

40 ÉVES LETT A PILLE

Deme Sándor, Apáthy István, Csőke Antal, Hirn Attila

Energiatudományi Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.
*deme@aeki.kfki.hu

A kézirat beérkezett: 2019.10.03

Közlésre elfogadva: 2019.11.05.

Pille became 40 years old

As of this year, in 2019, it was 40 years ago that Pille, the best-known Hungarian space equipment was completed, tested and waited for its delivery to the Salyut-6 space station, with the first Hungarian cosmonaut on board Soyuz-34, to perform measurements with the instrument. However, due to the almost-tragedy of Soyuz-33, the space flight of the Hungarian cosmonaut was delayed by one year. The Pille was delivered to Salyut-6 by Bertalan Farkas, on board Soyuz-36, where he performed successful measurements with the first-ever TL dosimeter system with an on-board reader.

Measurements have been conducted with later versions of Pille with upgraded electronics on board each permanent space stations operated since then. Moreover, a special version of the Pille system has also made it to the US Space Shuttle. Pille is currently operated as part of the on-board service dosimeter system in the Russian segment of the International Space Station (ISS). The Pille on-board reader performs automatic read-outs every 90 minutes, approximately after each full orbit around the Earth. Thanks to this, there are tens of thousands of dosimetric data available from the ISS.

And the story is not over. In summer of 2018, a new Pille system was delivered to ISS to replace the system already operating continuously and reliably there for 15 years. According to the plans, the new system will serve the cosmonauts until the end of the lifetime of the ISS, at least until year 2024.

In our paper, we are going to present the main stages of the development of Pille and its results. The main features of the different versions of the instrument will be also given. We are going to briefly mention Pille's cousin on Earth, PorTL, which is also used in the environment monitoring system of Paks NPP.

Keywords: Pille, space dosimetry, space stations, on board TLD system

Ebben az évben, 2019-ben volt 40 éve annak, hogy a legismertebb hazai, űrben használt műszer, a Pille elkészült; bevizsgálva várta, hogy a Szojuz-34 űrhajón egy magyar űrhajóssal együtt felkerüljön a Szaljut-6 űrállomás fedélzetére, és ott a magyar űrhajós mérjen vele. De a Szojuz-33 majdnem tragédiája miatt a magyar űrutazás egy évet késett. A berendezés első példányát 1980 májusában Farkas Bertalan a Szojuz-36-on vitte magával a Szaljut-6 űrállomásra, ahol a Pillével, az első űrállomás-fedélzeti TL dózismérő kiértékelő rendszerrel sikeres méréseket végzett.

A Pille különböző, elsősorban elektronikai szempontból továbbfejlesztett 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, de űrséták esetén az európai, amerikai, kanadai, japán űrhajósok is használják a Pille dózismérőit. A műszer az űrállomás minden Föld körüli fordulatánál, másfél óránként automatikus kiolvasást is végez, ennek révén több tízezer nagy időbeli felbontású dózismérési adat áll rendelkezésünkre.

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 leváltsa. A tervek szerint a Pille rendszer egészen az űrállomás élettartamának végéig, azaz legalább 2024-ig fogja szolgálni az űrhajósokat az ISS fedélzetén.

Közleményünkben bemutatjuk a Pille fejlesztésének szakaszait, eredményeit, ismertetjük a különböző változatok főbb jellemzőit. Megemlékezünk földi unokatestvéréről, a PorTL készülékről is, amit többek között a paksi atomerőmű környezetellenőrző rendszerében használnak.

Kulcsszavak: Pille, űrdozimetria, űrállomások, fedélzeti TLD rendszer

MIÉRT 40 A 39?

Közismert, hogy a Pille berendezés első példányát 1980 májusában Farkas Bertalan a Szojuz-36-on vitte magával a Szaljut-6 űrállomásra, ahol a Pillével, az első űrállomás fedélzeti TL dózismérő kiértékelő rendszerrel sikeres méréseket végzett. Felmerül a kérdés, hogy 2019-ben, e cikk megírásának időpontjában, 39 évvel az ürrepülés után hogyan lehet 40 éves a Pille.

A válasz egyszerű. Az eredeti tervek szerint Farkas Bertalan repülése 1979-re volt betervezve, mi ennek megfelelően 1979 tavaszára elkészítettük a Pillét, átadtuk a szovjet partnerintézetnek vizsgálatra, és 40 éve, 1979 májusában már készen állt a felhasználásra.

Nézzük az eseményeket időrendben.

- 1979. április: a Szojuz-33 űrhajó a szovjet és bolgár személyzettel műszaki hiba miatt nem tudott kapcsolódni a Szaljut-6 űrállomáshoz. A pályakorrekciók során az űrhajó főhajtóműve nem működött megfelelően, így a Szaljut-6 űrállomással való dokkoláshoz és a leszálláshoz sem lehetett azt igénybe venni. A leszállást csak egy kisebb teljesítményű hajtóművel, annak kevesebb üzemanyagával tudták megvalósítani. Ezzel a megoldással le lehetett annyira lassítani az űrhajót, hogy az belépjen a légkörbe, de nem volt mód az utángyorsításra a fokozatos magasságcsökkentés érdekében. A ballisztikus pálya, a levegő hirtelen fékező hatása miatti lassulás igen nagy terhelést jelentett az űrhajósokra, eszméletvesztés következett be, de túléltek az eseményt. Ez után a szovjet szakemberek úgy módosították az űrhajó üzemanyag-ellátó rendszerét, hogy a rendelkezésre álló összes üzemanyagot bármelyik hajtóművel fel lehessen használni.
- 1979. június: a **Szojuz-34** űrhajót - a tervezett szovjet és magyar űrhajós helyett - személyzet nélkül küldték fel az űrállomásra.
- 1979. augusztus: az űrállomás harmadik állandó személyzete a **Szojuz-34**-gyel visszatért a Földre.
- 1980. április: a **Szojuz-35** űrhajó felvitte a negyedik állandó személyzetet az űrállomásra.
- 1980. május: a **Szojuz-36** fedélzetén egy éves késéssel feljutott az űrállomásra a szovjet-magyar kettős, Valerij Kubaszov és Farkas Bertalan.
- 1980. június: a szovjet-magyar űrpáros visszatért a Földre a **Szojuz-35** fedélzetén.

Mi már 1979-ben kapcsolatban voltunk Farkas Bertalannal és Magyarai Bélával, a Pille használatát mutattuk be nekik. A tervek szerint egy szakértői csapatnak, köztük a cikk szerzői közül két főnek is ki kellett volna utazni Moszkvába, az irányító központba. Néhány nappal az utazás előtt értesültünk csak róla, hogy a szovjet-magyar űrpáros repülését bizonytalan időre elhalasztották.

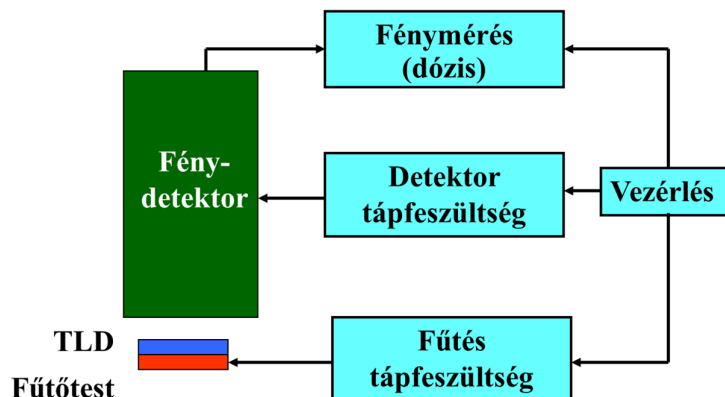
Egyik érdekes emléke az 1979-re tervezett űrutazásnak, hogy az ürrepülés alkalmából kibocsátott 100 forintos emlékérméhez 1979-ben is készültek próbaveretek, valamint létezik néhány példány "próbaveret" jelölés nélkül, 1979-es évszámmal (1. ábra).



