

Pille 40 – egy korszakokon átívelő történet

Hirn Attila, Apáthy István, Csőke Antal, Deme Sándor

Magyar Tudományos Akadémia
Energiatudományi Kutatóközpont

2018-ban volt 40 éve annak, hogy a legismertebb hazai, űrben használt műszer, a Pille fejlesztése megkezdődött. A berendezés első példányát Farkas Bertalan vitte magával a Szaljut-6 űrállomásra. Különböző változataival azóta valamennyi állandóan lakott űrállomás fedélzetén végeztek méréseket, sőt az amerikai űrsikló fedélzetére is eljutott. Jelenleg a Nemzetközi Űrállomás (ISS) orosz szegmensében a szolgálati dozimetriai rendszer részeként üzemel. A történet pedig közel sem ért véget. Legutóbb 2018 nyarán jutott fel a Pille legújabb példánya, hogy az ott már 15 éve folyamatosan és megbízhatóan működő rendszert leváltssa. A tervek szerint a rendszer egészen az űrállomás élettartamának végéig, azaz legalább 2024-ig fogja szolgálni az orosz űrhajósokat az ISS fedélzetén. A rövid történeti áttekintés után a 2018. év fejleményeit, valamint a rendszer legújabb fejlesztéseit mutatjuk be.

Bevezetés

Mint minden sugárveszélyes munkahelyen, a Föld körül keringő vagy éppen a Föld körüli térséget elhagyó űrhajók, űrállomások fedélzetén is mérni kell a sugárzás dózist, vagyis a dózisterhelést. Az űrhajósokat munkájuk során folyamatosan éri a galaxisunkból és a Napból érkező nagyenergiás, főként protonokból és nehezebb, teljesen ionizált atommagokból álló sugárzás. Ez a sugárzás a Föld felszínén mért, természetes eredetű háttérsugárzás intenzitásánál több mint két nagyságrenddel is nagyobb lehet, ráadásul az űrhajósokat nem csak munkavégzés közben, hanem pihenőidejük alatt is éri. A földi gyakorlatban sugárveszélyes munkahelyeken alkalmazott éves dóziskorlátok esetükben nem használhatók, mivel azokat garantáltan túllépnek; ehelyett az űrhajósok nemétől és életkorától függő életpálya dóziskorlátokat definiáltak az egyes űrügynökségek. Ezen korlátokat úgy határozták meg, hogy az ionizáló sugárzás okozta rosszindulatú daganatok kialakulásának kockázata az elfogadhatónál (jellemzően 3%) nagyobb mértékben ne növekedhessen meg. Ahhoz, hogy egy űrhajós dolgozhasson az űrállomáson, bizonyítani kell azt, hogy az űrhajós az életpálya dózist még nem érte el, illetve a soron következő küldetésére elegendő „tartalék”

áll rendelkezésre. Ez azt jelenti, hogy folyamatosan mérni kell annak a sugárzásnak a dózisát, ami őt éri. A világűrben az űrhajósokat érő sugárzás meglehetősen összetett, és a részecskék energiája több nagyságrendet átölel, ezen felül az űrállomások fedélzetén időben és helytől függően is jelentős mértékben változhat. A sugárzás egy része magában az űrhajó anyagában (sőt az űrhajós testében) keletkező másodlagos sugárzás. Ennek a nagyon összetett sugárzásnak a mérésére számos technikai megoldás létezik; a Pillénél ezek egyikét, a termolumineszcens dózismérést használjuk.

A termolumineszcens (TL) tulajdonsággal rendelkező, megfelelően adalékolt kristályos anyagok szerkezetükben az őket érő ionizáló sugárzás energiájával arányos energiát raktároznak el. Ez az energiamennyiség később, a kristályt felfűtve fény formájában felszabadul. A TL detektorok kalibrációjának ismeretében, a fény mennyiségét megmérve az elnyelt dózisa következtethetünk. Ezt a folyamatot kiolvasásnak nevezzük. A kiolvasás során a detektorokban tárolt dózisinformáció törlődik, így a detektor többször is felhasználható.

