

# Tartalom

<i>ÚRKUTATÁS ÉS TÁVKÖZLÉS</i>	1
<b>E. Ferencz Orsolya, Ferencz Csaba</b> Új utakon a hullámterjedés leírása	2
<b>Bencze Pál</b> A plazmakörnyezet befolyása űreszközökön elhelyezett érzékelőkre, antennákra	7
<b>Borza Tibor, Fejes István, Horváth Tamás</b> Precíz valós idejű műholdas helymeghatározás: az első DGPS megoldástól az EUPOS-ig	12
<b>Balajthy Kálmán, Endrőczy Gábor, dr. Nagy János, Horváth István, Lipusz Csaba, dr. Szalai Sándor</b> Adatgyűjtő és vezérlő számítógép a Nemzetközi Űrállomás Obsztanovka kísérletéhez	17
<b>Apáthy István, Deme Sándor, Fehér István, Bodnár László, Csőke Antal</b> PorTL – a földre szállt Pille	23
<b>Ferencz Csaba, E. Ferencz Orsolya, Lichtenberger János, Székely Balázs, Steinbach Péter, Bodnár László</b> Élet egy csillag szomszédságában	29
<b>Balajthy Kálmán, Sulyán János, Szalai Lajos, Sódor Bálint, Lipusz Csaba, dr. Szalai Sándor</b> Elosztott intelligenciájú automatizált rendszer a VenusExpress űrmisszió kísérletének kalibrálására	34
<b>Farkasvölgyi Andrea</b> Az űrszemét probléma aktuális kérdéseinek áttekintése	39
<b>Tróznai Gábor, Baksa Attila, Sódor Bálint</b> A Rosetta leszállóegységének szoftver szimulátora	45
<b>Lichtenberger János, Bodnár László, E. Ferencz Orsolya, Ferencz Csaba, Steinbach Péter</b> Változóban a Föld-képünk	51
<b>Sipos László</b> Nyolcvan éves Tihanyi Kálmán töltéstárolás elvén alapuló televíziós szabadalma Könyvet ajánlunk: Mindentudás Egyeteme	54 55

---

## Védnökök

SALLAI GYULA a HTE elnöke és DETREKŐI ÁKOS az NHIT elnöke

---

## Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA

## Szerkesztőbizottság

Elnök: ZOMBORY LÁSZLÓ

BARTOLITS ISTVÁN  
BÁRSONY ISTVÁN  
BUTTYÁN LEVENTE  
GYŐRI ERZSÉBET

IMRE SÁNDOR  
KÁNTOR CSABA  
LOIS LÁSZLÓ  
NÉMETH GÉZA  
PAKSY GÉZA

PRAZSÁK GERGŐ  
TÉTÉNYI ISTVÁN  
VESZELY GYULA  
VONDERVISZT LAJOS

# Úrkutatás és távközlés

kantor.csaba@t-com.hu  
szabo@hit.bme.hu

Jelen szám vendégszerkesztője számára megtisztelő, egyben ismét örömteli az a feladat, hogy a Híradástechnikában újabb, úrkutatással foglalkozó tematikus szám szerkesztője lehet, hiszen ez mindenekelőtt azt jelenti, hogy a témakör kiváltotta az olvasóközönség érdeklődését. E célszámunkkal ismét áttekintést szeretnénk adni a hazai úrkutatás legújabb eredményeiről, amelyeknek egyben távközlési vonatkozásuk is van. A feldolgozott témakörök a hazai úrkutatás széles skáláját igyekeznek bemutatni.

A jelenlegi legnagyobb úrkutatási vállalkozás a nemzetközi űrállomás tudományos-műszaki programja. Az űrállomás két nagyobb egysége, az amerikai és az orosz modul fejlesztése ma is folyik és az orosz modulra kerül magyar kutatói közreműködéssel az „Obsztanovka” (Plasma Wave Complex – PWC) mérőrendszer, melynek célja a mágnesoszférában és az ionoszférában végbemenő elektromágneses jelenségeknek, és az extrém nagy űrjárműveknek az ionoszférával történő kölcsönhatásának a vizsgálata. A KFKI-RMKI kutatói egy adatgyűjtő és vezérlő számítógép rendszer létrehozásával vesznek részt a kísérletben.

Az ELTE úrkutatási csoportjának mérési eredményei támasztják alá a hullámterjedési számítások ellentmondásait feloldó új módszert, amely lehetőséget nyújt új, helyes megoldások meghatározására, elkerülve a korábbi tévedéseket, s amellyel sikerült sok úrkutatási mérési eredményt interpretálni.

Az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben a hetvenes évek végén úrkutatási céllal kifejlesztették a kisméretű, hordozható „Pille” TL dózismérő rendszert. Ezt először a Szaljut-6 űrállomáson, majd egyre korszerűbb változatait az azt követő összes, embert szállító űreszköz fedélzetén sikerrel használták; legújabb példánya a szolgálati rendszer részeként a Nemzetközi űrállomáson üzemel. A „Pille” űr-dózismérő rendszerrel nyert tapasztalatokra építve, de földi használatra kifejlesztettek egy sorozatgyártásra alkalmas, mérsékelt árú TL kiolvasó berendezést és a hozzá tartozó dózismérőket, melyek kereskedelmi forgalomba kerültek.