1. ábra. Az űrutazás emlékérme 1979-es és 1980-as változata (forrás Internet)

A PILLE SZÜLETÉSÉNEK ELŐZMÉNYEI

A Pille egy termolumineszcens (TL) dózismérő rendszer. A termolumineszcens rendszer dózismérőből és dózismérő kiolvasóból áll. A működés lényege, hogy ha a TL dózismérőt besugározzuk és utána felmelegítjük, akkor a dózismérő a besugárzás dóziséval arányos fény mennyiséget bocsát ki. A dózismérő kiolvasó működési elvét a 2. ábra mutatja. A dózismérőt (TLD) mintegy 250–350 °C-ra felfűtjük, és a kilépő fényt megmérve a dózismérő által elnyelt dózissal arányos fényt kapunk.



2. ábra. A termolumineszcens dózismérő kiolvasó elvi vázlata

Ilyen elven működő rendszerekkel már az 1960-as évek második felétől foglalkoztunk a Központi Fizikai Kutatóintézetben. Akkor még a dózismérő hazai előállítású, termolumineszcens tulajdonságokkal rendelkező üveg volt. A kiolvasót kész, egyenként néhány kilós egységekből raktuk össze egy 1,5 m magasságú műszerkeretben. A fénydetektor fotoelektron sokszorozó volt, ennek elektronikus zaját úgy csökkentettük, hogy a detektort egy hűtőköpennyel vettük körül, amelyen csapvíz folyt át.

A következő lépcső az autonóm, erre a célra konstruált kiolvasó készülék volt. Ez körülbelül akkora volt, mint egy mikrohullámú sütő, 20 liter térfogatú, 15 kg tömegű, fogyasztása 200 W. Egy ilyen, tudományos együttműködés keretében tőlünk kapott készüléket használtak szovjet partnereink a moszkvai Orvosbiológiai Problémák Intézetében (OBPI). Ez az intézet végezte az űrállomáson dolgozó szovjet űrhajósok dózismérését. Ez úgy történt, hogy az űrhajósok ruhájába még a Földön bevarrták a dózismérőket tartalmazó tokot, és az űrhajós visszatérése (akár egy év) után kiolvasták azokat.

1978-ban már tervbe volt véve magyar űrhajós repülése, 1979 tavaszára. A magyar űrhajós részére tudományos programot kellett kidolgozni, ennek keretében látogatták meg a KFKI

főigazgatóját a szovjet szakemberek, akik előadták az OBPI javaslatát: dolgozzunk ki egy űrállomás fedélzeti TLD rendszert, melynél a kiolvasó ne legyen 1 kg-nál nagyobb tömegű, 1 dm³-nél nagyobb térfogatú és néhány wattnál nagyobb átlagos fogyasztású, bírja ki az akkor még durva felbocsátási vibrációt és a kemény dokkolást. Meg kell jegyezni, hogy a várható kérést már egy héttel korábban jelezte Jurij Akatov, az OBPI-s partnerünk. Erről a látogatásról már korábban beszámoltunk. Nos, a végeredmény: a főigazgató – kikérve az űrkészülékek fejlesztésében nagy tapasztalattal rendelkező Apáthy István véleményét – igent mondott, megígérve teljes támogatását az alkatrészek "speciális" beszerzésében, a műhelykapacitásban.

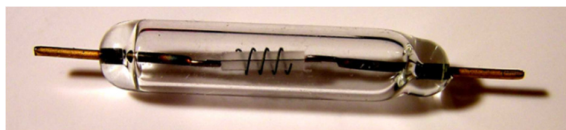
A követelmények egyike volt, hogy a műszernek három napot ki kell bírnia tiszta hélium atmoszférában, mert a teljesen kész űrhajót ellenőrzés céljából megtöltik héliummal, hogy a hegesztés esetleges szivárgásait hélium detektorral ki lehessen mutatni. Nos, ez az adott méretek mellett teljesíthetetlennek látszott, mert a hélium bediffundál a fotoelektronsokszorozó üvegén át, és a fotoelektronsokszorozó tönkremegy, vákuumzárt doboz pedig már nem fért bele a tömegkeretbe. Ekkor megkérdeztük, hogy az űrhajósok hogyan fogják ezt a tesztet kibírni. A válasz az volt, hogy az űrhajósok csak a tesztelés után mennek be az űrhajóba. Sikerült elérni, hogy ugyanez legyen a helyzet a Pillénél is.

Ilyen előzmények után összeállt a főigazgató által megbízott, Fehér István vezette csapat, amelynek ki kellett fejlesztenie a Pille névre keresztelt dózismérő rendszert, ami doziméterekből, kiolvasóból és a mechanikus terhelést csökkentő "kilövődobozból" állt. Le kellett azt gyártani, tesztelni, és a szovjet partnernek átadni, amire mindössze kilenc hónap állt rendelkezésre. A dózismérő fejlesztést Fehér István személyesen irányította, míg a kiolvasó fejlesztésének, gyártásának koordinálását Deme Sándorra bízta.

Engedményként a kilövődoboz részére további tömegkeretet kaptunk.

A PILLE ELSŐ VÁLTOZATÁNAK FEJLESZTÉSE

Az első kérdés a doziméter megválasztása volt. A szokásos fűtőtál sem fogyasztás, sem méret, sem az űrben való használhatóság szempontjából nem jöhetett számításba. Ismert volt viszont a Harshaw cég búra dózismérője, amely alkalmas lehetett a feladat megoldására. Ennél a dózismérőnél (3. ábra) a fűtőlapka két oldalára egy-egy TL tulajdonságokkal rendelkező CaF₂ egykristályt szorít oda egy rugó, biztosítva a felmelegítés során a hőkontaktust. A dózismérő hővesztését csökkentette, hogy a búra belsejében vákuum van. Ez egyszersmind a földi bemérésnél az űrállomás fedélzetén tapasztalhatóval azonos hőtani feltételeket eredményezett.



3. ábra. A Harshaw gyártmányú búra dózismérő. (Fotó KFKI)

A búra dózismérő magyar változatát Fehér István és a Tungsram gyár szakemberei fejlesztették ki (4. ábra), és a Tungsramban gyártották le a szükséges darabszámot is. A magyar búra dózismérő TL anyaga érzékenység szempontjából optimális szemcseméretű CaSO₄(Dy), amelyet e célra Kása Imre (BME) készített. Ezeket a szemcséket egy alacsony olvadáspontú üveg rögzíti a fűtőtálcához. Az üveget Boksay Zoltán készítette, míg a tokozást a Tungsram munkatársa, Magyar László oldotta meg.

A dózismérő kifűtéséhez kisméretű és jó hatásfokú fűtőegységre van szükség. Ennek kifejlesztésében Apáthy István nyújtott segítséget Szabó Bélának és Vágvölgyi Jenőnek, a készülék elektronikus konstruktőreinek.