Az első Pille rendszerek

Már a 60-as, 70-es években használtak TL dózismérőket az űrhajósok dózisének nyomon követésére. Akkoriban az űrhajósok a magukkal vitt dózismérőket a küldetésük végeztével kiértékelésre visszahozták a Földre, ahol a kiértékelés meglehetősen nagyméretű, -tömegű és -fogyasztású kiolvasókkal történt. Ezen földi kiértékeléshez intézetünk elődje, a Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) is szállított saját fejlesztésű berendezést annak a moszkvai intézetnek, amelyik az űrhajósok dozimetriájával foglalkozik. Ennek a megoldásnak egyik nagy hátránya, hogy az űrhajósok dózisát csak utólag, a teljes küldetésre vonatkozóan lehet meghatározni, így az nem alkalmas rövid időn belüli változások vizsgálatára, és az űrállomás dózistérképezésére (az annak egyes helyein jelentkező dózisterhelés összehasonlítására) is csak jelentős bizonytalanság mellett használható.

A Pille története 1978 nyarán egy telefonhívással kezdődött. A szovjet kollégák afelől érdeklődtek, lehetséges volna-e, hogy az első magyar űrhajós repülésére a földi berendezést is kifejlesztő KFKI Sugárvédelmi Osztálya egy fedélzeti termolumineszcens dózismérő rendszert készítsen. Ez a meglévő, laboratóriumi berendezéshez képest közel 20–30-szoros térfogat-, tömeg- és fogyasztáscsökkentést követelt, valamint azt, hogy az eszköz megfelelően a felbocsátás és a világűrben való üzemelés szigorú köve-

telményeinek (gyorsulás, vibráció, termikus környezet, elektromágneses zavarok, stb.). A kérésre a válasz igen volt. Néhány hét elteltével a magyar űrhajós tudományos programját előkészítő szovjet delegáció – magyarországi látogatása során, ezúttal már hivatalosan is – ugyanezzel a kéréssel fordult a KFKI főigazgatójához, azzal a kiegészítéssel, hogy a műszerrel 9 hónap alatt el kell készülniük! Szabó Ferenc főigazgató – a szakemberekkel egyeztetve – vállalta a rendkívül szoros határidőt, és a fejlesztői gárda teljes támogatását (alkatrészek speciális úton történő beszerzése, kiemelt műhelyhasználat) is biztosította. A munka mind a mechanikai, mind az elektronikai és dozimetriai fejlesztést magába foglalta.

A dózismérő rendszer tetszőleges számú dózismérőből és egy kiolvasó berendezésből áll. Műszaki megoldásként ún. búra dózismérők készültek; ezeknél minden egyes dózismérő (érzékelő) egy axiális kivezetőkkel ellátott, belül vákuumra szívott átlátszó üvegbúra, melyben a – BME által fejlesztett és gyártott – TL kristályok kis fűtőlapkára vannak ragasztva. Az üvegbúrákat a könnyű kezelhetőség érdekében tollszerű foglaltba, ún. kulcsba szerelik. Kiolvasásnál az űrhajós a kulcsot a kiolvasó készülékbe helyezi, ahol a kristályszemcsék felfűtése automatikusan megtörténik, a berendezés az általuk kibocsátott igen kis fény mennyiséget megméri, azt átszámítja dózissá, ami azután a kijelzőről leolvasható. A műszer végleges változata végül a kért határidőre elkészült és a teszteken gond nélkül megfelelt, majd átadásra került a szovjet partnernek.

Farkas Bertalan és Valerij Kubaszov a korábban tervezett 1979 májusa helyett 1980. május 26-án, magyar idő szerint 20:20-kor indult el a világűrbe a Szozjuz-36 űrhajó fedélzetén, hogy csatlakozzon a Szaljut-6 űrállomáshoz. Farkas Bertalan gazdag tudományos kísérletcsomaggal érkezett a Föld körül keringő laboratóriumba. Ezek egyike volt a Pille rendszer, amely megalapozta, hogy kutatóintézetünk, illetve Magyarország az el-

