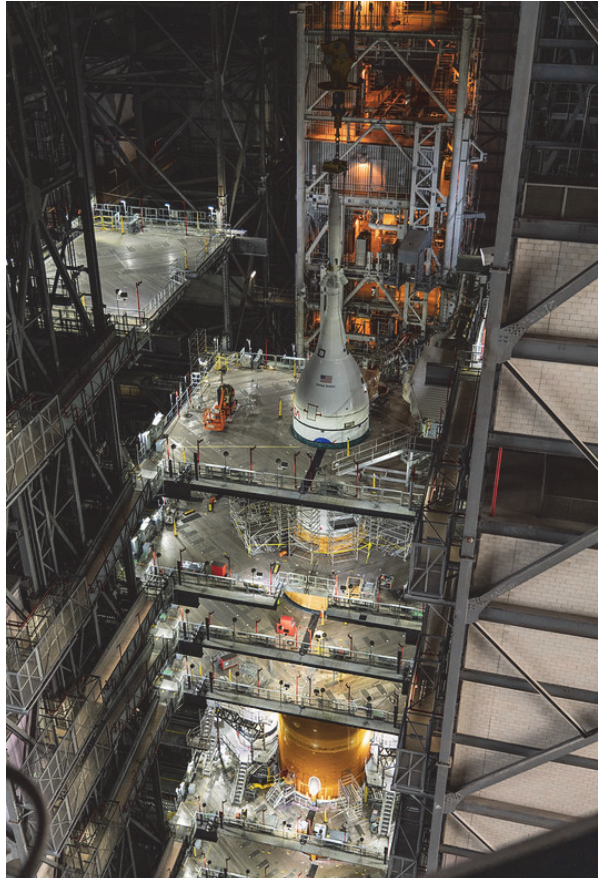
Az Artemis-program első küldetése várhatóan 2022/2023-ban indulhat. Az Orion űrhajó (fedélzetén a fantomokkal és az integrált dózismérőkkel), valamint a szállító rakéta, az SLS már összeszerelve

várja, hogy a felbocsátás előtti rengeteg tesztet elvégezzék rajta. Az Apollo- és az űrsiklóprogram indításainak helyszínéül szolgáló *Launch Complex 39B* indítóállást felújították, innen indulhat majd útjára ez a történelmi küldetéssorozat.

Izgatottan várjuk a fejleményeket!

Irodalomjegyzék

- [1] NASA Exploration Mission-1, <https://www.nasa.gov/subject/12388/em1-exploration-mission-1/>
- [2] Konradi A. et al. (1992): Low earth orbit radiation dose distribution in a phantom head. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 2, 49
- [3] Bereger T. et al. (2004): Austrian dose measurements onboard space station MIR and the International Space Station – overview and comparison. *Advances in Space Research*, 34, 1414
- [4] Szabó J., Pálfalvi J. K. (2012): Calibration of solid state nuclear track detectors at high energy ion beams for cosmic radiation measurements: HAMLET results. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 694, 193
- [5] Reitz G. et al. (2009): Astronaut's Organ Doses Inferred from Measurements in a Human Phantom Outside the International Space Station. *Radiation Research*, 171, 225
- [6] MARE – The MATROSHKA AstroRad Radiation Experiment, <https://www.dlr.de/me/en/desktopdefault.aspx/tabid-14114>
- [7] Zhang S. et al. (2020): First measurements of the radiation dose on the lunar surface. *Science Advances*, 6, 1
- [8] Dachev T. et al. (2009): Monitoring lunar radiation environment: RADOM instrument on Chandrayaan-1. *Current Science*, 96, 544
- [9] Berger T. et al. (2016): DOSIS & DOSIS-3D: long-term dose monitoring onboard the Columbus Laboratory of the International Space Station (ISS). *Journal of Space Weather and Space Climate*, 6, A39



5. ábra: Orion űrhajó az SLS rakéta orrkúpja alatt az összeselő csarnokban. (Fotó: NASA / Radislav Sinyak)