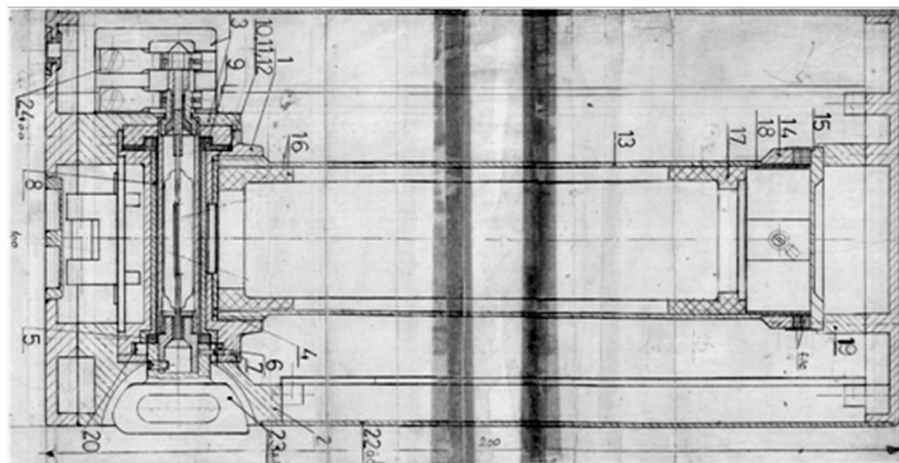


4. ábra. A magyar fejlesztésű búra dózismérő. (Fotó KFKI)

A dózismérőből kilépő fény mérésére a fotoelektronsokszorozó (FES) detektor szolgál. Egyértelműen kis geometriai méretű detektorra volt szükség. Az EMI gyár képviselője segített az optimális típus kiválasztásában, a legkisebb méretű, kis háttérzajú és nagy érzékenyséű típust a mai napig is használjuk. A detektor működtetésére szolgáló nagyfeszültségű tápegységnek kis áramot, de nagyon pontos és stabil, egyszerűen állítható, 1000 volt körüli feszültséget kellett szolgáltatni jó hatásfokkal, kis méretben és tömeggel.

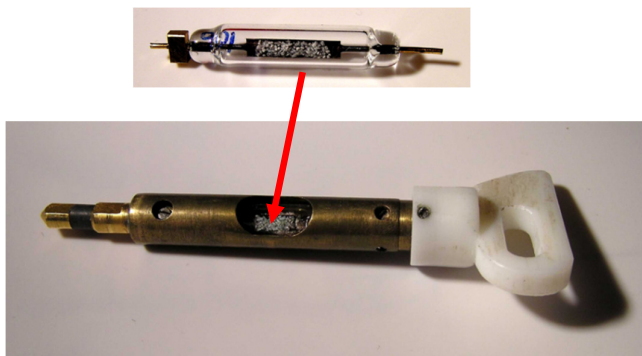
A fotoelektronsokszorozó fénnel arányos kimeneti áramának mérése digitális módszerrel történt, a mért dózis értékének kijelzése is digitális lett. A vezérlést a kollégák időzítő láncok sorozatával oldották meg.

A legnehezebb mechanikai problémát a dózismérők egyszerű kezelhetősége, azoknak a mérőterbe juttatása és a tökéletes fényszigetelés jelentette. Ezt a laboratóriumi készülékeknek egy fényzáró fiók betolásával végzik, de ez a megoldás nagyon helyigényes, a Pillénél nem volt megvalósítható. A készülék mechanikai tervezője, Csőke Antal ezt a feladatot egy elfordítható, henger alakú "kulccsal" és a kiolvasóban azt befogadó forgattyúházzal oldotta meg (5. ábra). Minden egyes dózismérő búra külön – az azonosításhoz/naplózáshoz sorszámmal ellátott – kulcsba lett beépítve (6. ábra). A kulcsra lévő nyíláson lép ki a benne lévő búrából kifűtéskor kilépő fény; a kulcs egyik végén a kezelő fogantyú, azzal szemben lépcsőzetesen kialakított, koaxiális nagyáramú csatlakozók találhatók, ezek vezetik a fűtőáramot a búrához. A kiolvasóban a kulcsot befogadó forgattyúház hüvelye alaphelyzetben zárja a FES „ablakát”. A kulcsnak a készülék nyílásába (7. ábra.) történő bedugásakor a hüvelyen lévő, a kulcs nyílásával egybeeső nyílás a FES felé zárva van. A kulcs elfordításakor a búra „láthatóvá válik” a FES számára, ekkor azonban a külső fény már nem tud behatolni a mérőüregbe. A kulcs elfordítása egyszersmind – a forgattyúház végén elhelyezkedő optokapu segítségével – automatikusan elindítja a mérést, melynek végén a kijelzőn megjelenik a mért dózis értéke.



5. ábra. A mechanikai egység – még 1978-ban ceruzával készült – eredeti műszaki rajza

A fejlesztési fázis jól felszerelt saját műhelyünkre hárult. A műhelyrajzokat Csőke Antalné, a prototípus mechanikai kivitelezését Tonelli Miklós végezte, az elektronikai szerelésben Takács Márton segített.



6. ábra. A dózismérő "kulcs", benne a magyar fejlesztésű búra dózismérő. (Fotó KFKI)

A készülék végső formájának (7. ábra.) kialakulásáig több változatot készítettünk. Az első változat még álló helyzetű volt (8. ábra), de ezt a változatot a rossz kezelhetőség miatt elvetettük. Kialakult a végső, fekvő változat, egyelőre még zöld színre festve (9. ábra). Végül a Pille - mint sok orvosi berendezés - krémszínű lett, különleges, egészségügyi szempontból engedélyezett, kétkomponensű festékkel befestve (7. ábra.).

A Pille gyártásában szinte az egész Műszaki Főosztály részt vett, végső változatát a KFKI központi műhelye készítette el. A munkákat Sente Ferenc irányította, az alkatrészeket Csikós József készítette, a végszerelést Rigó László végezte.

Az elektronikus konstrukció kipróbálására is készült egy deszkamodell (10. ábra).



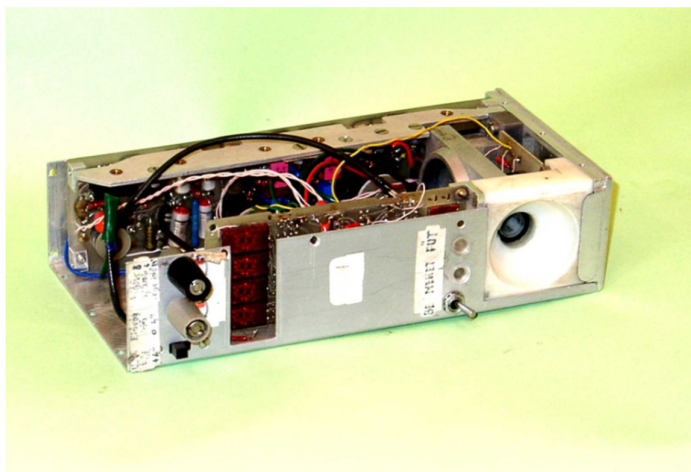
7. ábra. A dózismérő kulcsot a készülék jobb oldalán levő nyílásba kell behelyezni. (Fotó KFKI)



8. ábra. A Pille álló változata.
(Fotó KFKI)



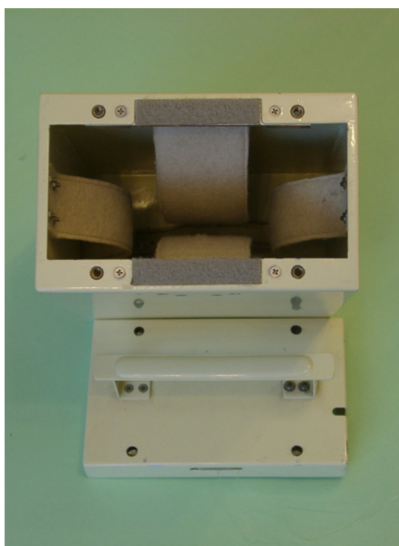
9. ábra. A zöld Pille. (Fotó KFKI)