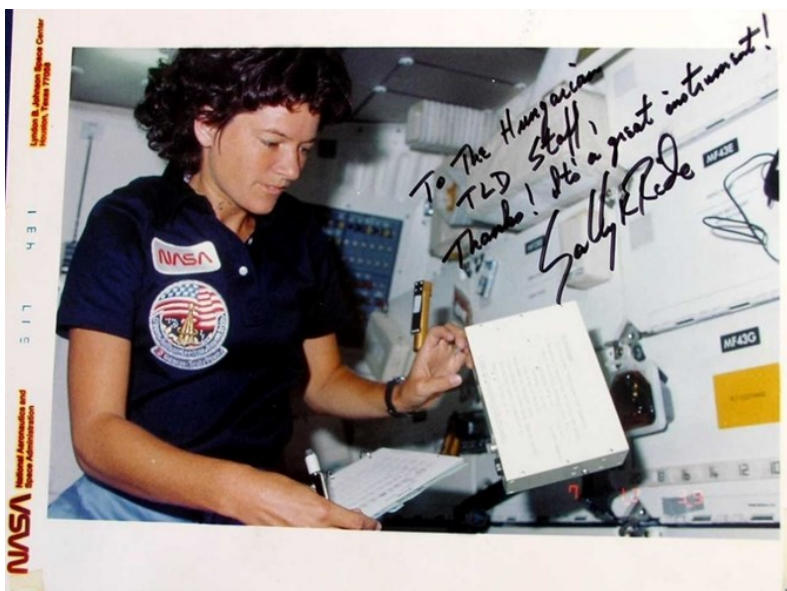


*1. ábra: Farkas Bertalan űrhajós 1980-ban, a Szaljut-6 űrállomás fedélzetén végez méréseket a Pille rendszerrel.
(Fotó: MTI)*

következő évtizedekben is fontos szerepet töltsön be a nemzetközi együttműködésben megvalósuló űrdozimetriai célú kutatásokban.

Farkas Bertalan repülését követően a Pille a Szaljut-6 űrállomás fedélzetén maradt. A Szaljut-7 űrállomásra így egy újabb Pille rendszer készült, ahol már az új típusú, saját tervezésű, párhuzamos kivezetésekkel rendelkező, máig is használt, Tungstam gyártású, végleges búrákat alkalmazták. A rendszert az 1983. március 2-án startoló, Kozmosz-1443 jelű teherűrhajóval juttatták az űrállomásra.

1982 őszén, a Nemzetközi Asztronautikai Kongresszus alkalmával Sally Ride amerikai űrhajós is Budapestre látogatott, ahol megismerkedett a Pillével. A magyar dózismérő rendszer annyira megtetszett neki, hogy jelezte, szívesen végezne méréseket vele a világűrben. A 80-as évek elején, a csillagháborús terv időszakában ez eléggé problémás feladatnak tűnt. Végül mégis sikerült elérni, hogy a Challenger-6 (STS-41G) küldetés alkalmával a Pille egy akkumulátoros változatát magával vigye az űrsikló fedélzetére és ott 1984. október 5-13. között méréseket végezzen vele.



2. ábra: Sally Ride NASA-űrhajós 1984-ben, a Challenger űrsikló fedélzetén végez méréseket a Pille rendszerrel. (Fotó: NASA)

1986-ban aztán újabb űrtörténelmi különlegességre került sor. A Pillét, csupán néhány egyéb berendezés társaságában átszállították a Szaljut-7 űrállomásról egy másik, újonnan épült űrállomásra, a Mirre. Az átszállításra 1986 júniusában a Szojuz T-15 űrhajóval került sor. Ezen felül, az 1987. március 3-án startolt és két nappal később a Mirhez csatlakozó Progressz-28 teherszállító űrhajó további 16 Pille dózismérőt juttatott fel az űrállomás fedélzetére. A rendszer ezt követően katonai kezelésbe került, és a Pillének nyoma veszett. Az első generációs, még kis integrálású áramkörökkel épített Pille elektronikájának fejlesztői pedig időközben kiléptek a KFKI-ból.

A mikroprocesszoros Pille

Egy kisebb szünet után, a 90-es évek elején a KFKI AEKI Űrelektronikai Kutatócsoportban (a mai MTA EK Űrdozimetriai Kutatócsoport elődjében) – a BL-Electronics Kft.-vel együttműködésben – egy új, mikroprocesszoros Pille változat fejlesztése kezdődött meg. A dózismérő, valamint a mechanikai felépítés alapjai nem változtak, a gépészeti és dozimetriai tervezők személye is változatlan maradt. Ugyanakkor a jelentős elektronikai fejlesztésnek köszönhetően tovább nőtt a rendszer érzékenysége és pontossága, könnyebbé vált a kezelhetősége. A dózismérő egységbe (kulcsba) épített memória csipnek köszönhetően lehetővé vált a dózismérők automatikus azonosítása, a kiolvasóba helyezhető szabványos, cserélhető memóriakártya segítségével pedig a mérési eredmények és paraméterek automatikus tárolása. Egy, a kiolvasóban folyamatosan tartott dózismérő automatikus kiolvasása révén akár tízperces időfelbontású adatsorokat is lehetett mérni. A kiolvasó készüléket közvetlenül számítógéphez lehetett csatlakoztatni.