Korábbi Híradástechnika cikkekben részletesen ismertetésre kerültek a Rosetta leszállóegységének, a Philaenek felépítése és feladatai. A leszállóegység feladata egy üstökös felszíni tanulmányozása lesz. A leszállóegység szoftver szimulátora (LSS) a Philae földi szimulációját végzi. A szimulátor hardvere öt személyi számítógépből és a gyors válaszidőt biztosító üzenetkezelő kártyákból áll. A leszállóegység berendezéseinek viselkedése egy XML szintaxisú szimulációs nyelv segítségével írható le. Az LSS rendszer tervezésekor a rugalmasság volt a fő szempont. A megvalósított megoldások más hasonló komplex rendszerek működésének szimulációjára is adaptálhatók.

A VenusExpress az Európai Űrügynökség (ESA) első kísérlete a Vénusz kutatására. A KFKI RMKI kutatói az ASPERA-4 (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) kísérlethez automatizált kalibráló-rendszert alakítottak ki. Az ASPERA-4 kísérlet új információkat fog szolgáltatni a Vénusz közelében a plazma és a semleges gázok csatolásáról. Az elosztott intelligenciájú adatgyűjtő rendszer PC/104 típusú processzoros kártyákra épülő, valós idejű operációs rendszerrel történik, a kezelői felület programja egy hordozható számítógépen Windows XP alatt fut. A rendszer sajátossága az egyes komponensek nagyfeszültség elleni védelme, elektromos leválasztása.

Az úrkutatás, s így a hazánk szempontjából különösen fontos európai, ESA kutatás egyik mai – kiemelt fontosságú – területén arra keresnek érdemi választ, hogy mik azok a sajátos körülmények, amelyek lehetővé teszik az élet, és ennek részként a civilizációnk tartós fennmaradását egy csillag, a Nap szomszédságában. E kérdés megválaszolásának kulcsfontosságú területe a plazma-környezet felmérése és működésének megértése mind a Föld, mind a szomszédos, elsősorban Föld-szerű bolygók (Vénusz, Mars, Merkúr) esetében. A válaszok birtokában érdemben többet fogunk majd tudni a földi élet megóvásának segítése érdekében teendő lépésekről, s az azt veszélyeztető folyamatokról.

Kizárólag a műholdas helymeghatározó rendszerekre (GPS, GLONASS, Galileo) támaszkodva, a helymeghatározást csak több méter hibával lehet végezni. Természetes vágya volt a felhasználóknak, hogy egyesítsék a valós idejű navigáció hatékonyságát az utólagos feldolgozású geodéziai pontossággal. Ezt az igényes célt még kevés országban valósították meg, Magyarországon – 14 közép- és kelet-európai országgal együtt – az EUPOS projekt keretében folyik fejlesztés ebben az irányban.

Az 1960-as évek elején az űrkorszak és a műholdtechnika indulásakor kezdődött az űr Föld körüli területének beszenyezése. Az aktív műholdakat ért első becsapódások eredményeként kezdtek el mérni, megfigyelni és követni a különböző műholdpályákon keringő, kontrollálatlan objektumok mozgását, illetve a térfogategységre eső objektumok számát. Fontossá váltak azok a kutatások, amelyek a kontrollálatlan objektumok mérési módszereivel, a detektálás és követés módozataival, az ütközési valószínűségekkel, az űrszemét csökkentésének lehetséges megoldásával foglalkoznak.

Az itt csokorba gyűjtött cikkekben bemutatott eredmények bizonyítják, hogy szakembereink ezen a területen is megállják helyüket a nemzetközi összehasonlításban.

Kántor Csaba,  
vendégszerkesztő

Szabó Csaba Attila,  
főszerkesztő

# Új utakon a hullámterjedés leírása

E. FERENCZ ORSOLYA, FERENCZ CSABA

ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Űrkutató Csoport  
spacerg@sas.elte.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** hullámterjedés, módusok, inhomogenitás

A cikk megismerteti az olvasót egy alapvető tévedésből fakadó ellentmondással, mely a hullámterjedési számításokban a mai napig elterjedt és elfogadott, ám hibás eredményeket eredményez. Az elvi ellentmondás felismerése után egy olyan megoldási módszert ismertetünk, amely lehetőséget nyújt új, helyes megoldások meghatározására, elkerülve a korábbi tévedéseket, s amellyel sikerült sok űrkutatói mérési eredményt interpretálni.