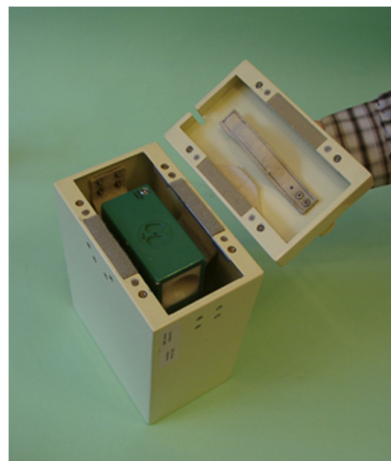
10. ábra. A lemez Pille. (Fotó KFKI)

A Pille fejlesztése hamarosan olyan fázisba jutott, hogy Szabó Péter Pál kollégánk elkezdhette annak bemérését, beszabályozását, az optimális paraméterek beállítását. Ugyanakkor tudtuk, hogy elsősorban a Pille fotoelektronsokszorozója nem bírja ki a felbocsátásnál fellépő vibrációt és a dokkolási ütést. A feladat megoldásában Csőke Antal gépésztervezőnknek Ránky Miklós és Endrőczy Gábor „rezgésszakértő” segített. Megszületett a "kilövődoboz", amely csökkentette a vibrációt és a dokkolási ütést is. A kilövődoboz

belsejében filccel bevont laprugók voltak. A laprugók csökkentették az ütést, a vibráció csökkentése érdekében a rugókra filc "lengéscsillapító" került (11. ábra). A tesztelésekhez még egy prototípus Pillét használtunk (12. ábra). Az összeszerelt kilövődobozt és a dózismérők szállítódobozát a 13. ábra mutatja.

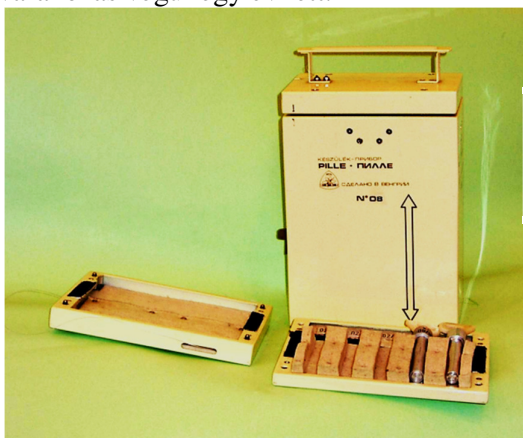


11. ábra. A kilövődoboz a filccel bevont laprugókkal. (Fotó KFKI)



12. ábra. A kilövődoboz a tesztelő Pillével. (Fotó KFKI)

A Pille végső, ún. repülőpéldánya elkészült, kiszállítottuk a szovjet partnerintézetbe (13. ábra), ahol azt megfelelőnek találták. Vártuk a néhány héttel későbbre kitűzött felbocsátást... A várakozás végül egy év lett.



13. ábra. A kilövődoboz és a dózismérők szállítódobozja levett fedéllel. (Fotó KFKI)

VÉGRE FELSZÁLL A PILLE

1980 május közepén már tudni lehetett, hogy hamarosan felszáll a Szojuz a szovjet és a magyar űrhajóssal. Mindkét magyar űrhajós jelöltet ismertük, de nem tudtuk, hogy ki a kiválasztott

Egy kis szakértői csapatot Apáthy István vezetésével néhány nappal a repülés előtt kiküldtek Moszkvába azzal a feladattal, hogy a magyar űrhajós által végzendő kísérleteknél szükség esetén tanácsot adjanak a magyar űrhajósnak.. Még a felbocsátás előtt kirándulást szerveztek nekünk Csillagvárosba, majd a felbocsátás napján már a Moszkva közeli Kalinyingrádban, a Repülésirányító Központban voltunk (14. ábra). Kaptunk egy szobát, amit

1975-ben még a Szozuz-Apollo közös szovjet-amerikai űrrepülésre rendeztek be a NASA szakemberei számára. A szobában láthattuk a TV-kapcsolatot Bajkonurral, az űrállomás fontosabb környezeti paramétereit és mindazt az információt, amit nekünk szántak. Minden fontos eseményt valós időben néztünk (a magyar TV-nézők ugyanazt másfél óras késleltetéssel), de az események alatt telefonjaink nem működtek.

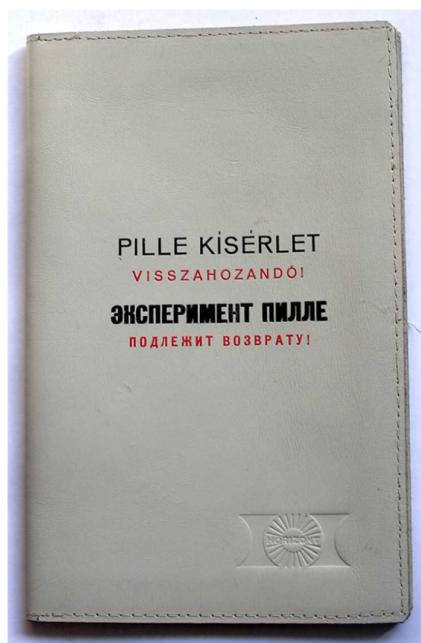


14. ábra. A magyar szakértői csapat a Repülésirányító Központban. A cikk szerzői közül Apáthy István balról a harmadik, Deme Sándor pedig jobbról a harmadik. A jobboldalon a két szovjet kísérő. (Fotó Repülésirányító Központ)

Hat magyar kísérletet kellett Farkas Bertalannak végrehajtani (Dózis kísérlet a Pillével, Munkaképesség, Interferon, Ötvös, Bealuca és Bioszféra); mindenki izgatottan várta, hogy ezek miként sikerülnek. A Pille kísérletnél részben lenullázott, részben ismert dózissal besugárzott dózismérőket küldtünk fel.

A Pille mérések az első és az utolsó "munkanapon" történtek, így hamar sor került az első sorozatmérésre. A rádióon lediktált adatok megfeleltek a várakozásnak mind a lenullázott, mind a besugárzott dózismérőknél. Néhány hét múlva megkaptuk az eredeti jegyzeteket is (15. ábra), valamint a Farkas Bertalan által végzett fedélzeti mérés fényképét (16. ábra).

Ezzel az első Pille-mérés sikerrel lezárult, de a program folytatódott...