A mikroprocesszoros Pille első példánya (Pille'95) a Progressz-M28 fedélzetén jutott el 1995 júliusában a Mir űrállomás fedélzetére, ahol az Euromir'95 küldetés keretében Thomas Reiter ESA- és tiszteletbeli magyar űrhajós 1995. szeptember 5. és 1996. február 29. között elvégezte a Mir dozimetriai feltérképezését, valamint nagy időfelbontású méréssorozatot is végzett a Pillével.

A NASAMir4 küldetés keretében a Pille'96 rendszer jutott fel 1997. január 15-én az Atlantis űrsiklóval ugyancsak a Mir űrállomásra. Jerry Linenger és Michael Foale NASA-űrhajósok – a rutinméréseken felül – elvégezték az űrséta járulékos dózisa-nak meghatározását, amihez az új űrruhák készítésénél dózismérőink elhelyezésére külön zsebket alakítottak ki. Űrséta alatt

az asztronauták az űrállomáson belüli kontrollméréssel összehasonlítva 3–4-szeres dózist kaptak. Ciblijev orosz űrhajós – saját kezdeményezésre – azt is kimérte, hogy az űrállomás fedélzetén a dózisterhelés éppen hálóhelyén a legmagasabb. Ennek oka az, hogy az űrhajósok alvóhelyét általában közvetlenül az űrállomás viszonylag vékony fala mellett alakítják ki, ahol a műszerek, berendezések járulékos árnyékoló hatása nem érvényesül. A kozmonauta ezek után azonnal hálóhelyet változtatott.

Sajnos egy, az űrállomást 1997. június 25-én ért műszaki baleset következményeképpen mindkét (az ESA ill. a NASA által használt) Pillénk a Mir sérült és lezárt Szpektr moduljában rekedt, ahonnan egyetlen műszert se tudtak a későbbiekben kihozni.

Időközben az „új” Pille földi pályafutása is megkezdődött: Pakson két hordozható, akkumulátoros példányt állítottak az atomerőmű tágabb környezete sugárzásmonitorozásának szolgálatába.



3.ábra: Jim Voss amerikai űrhajós 2001 júniusában a Pille rendszerrel végez méréseket. (Kép: NASA)

Pillék a Nemzetközi Űrállomáson

A Mir űrállomást időközben felváltotta a közel húsz nemzet közreműködésével felépült Nemzetközi Űrállomás (ISS, International Space Station). A NASA, az ESA, valamint az Orosz Űrkutatási Ügynökség (RKA) is nagyfokú érdeklődését fejezte ki egy termolumineszcens dózismérésen alapuló operatív sugárvédelmi ellenőrző rendszer iránt az ISS fedélzetére, mely a Pille berendezésen alapul. A nemzetközi együttműködési szerződések aláírása nyomán – Magyarországnak az űrállomáshoz való hozzájárulása-

ként – intézetünk a fenti berendezést kifejlesztette, és az igényelt darabszámban elkészítette. Alapvetően megváltoztattuk az új kiolvasó ún. kezelői felületét, így használata még egyszerűbbé vált. A mérési adatok, melyeket eddig csak memóriakártyán hozhattak le kiértékelés céljából a Földre, távadatközléssel is lejuthatnak az űrállomásról.

A rendszer első példánya (Pille'97), a NASA-val együttműködésben már a második ISS-küldetés alkalmával feljutott annak Destiny moduljába. A Discovery űrsikló 2001. március 8-án vitte fel a rendszert, hogy azzal a biológiai kísérletek számára biztosítsanak dozimetriai adatszolgáltatást.