## 1. Bevezetés

Számos fontos hullámterjedési kérdés megválaszolása megkerülhetetlenül igényli a fizikai képnek, a kialakuló és terjedő jel szerkezetének minél pontosabb modellezését. Az egyik – talán legérzékenyebb – terület az inhomogén közegekben terjedő elektromágneses jelek pontos leírása, eltekintve most a szórás-számítást igénylő igen erős inhomogenitásoktól. Az ismert és széles körben alkalmazott modellek (például az úgynevezett W.K.B. leírás, Airy-függvények és a Stokes-egyenlet megoldása, az eikonal-egyenlet, az általánosított terjedési vektor alkalmazása stb. [1]) azonban alapvető tévedést hordoznak magukban a jel szerkezetét illetően. Hogy ezt megvilágíthassuk, röviden bemutatjuk a legegyszerűbb példán magát a problémát.

## 2. A jel szerkezete

Az egyszerűség kedvéért vizsgáljuk meg egy szigorúan monokromatikus jel terjedését lineáris, izotróp, időinvariáns, veszteségmentes egyszerű közegben. A közeg tartalmazzon térbeli inhomogenitást. Ekkor a terjedő jel egy része, a közegen történő áthaladás során pontról pontra reflektálódik, miközben az előre terjedő jel amplitúdója csillapodik. A modell egyszerűségéből adódik, hogy a permittivitást  $\varepsilon(\vec{r})$  skalárként definiálhatjuk. További egyszerűsítésként vegyük a permeabilitást  $\mu_0$ -nak.

A fellépő jel alakja tehát:

$$\vec{G}(\vec{r}, t) \triangleq \vec{G}_0(\vec{r}) e^{i[\omega t - \varphi(\vec{r})]} \quad (1)$$

ahol  $\vec{G}$  rövidítve jelenti a  $\vec{E}, \vec{B}, \vec{D}, \vec{H}, \vec{G}_0$  függvényeket,  $\vec{r}$  a helyvektor,  $t$  az idő,  $\omega$  a körfrekvencia,  $\varphi$  pedig a fázis.

Esetünkben tehát a Maxwell-egyenletek alakja a következő:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{H} &= j\omega \varepsilon \vec{E}, \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -j\omega \mu_0 \vec{H}, \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{H} &= 0, \\ \vec{\nabla} \cdot (\varepsilon \vec{E}) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

amiből ismert úton adódik, hogy a harmadik és negyedik egyenlet automatikus teljesül, ha az első kettő teljesül, amennyiben nem disztribúciókkal írjuk le a közeget (a függvények folytonosan deriválhatóak). Így a megoldandó egyenletek a következő alakban írhatók:

$$\begin{aligned} (\vec{\nabla} \times \vec{H}_0) - j\vec{\nabla} \varphi \times \vec{H}_0 &= j\omega \varepsilon \vec{E}_0, \\ (\vec{\nabla} \times \vec{E}_0) - j\vec{\nabla} \varphi \times \vec{E}_0 &= -j\omega \mu_0 \vec{H}_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Bevezetve  $\vec{k} \triangleq \vec{\nabla} \varphi$  és  $\vec{k} \times \vec{u} \triangleq \vec{k} \cdot \vec{u}$  jelöléseket (ahol  $\vec{u}$  tetszőleges vektor), és feltételezve, hogy (mint a legegyszerűbb esetekben szokásos)  $\vec{G}_0$  és  $\varphi$  valós függvények, a megoldandó egyenletrendszer két részre bomlik szét. A valós rész

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{H}_0 &= 0, \\ \vec{\nabla} \times \vec{E}_0 &= 0; \end{aligned} \quad (4)$$

míg a képzetes rész

$$\begin{aligned} \vec{k} \times \vec{H}_0 &= -\omega \varepsilon \vec{E}_0, \\ \vec{k} \times \vec{E}_0 &= \omega \mu_0 \vec{H}_0. \end{aligned} \quad (5)$$

(Ezt a szeparálást sokszor azzal az indoklással is alátámasztja az irodalom, hogy tekintsünk nagyon gyenge inhomogenitású közegeket, ahol a közegjellemzők változása lassú. Azonban nyilvánvaló, hogy önmagában ez a feltételezés már erős megszorítást jelent a modellek érvényességi határaitban.)

Mivel e szétválás automatikusan azt eredményezi, hogy nem teljesül az energia-megmaradás a két egyenletrészre külön, a W.K.B. filozófia ezt az ellentmondást egy járulékos, a terjedő jel energiájának állandóságára vonatkozó feltétel bevezetésével küszöböli ki.

A (4) és (5) külön-külön vizsgálandó. (5) megoldása a jól ismert diszperziós egyenletre vezet,

$$\left[ \vec{k} \vec{k} + \omega^2 \varepsilon \mu_0 \vec{1} \right] = 0, \quad (6)$$

amiből

$$k^2 = \omega^2 \varepsilon \mu_0, \text{ és } k = \pm \omega \sqrt{\varepsilon \mu_0}, \quad (7)$$

adódik a terjedési vektorra, sejtetve, hogy egy előre és egy visszafelé terjedő jelet eredményez a megoldás.