Дата	: 19.01.80. 13. 06.13
Время (час)	: 16.10
Номер дозиметра	: Место установки : Показания прибора
04/1	: 30-4 (К) : 40 : 40
04/2	: 30-4 (БИ) : 47 : 48
04/3	: 3П-4-2 (К) : 48 : 48
04/4	: 3П-4-2 (БИ) : 47 : 40
04/5	: ПХО, левый борт, к поручню : 42 : 52
04/6	: ПХО, левый борт, к поручню : 45 : 43
04/7	: ПХО, левый борт, к поручню : 51 : 55
04/8	: ПХО, левый борт, к поручню : 44 : 43
04/9	: панель 34 : 45 : 43
04/10	: пост № I : 46 : 39
04/11	: Р0, сп. место 1 : 50 : 54
04/12	: Р0, сп. место 2 : 51 : 54
04/13	: в укладке калибровка : 971 : 52
04/14	: в укладке калибровка : 926 : 53
04/15	: в укладке калибровка : : 958
04/16	: в укладке калибровка : : 950

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Дозиметры № 04/13 и 04/14 использовать в 1-ом цикле измерения-в первый день работы. 2. Дозиметры № 04/15 и 04/16 использовать во 2-ом цикле измерения-в последний день работы

15. ábra. A Pille-mérések fedélzeti naplója az első és utolsó munkanap méréseivel. (Fotó KFKI)



16. ábra. Farkas Bertalan a Pillével mér az űrállomás fedélzetén. (Fotó Interkozmosz)

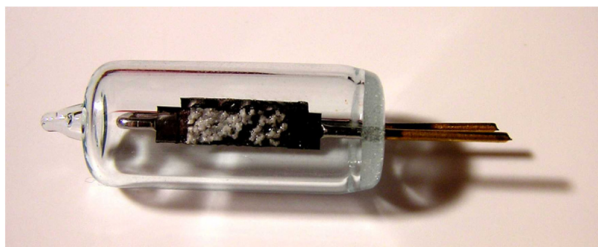
A KLASSZIKUS PILLE TOVÁBBFEJLESZTÉSE 1980 UTÁN

A Pille Farkas Bertalan repülése utáni változatainak felhasználási adatait részletesen ismerteti egy korábbi cikkünk, itt elsősorban a műszaki fejlesztés lépéseire térünk ki.

A Szaljut-7 űrállomás fedélzetére egy új Pille rendszer került fel. Ebben már a dózismérő újabb, szintén a Tungsram által gyártott változatát használtuk (17. ábra). Ennél a változatnál mindkét kivezetés a dózismérőnek azonos oldalán van. Ez a megoldás kettős előnnyel járt az előző változathoz képest. A fűtőlemez előfeszítésének köszönhetően nem jött létre annak

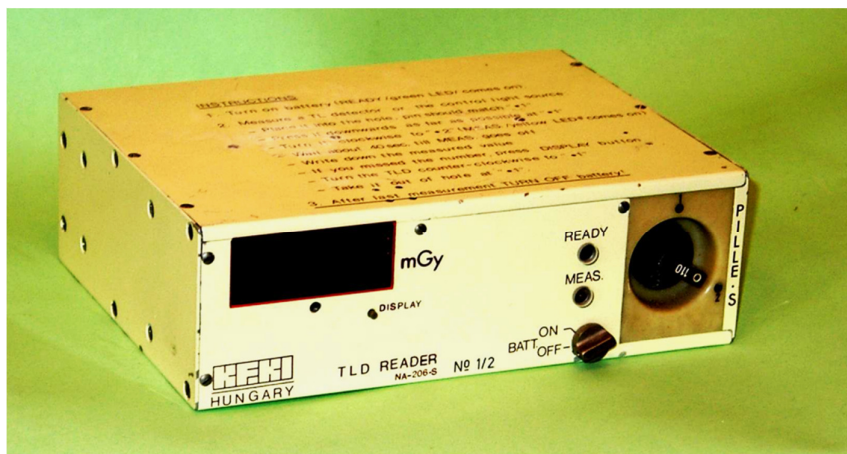
melegítés hatására történő deformációja, emellett a dózismérő pontos pozicionálása is megoldódott.

Meg kell jegyezni, hogy a kilövődobozra csak az első, Farkas Bertalan úrutazásához készült Pillénél volt szükség. A későbbi felbocsátásokra vonatkozó vibrációs és ütési követelmények már nem tették szükségessé a különleges külső védelmet, a későbbi példányoknál csak egy tűzálló textilanyagból (Nomex) készült „védőzsákra” volt szükség.



17. ábra. A búra dózismérő második, jelenleg is használt változata. (Fotó KFKI)

A következő fejlesztést a Pille NASA által tervezett alkalmazása tette szükségessé. A NASA – ellentétben a szovjet követelményekkel – nem a fedélzeti áramforrást kívánta használni a Pille esetében, hanem akkumulátoros változatot kért. Ez mechanikai és elektronikai változtatásokat kívánt meg. Az elkészült változattal (18. ábra) Sally Ride, az első amerikai női űrhajós mért a Challenger-6 űrsikló fedélzetén, 1984 októberében (19. ábra). A méréssel a dózisteljesítmény magasságfüggését mérte t 350–500 km-es tartományban.



18. ábra. A Pille akkumulátoros változata. (Fotó KFKI)



19. ábra. Sally Ride a Challenger űrsikló fedélzetén a Pille rendszerrel. (Fotó: NASA)

Meg kell említeni, hogy a Polgári védelem részére a Tungsram mintegy két tucat Pillét gyártott le. Ennek konstrukciója lényegében megegyezett az első Pille változattal (20. ábra).



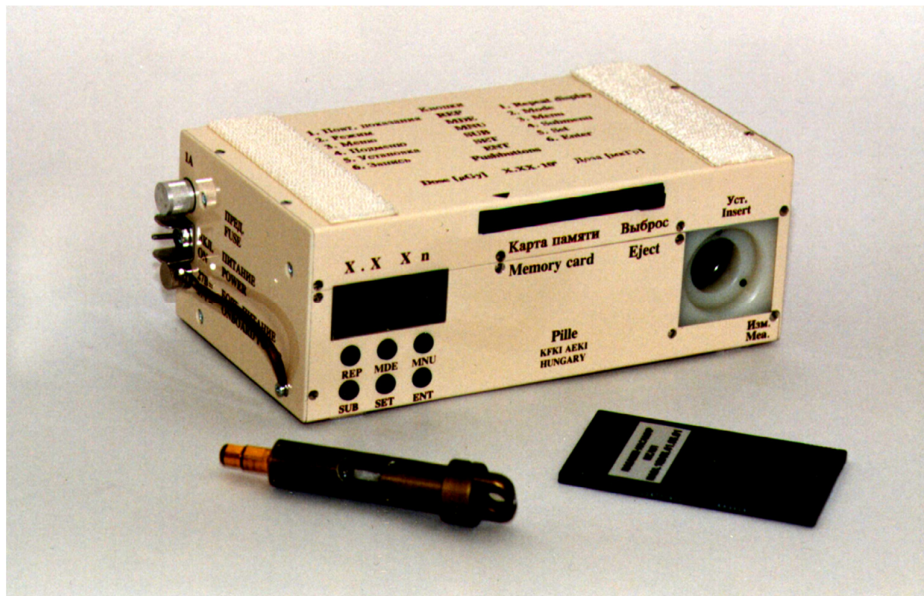
20. ábra. A Tungsram által gyártott Pille (Fotó KFKI)

A MIKROPROCESSZOROS PILLE

Az eddig ismertetett fejlesztések a KFKI Sugárvédelmi Főosztályán történtek. Az ott dolgozó, elektronikus területtel foglalkozó fejlesztők kilépése miatt a fejlesztés irányítása átkerült a KFKI AEKI Űrelektronikai Kutatócsoportjához; ennek a csoportnak a vezetője, Apáthy István lett a főkonstruktor és az új készülék analóg áramköreinek a kidolgozója. A digitális áramköröket és a szoftvert Bodnár László, a BL Electronics cég vezetője fejlesztette, a mechanikai részek tervezője továbbra is Csőke Antal maradt. A felhasználói elvárásokat Deme Sándor tolmácsolta. Az építés technikai részében segítséget nyújtottak Cseri Sándor, Csikós József, Detréne Németh Ingeborg, Hajós Géza, Héjja István, Mihály László és Rigó László.