A NASA költségvetésének megkurtítása sajnálatos módon a biológiai labor kiépítésének elhalasztásához vezetett. Az ESA dózistérképezési programja (DOSimetry MAPping, DOSMAP) keretében ugyan 2001. május 3. – augusztus 9. között a Pillével közel 1700 mérési adatot gyűjtöttek, ezt követően azonban a rendszerrel további méréseket az ISS fedélzetén nem végeztek. Majd 10 évvel később, 2011. július 21-én, az utolsó űrrepülőgépes küldetés alkalmával az Atlantis hozta vissza a Pillét és dózismérőit a Földre, amely 2017-ben került vissza Magyarországra, a fejlesztőkhöz. A ma is hibátlanul működő rendszer a KFKI környezetmonitorozó hálózatának részeként üzemel tovább.

A moszkvai Orvosbiológiai Problémák Intézetével együttműködésben ugyanakkor egy másik Pille rendszer is feljutott 2003. július 29-én az ISS-re (Pille-MKSZ), a Progressz-12 teherűrhajó fedélzetén. Az új rendszer már nem csak mint kísérleti berendezés, hanem mint a fedélzeti és személyi dozimetria szolgálati berendezése került az ISS Zvezda moduljába. A rendszer beüzemelését a 7. ISS-küldetés során Jurij Malencsenko végezte el 2003. szeptember 22-én. A detektorokat azóta is rendszeresen használják dózistérképezésre és űrséták alatt, valamint a nagyobb sugárzást létrehozó napkitörésekkor személyi dózismérésre.

A Pillét ugyanakkor időről időre továbbra is használják kísérleti célú vizsgálatokra. 2006–2009 között például az ESA Matrjoska-II kísérletében az űrállomás belsejében elhelyezett antropomorf (emberszerű) fantom felszínén végeztek vele méréseket. Charles Simonyi magyar származású űrturista első repülése során (2007. április 7–21. között) a Pillével számos olyan mérést hajtott végre, amelyeket a hivatásos űrhajósok időhiányában nem tudnak elvégezni, pl. személyi dózismérés a hálóhelyen, a kiolvasások utáni maradék dózis mérése. Önként vállalt feladatokat a második repülése (2009. március 26.–április 8.) alatt is végzett: négy új dózismérőt juttatott fel, melyek fedélzeti

keresztkalibrációját is elvégezte. Kimérte a Pille kiolvasó önárnyékolását, valamint további méréseket végzett a hálójelű helyen. Később, 2010 júniusa és novembere között egy érdekes kísérlet-sorozatban vehettünk részt a Pille dózismérőivel. Az úgynevezett vízfüggöny (protective water curtain) kísérletben a fedélzeten tárolt, de tisztálkodásra még fel nem használt nedves higiéniai kendőket és törülközőket tartalmazó csomagok sugárzásárnyékoló hatását mérték meg az űrállomás egy kevésbé árnyékolt részén. Az eredmények azt mutatták, hogy a vízfüggöny akár negyedével is csökkentheti az űrhajósok sugárterhelését az árnyékolt térben.

A rendszer üzemeltetésének 15 éve során körülbelül 60 ezer mérési adatot gyűjtöttek az orosz űrhajósok. Fontos emellett kiemelni, hogy az űrséták során valamennyi űrügynökség (orosz, amerikai, európai, japán, kanadai) űrhajósa a Pille-t használja személyi dózisének mérésére.

Időközben az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet Űrdozimetriai Csoportja és a BL Electronics Bt. együttműködésében kifejlesztésre került egy – részben a Pille technológiáján alapuló – hordozható, földi, kereskedelmi célú TL dózismérő rendszer is, a PorTL, amely az űrbéli technológiák földi hasznosulásának egy kiváló példája. A PorTL a DOSMAP kísérlet NASA-s társkutatójának javaslatára és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB) anyagi támogatásával készült. A fejlesztés befejezése és néhány példány elkészítése után a gyártást és értékesítést átvette az AEMI Atomenergia Mérnökiroda Kft. A rendszert felhasználják kutatóhelyeken (DESY: Deutsches Elektronen-Synchrotron, DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, NASA, ELI: Extreme Light Infrastructure), az oktatásban (BME, ELTE) és nukleáris létesítmények környezet-ellenőrző szolgálatainál (paksi atomerőmű, KFKI telephely).