A (4) viszont egy (5)-től független egyenletrendszer, melynek megoldása során minden esetben

$$\bar{H}_0 = \text{konstans és } \bar{E}_0 = \text{konstans} \quad (8)$$

adódik az amplitúdókra. Azonban (8) fellépése elvileg lehetetlen inhomogén közegben, és ellentmondásra vezet (7)-tel összevetve.

Mi okozhatja ezt az ellentmondást? Az ok nyilvánvalóan a feltételezett megoldás szerkezetében keresendő. Az inhomogenitással foglalkozó hagyományos elképzelések az előre terjedő és a reflektált jelet külön-külön is a Maxwell-egyenletek megoldásaként veszik figyelembe a levezetés során. Az a matematikában jól ismert tény, hogy egy lineáris differenciálegyenlet-rendszer egymástól független megoldásainak összege is az egyenlet-rendszer megoldása. Az azonban nem vehető általánosan igaznak, hogy egy ismert megoldást valamilyen módon additív részekre bontva, az így kapott részek önmagukban, külön-külön is megoldásai lennének az eredeti egyenlet-rendszernek.

A fizikai kép még világosabb. Ahhoz, hogy a haladó és a reflektált jelet külön-külön kezelhessük, önmagukban létezőnek, a Maxwell-egyenletek megoldásának kell feltételeznünk őket (és esetleg a számítások során, egyéb járulékos feltételezések alkalmazásával létesítünk közöttük valamiféle csatolást, kapcsolatot). Azonban az inhomogenitás jelenléte (legyen az bármilyen gyenge is) automatikusan kiváltja a jel reflexióját, azaz a terjedő és a reflektált jelrész csak és kizárólag együtt tűnhet fel inhomogén közegekben, önállóan nem.

Ahhoz, hogy még pontosabban lássuk a problémát, nézzük meg a szintén inhomogén esetekben használt Stokes-egyenlet és Airy-függvények alkalmazását [1,5].

Ahogy az például Budden könyvében is megtalálható ([1], 9. és 15. fejezet), inhomogén esetben szokásos eljárás, az úgynevezett Stokes-egyenlet felírására visszavezetni a Maxwell-egyenleteket:

$$\frac{d^2 E_y}{dz^2} + k_0^2 q^2 E_y = 0 \quad (9)$$

ahol

$$q^2 = n^2 \text{ (longitudinális terjedés esetén)} \quad (10)$$

$n$  pedig a törésmutató.

Amint az Budden levezetésében jól követhető, a kiinduló jelalakot a terjedő és a reflektált jelrész eredő összegeként veszi fel:

$$E_y = A \cdot e^{-jk_z z} + B \cdot e^{jk_z z} \quad (11)$$

ahol

$$k_z = k_0 \cdot n = \frac{\omega}{c} \cdot n$$

A további levezetésekben Budden arra hivatkozik, hogy ezt a (11)-ben látható jelalakot alkalmazza a Maxwell-egyenletekből adódó Stokes egyenlet megoldása során, amelynek ismert megoldásai az úgynevezett Airy-integrál függvények.

Azonban a továbbiakban Budden az előre terjedő és a reflektált jelrészt külön-külön helyettesíti be a Maxwell-egyenletekbe, formálisan azonos egyenleteket kapva ez által. Ezután a Maxwell-egyenleteket kü-

lön-külön oldja meg a terjedő és a reflektált jelre, nem pedig a két jelrész eredő összegére.

Ahogy azonban azt már korábban említettük, csak és kizárólag a terjedő és a reflektált jelrész eredője lehet a Maxwell-egyenletek megoldása, a jelrészek önmagukban nem léphetnek fel, így a Maxwell-egyenleteket sem elégíthetik ki, abból önmagukban nem vezethetők le, amennyiben a közeg inhomogenitást tartalmaz. Ellenőrizzük le tehát Budden számításait a két jelrész összegét (amit (11)-ben láthatunk) visszaírva a Stokes-egyenletbe.

Élve Budden feltételezésével, miszerint  $A$  és  $B$  konstansok (bár hangsúlyozzuk, hogy ez nagyon komoly megszorítást jelent a modell érvényességét tekintve) helyettesítsük be (11)-t a Stokes-egyenletbe. Ekkor a következő megoldást kapjuk:

$$A = -B \cdot e^{i2k_z z} \quad (12)$$

Nyilvánvaló ellentmondásra jutottunk tehát ismét, hiszen (12) alapján  $A$  és  $B$  nem konstansok. Budden megoldása tehát az előre és visszaterjedő jelrészre külön-külön értelmezhető csak, amit viszont inhomogenitás jelenlétében nem tételvezhetünk fel. (Eredetileg Budden sem teszi ezt.)