A mikroprocesszoros megoldás nem csak a dózismérők automatikus azonosítását, a mérési eredmények és a kifutási görbék tárolását tette lehetővé, de a programozott automatikus üzemmódot is. A kiolvasó készüléket közvetlenül számítógéphez lehetett csatlakoztatni. A dózismérőkbe memóriacsip került, ami tartalmazta a dózismérők azonosító kódját; ennek alapján választotta ki a kiolvasó az adott dózismérőnek a kiolvasó belső táblázatába előre beírt és a mérés kiértékeléséhez szükséges egyedi paramétereit. A Pille menürendszerrel

rendelkezett, navigálni a nyomógombok segítségével lehetett (21. ábra). A mikroprocesszoros Pille mérete és tömege kissé meghaladta az analóg Pille méretét (22. ábra) és tömegét, de ekkorra már nem voltak meg az erre vonatkozó kezdeti szigorú előírások. A mikroprocesszoros Pille mérési adatai memóriakártyára kerültek, melyet időről időre kicseréltek; a „megtelt” kártyát a mérések kiértékelésére visszahozták a földre, helyére egy új kártya került.

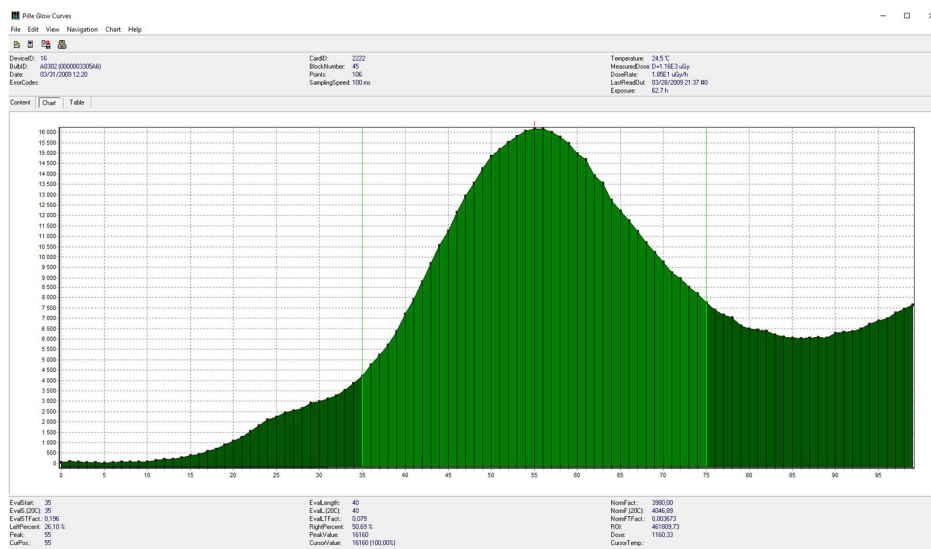


21. ábra. A mikroprocesszoros Pille, előtte balról a dózismérő, jobb oldalon a memóriakártya (Fotó KFKI)



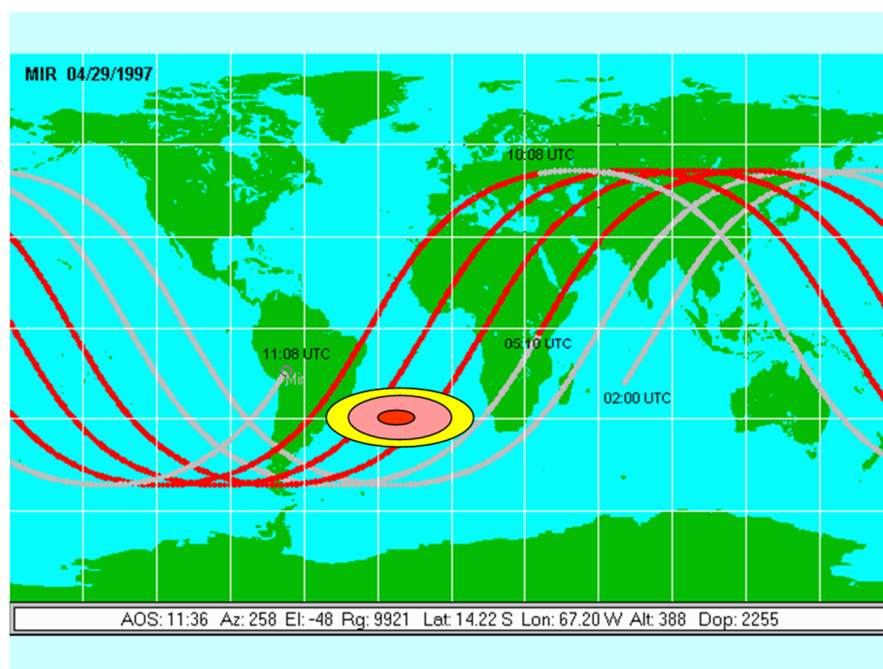
22. ábra. Három Pille változat. Legalul az analóg változat, középen a mikroprocesszoros Pille első változata, felül a jelenleg is használt második mikroprocesszoros változat. (Fotó KFKI)

A memóriakártyán egy-egy mérési blokk a dózismérő azonosító kódján, a mérés időpontján, a mért dózison és számos egyéb mérési paraméteren kívül minden egyes mérés kifutási görbéjét is tartalmazza (23. ábra), ennek révén a hibás mérések könnyen kiszűrhetővé váltak.



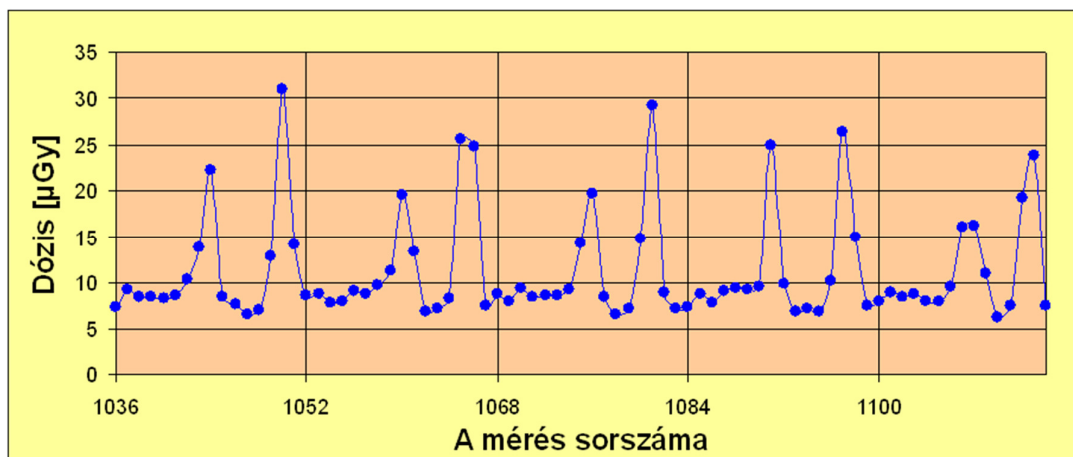
23. ábra. A memóriakártyán tárolt kifutási görbe és a mérési adatok. (Fotó KFKI)

Az új Pille automatikus üzemmódban is használható. Ez tette lehetővé, hogy szelektíven meg lehessen határozni a Föld körüli sugárzási tér aszimmetriájából eredő, az ún. Dél-Atlanti Anomáliában (DAA) található nagyintenzitású sugárzási tér (24. ábra) részarányát a teljes dózisban.