Egy újabb Pille 2018-ban

A 2003 óta megbízhatóan szolgálatot teljesítő Pille rendszer szavatossági ideje időközben lejárt, így az orosz fél szükségesnek látta a rendszer lecserélését. Kutatócsoportunk így a 2003-ban feljuttatott kiolvasóval megegyező új berendezést és további 8 dózismérő kulcsot (ebből ötöt űrállomás fedélzeti, hármat pedig földi használatra) gyártott le és adott át az orosz kollégáknak. Az elkészült berendezés az átadási tesztekkel követően, 2018. június 6-án a Szozuz MSZ-09 űrhajó fedélzetén indult útjára, a Nemzetközi Űrállomásra.

Szergej Prokopjev űrhajós 2018. július 16-án kapcsolta be először az új Pille kiolvasót az a céllal, hogy azon ellenőrző tesztek hajtson végre. Két héttel később, július 30-án Oleg Artyemjev elvégezte az első fedélzeti keresztkalibrációs méréseket a régi és az új kiolvasó egységgel, valamint az előtte közel



4. ábra: A legújabb Pille berendezés.
(Kép: MTA EK)

ugyanabban a pozícióban besugárzott régebbi és az újonnan felvitt Pille dózismérőkkel. (Az űrállomás egyes pontjai között jelentős eltérés mutatkozhat a mért dózisokban annak függvényében, hogy a dózismérőket mennyire árnyékolják le a közeli szerkezeti elemek, illetve az egyéb műszerek, berendezések). Pár hétig így egyszerre két Pille kiolvasó is üzemelt a Zvezda modulban, a fedélzeten használt Pille dózismérők száma pedig ezzel a korábbi 12-ről 17-re emelkedett! A beüzemelés, illetve az első fedélzeti keresztkalibráció eredményei azt mutatják, hogy az új Pille rendszer megfelelően működik.



6. ábra: Két Pille kiolvasó (balra a régebbi és jobbra a 2018 júniusában felvitt új készülék) végez méréseket egymással párhuzamosan a Nemzetközi Űrállomás ugyanazon pontjában. A közeli felvételen az látszik, hogy az új kiolvasóval az egyik régebbi Pille dózismérő kiolvasása sikeresen megtörtént. A dózismérő még a kiolvasóban van, a kijelzőn pedig már látható is a Pille által mért dózis. (Fotók: RKK Enyergija/Roszkoszmosz)

Pille küldetés	Űreszköz	Pályamagasság	Működési (tartózkodási) idő	Dózismérők száma
Pille	Szaljut-6	200–300 km	1,5 év	16
Pille	Szaljut-7	300–400 km	3 év	16
Pille'S	STS-41G / Challenger-6	300–400 km	8 nap	8
Pille	Mir űrállomás	300–400 km	4 év	16
Pille'95	Mir (EuroMir-95)	300–400 km	5 hónap	6
Pille'96	Mir (NASAMir4)	300–400 km	5 hónap	8
Pille-ISS	ISS Destiny	330–420 km	3 hónap (10 év)	50
Pille-MKSZ	ISS Zvezda	330–420 km	15 év	12–17

Az eddigi Pille küldetések

A Pille jövője

A Pille fejlesztése 40 évvel ezelőtt kezdődött, de a történet itt közel sem ér véget! Orosz partnereink jelezték, hogy a Pille rendszert egészen az űrállomás üzemidejének végéig, vagyis legalább 2024-ig üzemeltetni kívánják.

Az elmúlt időszakban – az újonnan feljuttatott Pille rendszer legyártása és bemérése mellett – újfajta Pille dózismérő fejlesztésébe is fogtunk. A korábbi dózismérő kulcsok helyett a bűra egy kisméretű, vékony falú hengeres patronba került. Ily módon sikerült a dózismérők tokozásának árnyékolását jelentős mértékben lecsökkentenünk. Ennek űrséták során van szerepe, amikor az űrhajósok szemét és végtagjait csak kismértékben védi az űrruha a kozmikus sugárzástól. Annak érdekében, hogy a jelentős átalakítás ellenére a dózismérőket a Pille kiolvasó átalakítása nélkül is lehessen használni, egy ún. univerzális kulcsot fejlesztettünk, melybe a patronokat behelyezve az űrhajósok a kiolvasásokat a szokásos módon végezhetik. Mivel az egyedi kalibrációs adatokat tároló chip a dózismérő patronban foglal helyet, a kiolvasó azokat továbbra is automatikusan felismeri.