Ha  $A$  és  $B$  nem konstansok, és továbbra is (11) alakú megoldást írunk vissza a Stokes-egyenletbe, akkor még jelentősebb eltérést kapunk Budden eredményeitől, mivel egyáltalán nem adódik ki az a differenciálegyenlet, melynek megoldása az Airy-függvény, hanem  $A$  és  $B$  között még bonyolultabb összefüggést kapunk:

$$\begin{aligned} & \left[ -2j \frac{dA}{dz} (\mp k_0 q) - jA \left( \mp k_0 \frac{dn}{dz} \right) + \frac{d^2 A}{dz^2} \right] \cdot e^{-jk_z z} + \\ & + \left[ 2j \frac{dB}{dz} (\mp k_0 q) + jB \left( \mp k_0 \frac{dn}{dz} \right) + \frac{d^2 B}{dz^2} \right] \cdot e^{+jk_z z} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Ez az összefüggés egyfelől nem azonos a Budden által levezetettel, másfelől olyan alulhatározott matematikai leírást eredményez, amely nem oldható meg.

Vizsgálatunkkal tehát azt kaptuk, hogy a Stokes-egyenletet alkalmazó inhomogén számítási módszerek impliciten tartalmazzák azt a hibás, és többszörösen ellentmondásra vezető feltételezést, mely szerint a terjedő és a reflektált jel önmagában létezik, s így a Maxwell-egyenletek megoldásaként külön-külön meghatározható. Ez a megállapítás a jel természetétől (monokromatikus vagy UWB, tranzien) függetlenül érvényes.

### 3. Inhomogén Alapmódusok Módszere

Mint azt az előző pontban részletesen bemutattuk, az összes ismert inhomogén modell és megoldási módszer közös és alapvető elméleti hibája, hogy téves a feltételezett jel szerkezete, amennyiben az előre és a visszaterjedő jeleket önmagukban létezőkként vezetik le a Maxwell-egyenletekből. Hogyan kerülhető el ez az alapvető belső ellentmondás? Olyan jelszerkezetet kell feltételeznünk, amely minden térbeli és időbeli pontban

egyszerre tartalmazza az összes lehetséges fellépő jel eredő összegét, és abból kell kiindulnunk, hogy csak ez az eredő összeg lehet megoldása a Maxwell-egyenleteknek, azonban egyes részei (módusai) önmagukban nem. Ez a módszer az Inhomogén Alapmódusok Módszere (angol rövidítése: MIBM [2]).

A módszer bemutatásához tekintsünk egy lineáris, időinvariáns, bianizotróp közeget, ahol a térerősségekre azt mondhatjuk, hogy:

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \vec{\epsilon}(\vec{r})\vec{E} + \vec{\kappa}(\vec{r})\vec{H}, \\ \vec{B} &= \vec{v}(\vec{r})\vec{E} + \vec{\mu}(\vec{r})\vec{H}. \end{aligned} \quad (14)$$

A térerősségeket monokromatikus függvényeknek véve, általános alakban írva

$$\vec{G} = \sum_{i=1}^n a_i(\vec{r}) \cdot \vec{G}_{0i}(\vec{r}) \cdot \exp j(\omega t - \varphi_i(\vec{r})). \quad (15)$$

ahol  $a_i(\vec{r})$  általános hely-függő burkolófüggvény,  $n$  pedig a lehetséges módusok száma.

Írjuk vissza (15)-öt a Maxwell-egyenletekbe. Mivel most is eltekintünk a disztribúciók jelenlététől (bár az MIBM módszer ezekre az esetekre is érvényes, de a cikk keretein túlmutatna ennek részletezése), a III. és IV. egyenlet automatikusan teljesül, ha az I. és II. teljesül. Elvégezve néhány egyszerű átalakítást, a következő egyenleteket nyerjük (16):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n [\vec{\nabla}(\ln a_i - j\varphi_{ai}) \times \vec{H}_i + \vec{\nabla}_{TH0i} \vec{H}_i - j\vec{K}_i \times \vec{H}_i] &= \sum_{i=1}^n j\omega(\vec{\epsilon}\vec{E}_i + \vec{\kappa}\vec{H}_i) \\ \sum_{i=1}^n [\vec{\nabla}(\ln a_i - j\varphi_{ai}) \times \vec{E}_i + \vec{\nabla}_{TE0i} \vec{E}_i - j\vec{K}_i \times \vec{E}_i] &= -\sum_{i=1}^n j\omega(\vec{v}\vec{E}_i + \vec{\mu}\vec{H}_i) \end{aligned}$$

ahol

$$\vec{\nabla}_{TG0i} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\partial \ln G_{20i}}{\partial x_3} & \frac{\partial \ln G_{30i}}{\partial x_2} \\ \frac{\partial \ln G_{10i}}{\partial x_3} & 0 & -\frac{\partial \ln G_{30i}}{\partial x_1} \\ -\frac{\partial \ln G_{10i}}{\partial x_2} & \frac{\partial \ln G_{20i}}{\partial x_1} & 0 \end{bmatrix};$$

$$\begin{aligned} \vec{K}_i &= \vec{\nabla}\varphi_i; \\ \vec{\nabla}_{\vec{\alpha}} &= \vec{\nabla} \cdot \vec{\alpha}; \\ \left( \vec{\nabla}_{ai} \vec{G}_{0i} \right)_{mn} &= \alpha_{mn} \frac{\partial \ln G_{0im}}{\partial x_m}; \end{aligned} \quad (17)$$