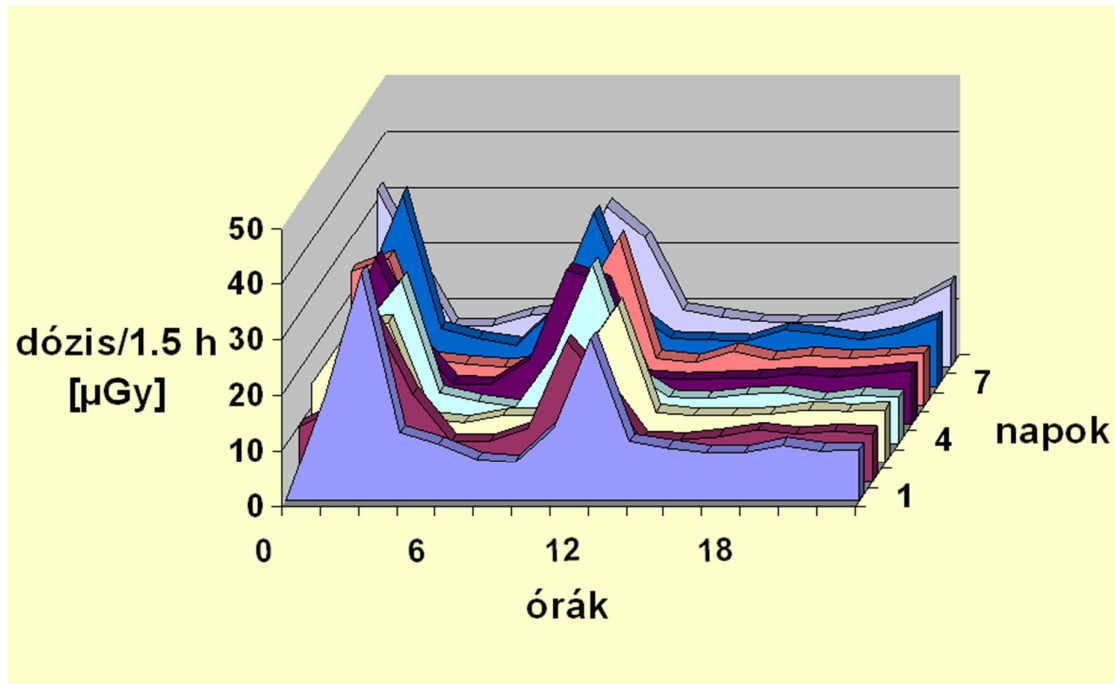
24. ábra. A Mir űrállomás pályája és a nagyintenzitású sugárzási tér (DAA). (Forrás Interkozmosz)

A 25. ábra a Pille 90 percenként automata üzemmódban kiolvasott dózisát mutatja a Mir űrállomás fedélzetén. Az űrállomás naponta kétszer haladt át a DAA-n, egyszer észak-déli, másodszor dél-északi irányban, a csúcsok közötti idő mintegy 9, illetve 15 óra.



25. ábra. A Pille által 90 percenként automata üzemmódban kiolvasott dózis. A kiugró értékek a DAA-n történő áthaladás alatti megnövekedett dózis következménye

Ha egy teljes hét mérési adatait vizsgáljuk (26. ábra), akkor látható a csúcsok lassú időbeli eltolódása. Ez annak a következménye, hogy az űrállomás keringési ideje kissé kevesebb 90 percnél.



26. ábra. A 90 perces automata kiolvasások egy hetes adatai

1995-ben a mikroprocesszoros Pille első példányával (Pille'95) Thomas Reiter (27. ábra) ESA- és tiszteletbeli magyar űrhajós az Euromir'95 küldetés keretében a Mir űrállomás fedélzetén elvégezte annak dozimetriai feltérképezését, valamint nagy időfelbontású

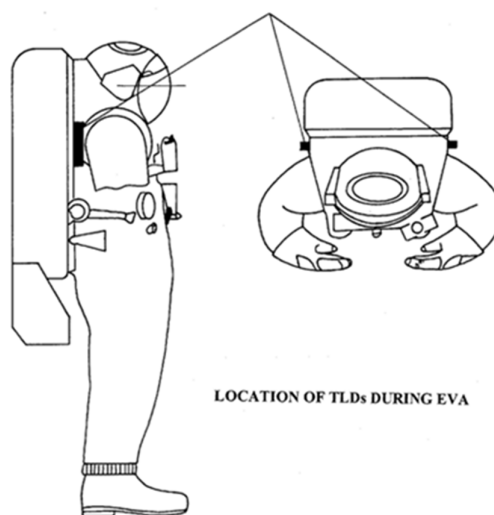
méréssorozatot hajtott végre. 1997-ben, a NASAMir4 küldetés keretében a Pille'96 rendszer jutott fel az Atlantis űrsiklóval ugyancsak a Mir űrállomásra. Jerry Linenger és Michael Foale NASA-űrhajósok – a rutinméréseken felül – elvégezték az űrséta járulékos dózisének meghatározását, amihez az új amerikai űrruhák készítésénél dózismérőink elhelyezésére külön zsebeket alakítottak ki (28. ábra); a lehetséges elhelyezési helyek keresését a NASA-nál végeztük.

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

A cikk megírásáig mindössze egy alkalommal fordult elő Pille meghibásodás az űrállomásokon. A hibát Thomas Reiter német űrhajós próbálta kijavítani (27. ábra), ami megfelelő szerszám hiányában nem sikerült, de rövid időn belül feljutott a tartalék kiolvasó a Mir űrállomás fedélzetére, a mérések töretlenül folytatódhattak.



27. ábra. Thomas Reiter a Mir űrállomás fedélzetén 1995-ben. (Fotó: ESA)



LOCATION OF TLDs DURING EVA

28. ábra. A dózismérők elhelyezése a NASA űrhajósainál (Fotó: NASA)

PILLÉK A NEMZETKÖZI ŰRÁLLOMÁSON

A Mir űrállomást időközben felváltotta a közel húsz nemzet közreműködésével felépült Nemzetközi Űrállomás (ISS, International Space Station). Magyarország – az űrállomáshoz való hozzájárulásaként – egy-egy továbbfejlesztett Pille rendszert szállított le az űrállomás amerikai (Destiny), illetve orosz (Zvezda) moduljában történő felhasználásra.

Az egy sorba rendezett, mindössze öt nyomógombbal sokkal egyszerűbbé és logikusabbá vált a kiolvasó kezelése (29. ábra). A dózismérő kulcsokba épített memóriacsip az azonosítón kívül a dózismérő egyedi paramétereit is tartalmazza, így nincs szükség a kiolvasóban paraméter-táblázatra; a rendszer „nyitottá” vált, új dózismérők rendszerbe állításakor nem kell a táblázatot újra és újra bővíteni.



29. ábra. A mikroprocesszoros Pille második változata. (Fotó KFKI)

A rendszer NASA-példánya (Pille-ISS), melyet a Discovery űrsikló 2001-ben vitt fel az űrállomásra, a biológiai kísérletek számára biztosított volna dozimetriai adatszolgáltatást. A NASA a biológiai labor kiépítését felfüggesztette, így aztán a Pillét az ESA dózistérképezési programja során (DOSMAP) használták; Jim Voss (30. ábra) NASA-űrhajós 4 hónap alatt közel 1700 mérési adatot gyűjtött. A Pille-ISS-t később NASA-szakemberek a sugárvédelmi rendszer szolgálati részévé szerették volna minősíteni, de ez politikai okokból meghiúsult. Ezt követően a rendszerrel további méréseket az ISS fedélzetén nem végeztek. Tíz évvel később, az utolsó űrrepülőgépes küldetés alkalmával az Atlantis visszahozta a Pille-ISS-t a Földre, amely 2017-ben hazakerült Magyarországra, és ma a KFKI környezetmonitorozó hálózatának részeként üzemel tovább.