A kisméretű dózismérő patronok további előnye, hogy segítségével antropomorf fantomok belsejében is méréseket végezhetünk. Néhány éven belül várható, hogy az orosz Enyergija vállalat a német DLR-rel együttműködésben feljuttatja a

Matrjoska–III fantomot az ISS fedélzetére. A Matrjoska–III kísérlethez már el is készítettük az új típusú Pille dózismérő patronok behelyezésére szolgáló tartószerkezet prototípusát, melyet a cikk írásakor az orosz kollégák tesztelnek.

Az elmúlt évtizedek alatt számos csoport próbálkozott a világban a Pilléhez hasonló műszer kifejlesztésével, de egyikük sem járt sikerrel. Így a Pille továbbra is az egyetlen olyan űrkvalifikált dózismérő rendszer, melynek segítségével TL dózismérők az emberes űrhajók és űrállomások fedélzetén kiolvashatók.

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontban emellett számos egyéb dózismérő rendszert fejlesztünk, illetve a korábbi fejlesztéseket is használják a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. Nyomdetektorokat és TL detektorokat tartalmazó detektorcsomagjainkkal, valamint a TRITEL félvezető detektoros rendszer segítségével a mért dózisok mellett a sugárzási tér további jellemzőiről is fontos információkhoz jutunk. A NASA új Orion űrhajójának első, egyelőre emberek nélkül végzett Hold körüli próbarepüléséhez kapcsolódóan – passzív dózismérő detektoraival – csoportunk is meghívást kapott a programban való részvételre. Legutóbb pedig a RadMag műszer fejlesztése kezdődött el az űridőjárás vizsgálatára, amely egy újabb magyar műhold, a RADCUBE fedélzetén fog kozmikus sugárzási és mágneses tér méréseket végezni a 2020-as évek legelején.

Köszönetnyilvánítás:

Az új Pille kiolvasó gyártása és tesztelése, valamint a legújabb, kis önárnyékolású Pille dózismérők fejlesztése a Magyar Kormány támogatásával valósult meg (szerződészsámok: IKF/375/2015-NFM_SZERZ, IKF/694/2017-NFM_SZERZ).

Irodalomjegyzék

[1] Akatov Yu.A., Arkhangelsky V.V., Aleksandrov A.P., Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvölgyi J., Szabó P.P., Csőke A., Ránky M., Farkas B. (1984): Thermoluminescent dose measurements on board Salyut type orbital stations. *Advances in Space Research*, 4, 77

[2] Apáthy I., Deme S., Fehér I., Akatov Yu.A., Reitz G., Arkhanguelski V.V. (2002): Dose measurements in space by the Hungarian Pille TLD system. *Radiation Measurements*, 35, 381

[3] Apáthy I., Bodnár L., Csőke A., Deme S., Fehér I. (2006): PorTL – a földre szállt Pille, *Híradástechnika*, 2006/4, 23

- [4] Apáthy I., Akatov Yu.A., Arkhangelsky V.V., Bodnár L., Deme S., Fehér I., Kaleri A., Padalka I., Pázmándi T., Reitz G. Sharipov S. (2007): TL dose measurements on board the Russian segment of the ISS by the “Pille” system during Expedition–8, –9 and –10. *Acta Astronautica*, 60, 322
- [5] Deme S. (1981): A Pille története, avagy hogyan lett az elefántból bolha. *Fizikai Szemle*, 1981/1, 32
- [6] Deme S., Apáthy I. (1999): Újra felszáll a Pille. *Fizikai Szemle*, 1999/3, 80
- [7] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvölgyi J., Szabó P.P., Csóke A., Ránky M., Akatov Yu.A. (1981): A new thermoluminescent dosimeter system for space research. *Advances in Space Research*, 1, 61
- [8] Szántó P., Apáthy I., Deme S., Hirn A., Nikolaev I.V., Pázmándi T., Shurshakov V.A., Tolochev R.V., Yarmanova E.N. (2015): Onboard cross-calibration of the Pille-ISS Detector System and measurement of radiation shielding effect of the water filled protective curtain in the ISS crew cabin. *Radiation Measurements*, 82, 59