A (16)-ban látható egyenletrendszer közeléből megvizsgálva egy nagyon fontos sajátosságot vehetünk észre. Ez az egyenletrendszer a teljes, inhomogén közegben kialakuló megoldást tartalmazza, korlátozó megszorítások nélkül. Az egyenletek baloldalának utolsó tagjai és a jobboldali tagok formailag teljesen megegyeznek azzal az egyenletrendszerrel, amit homogén esetben a Maxwell-egyenletekből kapunk, míg a baloldali első két tag új, a homogén esetben nem szerepel. Mivel mindenképpen célszerű olyan alakban keresnünk a megoldást, hogy homogén esetben visszahozzuk az ismert alakokat, így gondolatmenetünket erre a felismerésre alapozzuk.

Definiáljuk az inhomogén alapmódusokat úgy, hogy a homogén esetben visszamaradó tagokból álló egyenletrészek megoldásait adják külön-külön. De ne tévesz-

szük szem előtt, hogy ezek az alapmódusok önmagukban nem megoldásai a (16)-ban látható teljes Maxwell-egyenlet rendszernek, annak csak egy rész-egyenlet-rendszerét elégítik ki. Azonban az ismert megoldásokra homogén esetben visszavezetnek, hiszen ekkor az első két tag eltűnik. Definiáljuk az általánosított terjedési vektort ( $\vec{K}_i = \vec{\nabla}\varphi_i$ ) úgy, hogy megoldása legyen az alábbi diszperziós egyenletnek, mint kvázi-homogén esetben

$$\left[ (\vec{K}_i + \omega\vec{\kappa})\vec{\mu}^{-1}(\vec{K}_i - \omega\vec{v}) + \omega^2\vec{\epsilon} \right] = 0. \quad (18)$$

Így a  $\vec{K}_i$ -hoz tartozó inhomogén alapmódusokat az alábbi egyenletek megoldásaként kapjuk meg:

$$\begin{aligned} (\vec{K}_i \times \vec{H}_i) &= -\omega(\vec{\epsilon}\vec{E}_i + \vec{\kappa}\vec{H}_i) \\ (\vec{K}_i \times \vec{E}_i) &= \omega(\vec{v}\vec{E}_i + \vec{\mu}\vec{H}_i) \end{aligned} \quad (19)$$

Most, alapvetően új és a korábbi módszerektől döntően eltérő lépésként helyettesítsük vissza az így kapott inhomogén alapmódusokat (16)-ba, azaz a teljes, elhanyagolásoktól mentes Maxwell-egyenletekbe. Visszamaradó ismeretlen mennyiségeink a burkoló függvények és a fázisfüggvények. Az egyenlet homogén esetben megmaradó részei viszont értelemszerűen kiesnek (hiszen azoknak megoldásai az alapmódusok), a megmaradó egyenleteket pedig csatolóegyenleteknek hívjuk, hiszen azok adják meg a hiányzó ismeretlen paramétereket, azaz a módusok, és a gerjesztés közötti kapcsolatot írják le:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n [\vec{\nabla}(\ln a_i - j\varphi_{ai}) \times \vec{H}_i + \vec{\nabla}_{TH0i} \vec{H}_i] &= 0, \\ \sum_{i=1}^n [\vec{\nabla}(\ln a_i - j\varphi_{ai}) \times \vec{E}_i + \vec{\nabla}_{TE0i} \vec{E}_i] &= 0, \end{aligned} \quad (20)$$

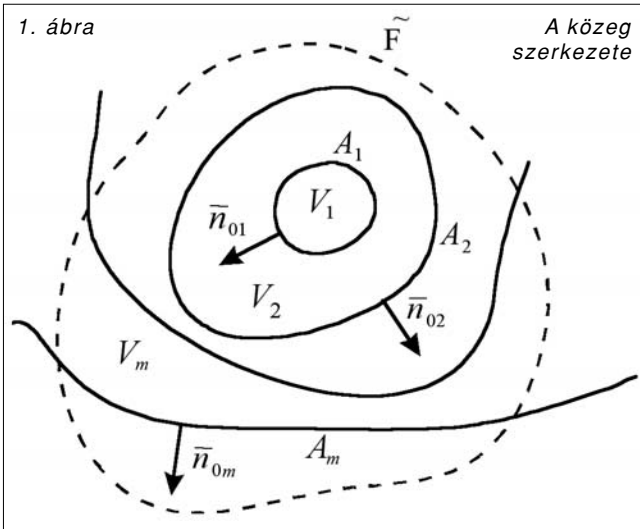
A csatolóegyenletek megoldásával a teljes megoldás rendelkezésünkre áll, az egyidejűleg fellépő összes módus és a közöttük lévő kapcsolat is meghatározható. Ez az inhomogén közegben a terjedő és a reflektált jelrész mindenkor eredőjét jelenti, valamint kapcsolatukat a gerjesztéssel.