30. ábra. Jim Voss a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén a mikroprocesszoros Pille jelenlegi változatával. (Fotó: NASA)

2003-ban, a moszkvai OBPI-vel együttműködésben egy másik Pille rendszer is feljutott az ISS-re (Pille-MKSZ), ez már mint a fedélzeti és személyi dozimetria szolgálati berendezése. A detektorokat azóta is rendszeresen használják dózistérképezésre és űrséták alatt, valamint a nagyobb sugárzást létrehozó napkitörésekkor személyi dózismérésre. Charles Simonyi (31. ábra) magyar származású űrturista mindkét repülése során (2007, 2009) a Pillével számos olyan mérést hajtott végre, melyeket a hivatásos űrhajósok idő hiányában nem tudnak elvégezni (pl. személyi dózismérés a hálóhelyen, fedélzeti keresztkalibráció, a Pille kiolvasó önárnyékolásának meghatározása).



31. ábra. Charles Simonyi a Pillével mér az ISS fedélzetén. (Fotó: Roszkosmosz-RSC_Energia)

A Pillét időről időre kísérleti célú vizsgálatokra is használják. 2006–2009 között az ESA Matryoska-II kísérletében az űrállomás belsejében elhelyezett antropomorf fantom felszínén végeztek vele méréseket. 2010-ben a Pille dózismérőivel részt vettünk a „vízfüggöny” kísérletben: a fedélzeten tárolt, de tisztálkodásra még fel nem használt nedves higiéniai kendőket és törülközőket tartalmazó csomagok sugárzásárnyékoló (sugárzásvédő) hatását mérték meg az űrállomás egy kevésbé árnyékolt részén.

Üzemeltetésének 15 éve során a Pille rendszerrel körülbelül 60 ezer mérési adatot gyűjtöttek. Az űrséták alatt valamennyi űrügynökség (orosz, amerikai, európai, japán, kanadai) űrhajója a Pillét használja személyi dózísának mérésére.

A 2003 óta megbízhatóan szolgálatot teljesítő Pille rendszer szavatossági ideje időközben lejárt, így az orosz fél szükségesnek látta a rendszer lecserélését. Egy, a korábbival megegyező új rendszert 2018-ban juttattak a Nemzetközi Űrállomásra. Annak beüzemelése alatt egyszerre két Pille kiolvasó működött a Zvezda modulban (32. ábra), a fedélzeten használt Pille dózismérők száma pedig a korábbi 12-ről 17-re emelkedett.



32. ábra. Két Pille egy időben az ISS fedélzetén. (Fotó Roszkoszmosz-RSC_Energia)

A PILLE FÖLDI ALKALMAZÁSA

Csoportunk és a BL Electronics Bt. együttműködésében kifejlesztésre került egy – részben a Pille technológiáján alapuló – hordozható, földi, kereskedelmi célú TL dózismérő rendszer is, a PorTL (33. ábra), amely az űrbéli technológiák földi hasznosulásának egy kiváló példája. A rendszert felhasználják magyarországi és külföldi kutatóhelyeken, az oktatásban és nukleáris létesítmények környezet-ellenőrző szolgálatainál (paksi atomerőmű, KFKI telephely).



33. ábra. A PorTL dózismérő rendszer. (Fotó KFKI)

A PILLE JÖVŐJE

Az Orosz Űrügynökség a Pille rendszert az űrállomás üzemidejének végéig, vagyis legalább 2024-ig használni kívánja. Időközben azonban újabb igény jelentkezett, a dózismérők tokozás árnyékolásának csökkentésére. A korábbi dózismérő kulcsok helyett a búra egy kisméretű, vékony falú hengeres patronba került. A patronokat befogadó ún. <http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem>

univerzális kulcs (34. ábra) lehetővé teszi, hogy az új dózismérőket a fedélzeti Pille kiolvasó átalakítása nélkül is lehessen használni. Az új detektorok a szigorú teszteken sikerrel vizsgáztak; az első példányok várhatóan ez év őszén jutnak az ürállomásra.



34. ábra. Az univerzális kiolvasó kulcs és az új típusú Pille dózismérő vékony falú tokozással. (Fotó KFKI)

Azon túl, hogy az űrséták alatti dózismérés pontosabbá válik, a kisméretű dózismérőkkel antropomorf fantomok belsejében is méréseket végezhetünk. Néhány éven belül várható, hogy az orosz Enyergija vállalat a német DLR-rel együttműködésben feljuttatja a Matryoska-III fantomot az ISS fedélzetére. A kísérlethez már elkészítettük az új típusú Pille dózismérő patronok behelyezésére szolgáló tartószerkezet prototípusát.

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 emberes űrhajók és űrállomások fedélzetén kiolvashatók, egyszersmind a legismertebb magyar űrműszer itthon és határainkon túl.

A Pille előzményeiről, történetéről és a mérési eredményekről számos cikk szól, ezek közül néhány az alábbi irodalomjegyzékben szerepel.

Végezetül itt szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik nagyon sokat dolgoztak azon, hogy a Pillék mindig határidőre, kifogástalan minőségben elkészüljenek.

TOVÁBBI IRODALOM

Békés Mártonné, Fehér István, Deme Sándor és Suha Zoltán. Termolumineszcens üvegdoziméter. KFKI Közlemények, 17, 179–184. (1969)

Deme S., A Pille története, avagy hogyan lett az elefántból bolha, Fizikai Szemle, 1981/1, 32-36. (1981)

Fehér, I., Deme, S., Szabó, B., Vágvolgyi, J., Szabó, P.P., Csőke, A., Ránky, M., Akatov, Yu.A., A new thermoluminescent dosimeter system for space research, Advances in Space Research, 1, 61-66. (1981)

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., Thermoluminescent dose measurements on board Salyut type orbital stations, *Advances in Space Research*, 4, 77-81. (1984)

Deme S., Apáthy I., Újra felszáll a Pille, *Fizikai Szemle* 1999/3, 80-84. (1999)

Apáthy, I., Deme, S., Fehér, I., Akatov, Yu.A., Reitz, G., Arkhangelski, V.V., Dose measurements in space by the Hungarian Pille TLD system, *Radiation Measurements*, 35, 381-391. (2002)

Apáthy I., Bodnár L., Csőke A., Deme S., Fehér I., PorTL - a földre szállt Pille, *Hiradástechnika*, LXI., 2006/4, 23-27. (2006)

Apáthy, I., Akatov, Yu.A., Arkhangelsky, V.V., Bodnár, L., Deme, S., Fehér, I., Kaleri, A., Padalka, I., Pázmándi, T., Reitz, G. Sharipov, S.: TL dose measurements on board the Russian segment of the ISS by the “Pille” system during Expedition-8, -9 and -10, *Acta Astronautica* 60, 322-328. (2007)

Szántó, P., Apáthy, I., Deme, S., Hirn, A., Nikolaev, I.V., Pázmándi, T., Shurshakov, V.A., Tolochev, R.V., Yarmanova, E.N., 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, *Radiat. Meas*, 82, 59-63. (2015)

Hirn Attila, Apáthy István, Csőke Antal és Deme Sándor Pille 40 – egy korszakokon átívelő történet. http://www.mant.hu/kiadvanyok/urtan_evkonyv_2018.pdf