#### 4. A Maxwell-egyenletek megoldása disztribúciók jelenlétében

Most azt az esetet vizsgáljuk meg, amikor a közegjellemzők hirtelen változnak meg néhány nyitott vagy zárt  $A_m$  felület mentén, melyek egymást nem keresztezik (1. ábra). A közegjellemzők e felületek közötti  $V_m$  térfogatokban változnak folytonos függvények szerint, melyek ugrással kapcsolódnak egymáshoz a felületeknél. Ez az eset a disztribúciókkal (funkcionálokkal) leírható közegjellemző-változás [3].

Vizsgáljunk továbbra is szigorúan monokromatikus elektromágneses jeleket, és tegyük fel hogy az  $\exp j(\omega t - \varphi)$  típusú megoldások léteznek a  $V_m$  térfogatokban. A  $V_m$  tartományokban keresett megoldások tehát

$$\vec{G}_m = \left[ \sum_i \vec{G}_i \right]_m = \left[ \sum_i (a_i \cdot e^{-j\varphi_{ai}}) \vec{G}_{0i} \cdot e^{j(\omega t - \varphi_i)} \right]_m. \quad (21)$$



A továbbiakban vezessük be a jól ismert  $1(x)$  Heaviside (egység-ugrás) és  $\delta(x)$  Dirac-delta disztribúciókat.  $1[\bar{r}(p_m, q_m)]$  jelöli azt a disztribúciót, melynek értéke a  $\bar{r} = \bar{r}(p_m, q_m)$  felület mentén nulláról egyre változik.

A  $\bar{r}(p_m, q_m)$  vektor pedig az  $A_m$  felület paramétere. Az egyes  $A_m$  felületekhez tartozó  $1[\bar{r}(p_m, q_m)]$  egység-ugrás függvényekből alkossunk kapufüggvényeket az alábbi módon:

$$s_m(\bar{r}) = \{1[\bar{r}(p_{m-1}, q_{m-1})] - 1[\bar{r}(p_m, q_m)]\}, \quad (22)$$

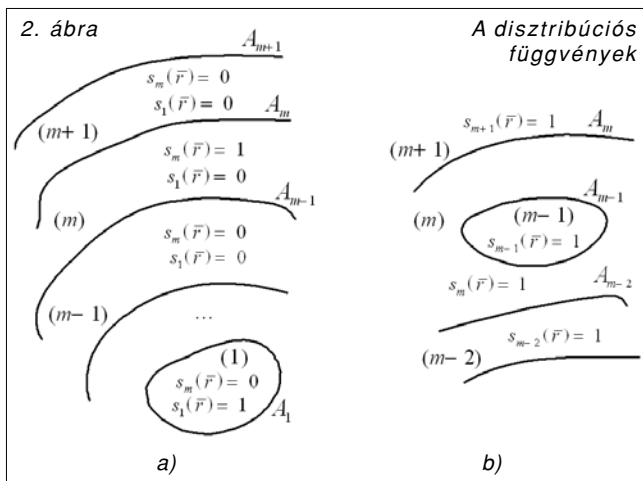
melynek értéke  $A_{m-1}$  és  $A_m$  között 1, egyébként 0.

E kapufüggvényekre alkalmazva a deriválás szabályait, és tudva, hogy  $1(x)$  általánosított deriváltja  $\delta(x)$ , olyan függvényt kapunk, melynek értéke csak a felületeken különbözik 0-tól:

$$\bar{\nabla} \cdot s_m(\bar{r}) = \delta[\bar{r} - \bar{r}(p_{m-1}, q_{m-1})] \bar{n}_{0m-1} - \delta[\bar{r} - \bar{r}(p_m, q_m)] \bar{n}_{0m}, \quad (23)$$

ahol  $\bar{n}_{0m}$  az  $A_m$  felület kifelé mutató normálisa.

A teljes megoldást ezek után az Inhomogén Alapmódusok Módszerével kaphatjuk meg ismét. A 2. ábrán látható módon értelmezve a kapufüggvényeket, az egyes  $s_m(\bar{r})=1$  térrészekben felírjuk az összes lehetséges alpmódus összegét, és mindezt a teljes vizsgált tartományra is összegezzük az alábbi módon:



$$\bar{G} = \sum_{m=1}^M s_m(\bar{r}) \left[ \sum_{i=1}^n \bar{G}_i \right]_m, \quad (24)$$

ahol  $M$  a folytonos  $V_m$  tartományok száma.

Ezeket az alpmódusokat a 3. pontban ismertetett módon határozhatjuk meg az alábbi egyenletekből az egyes  $V_m$  tartományokon belül

$$\begin{aligned} \bar{K}_{im} \times \bar{H}_{im} &= -\omega(\bar{\epsilon}_m \bar{E}_{im} + \bar{\kappa}_m \bar{H}_{im}), \\ \bar{K}_{im} \times \bar{E}_{im} &= \omega(\bar{v}_m \bar{E}_{im} + \bar{\mu}_m \bar{H}_{im}), \end{aligned} \quad (25)$$

$$\bar{K}_{im} + \omega \bar{\kappa}_m \bar{\mu}_m^{-1} (\bar{K}_{im} - \omega \bar{v}_m) + \omega^2 \bar{\epsilon}_m = 0 \quad (26)$$

A teljes megoldás meghatározásához az így kapott alpmódusokat visszairjuk a Maxwell-egyenletekbe, és a csatolóegyenleteket megoldva a még hiányzó paraméterek meghatározhatók:

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M \bar{\nabla} \cdot s_m(\bar{r}) \times \left[ \sum_{i=1}^n \bar{H}_i \right]_m &= 0, \\ \sum_{m=1}^M \bar{\nabla} \cdot s_m(\bar{r}) \times \left[ \sum_{i=1}^n \bar{E}_i \right]_m &= 0, \\ \sum_{m=1}^M \bar{\nabla} \cdot s_m(\bar{r}) \left\{ \bar{\epsilon}_m \left[ \sum_{i=1}^n \bar{E}_i \right]_m + \bar{\kappa}_m \left[ \sum_{i=1}^n \bar{H}_i \right]_m \right\} &= 0, \\ \sum_{m=1}^M \bar{\nabla} \cdot s_m(\bar{r}) \left\{ \bar{v}_m \left[ \sum_{i=1}^n \bar{E}_i \right]_m + \bar{\mu}_m \left[ \sum_{i=1}^n \bar{H}_i \right]_m \right\} &= 0 \end{aligned} \quad (27)$$

## 5. Az új modell eredményei

Alkalmazzuk tehát a megismert számítási eljárást tetzőlegesen erősen inhomogén közegekben terjedő monokromatikus, illetve tranzien (Ultra Wide Band) jelekre [4,5,6]. A közeg legyen előmágnesezett, anizotróp plazma, ami az úrkutatásban nagyon gyakori feladat. Eltekintve a teljes levezetés ismertetésétől, csak végeredményeket közlünk, szemléltetve, hogy az új modell milyen nagy mértékben, érdemi módon változtatja meg a korábban kapott megoldásokhoz képest a jel szerkezetét.

Monokromatikus esetben (is) az MIBM módszerrel kiadódó megoldás szukcesszív approximációval iterálható. Ennek nulladrendben közelítő megoldása visszaadja a jól ismert W.K.B. formulát.

$$E_1(x) = C \sqrt{Z_0(x)} \quad \text{ahol } C = \text{konstans} \quad (28)$$

$$E_2 = \frac{E_{10}}{2} \sqrt{Z_0(x)} \int_x^{x_M} \frac{d(\ln Z_0)}{du} e^{-j2 \int_0^u k(v) dv} du \quad (29)$$

A következő, elsőrendű közelítés eredménye még pontosabb formulákat ad, és a jelrészek közötti energiacsatolás jól látható a formulák szerkezetében:

$$E_1 = E_{10} \sqrt{Z_0(x)} \left\{ 1 - \frac{1}{4} \int_0^x \frac{d(\ln Z_0)}{du} e^{j2 \int_0^u k(v) dv} \cdot \left[ \int_u^{x_M} \frac{d(\ln Z_0)}{dv} e^{-j2 \int_0^u k(v) dv} dv \right] du \right\} \quad (30)$$

Impulzus gerjesztést feltételezve [7]

$$I_{x=0}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-x_0}^0 J_0 \left( l, t + \frac{l}{c} \right) dl \right\} e^{-j\omega t} dt \quad (31)$$

a szukcesszív approximáció első lépésében a reflektált jelre adódó megoldás az alábbi:

$$E_{z2}(x,t) = -\frac{j}{8\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{C_0(\omega)}{\sqrt{k(x,\omega)}} \int_{\xi}^x \frac{1}{2k(u,\omega)} \frac{\partial k(u,\omega)}{\partial u} e^{-2j \int_0^u k(v,\omega) dv} du \right] e^{j \left( \omega t + \int_0^x k(h,\omega) dh \right)} d\omega \quad (32)$$

ahol

$$C_0(\omega) = I_{x=0}(\omega) \frac{k_0(\omega) \sqrt{k(x=0,\omega)}}{k_0(\omega) + k(x=0,\omega)} \quad (33)$$

$$k(x,\omega) = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{\omega \omega_b(x) \omega_p^2(x) + \omega^2 [\omega_p^2(x) + \omega_b^2(x) - \omega^2]}{\omega_b^2(x) - \omega^2}} \quad (34)$$

A megoldás szerkezetében egymásba ágyazódó integrálok segítségével pontról-pontra nyomom követhető, hogy a terjedő és a reflektálódó energia szoros, pontról pontra változó kapcsolatban van egymással.

## 6. Összegzés

Bemutattuk, hogy az eddig ismert és általánosan használt inhomogén hullámterjedési leírások alapvető elméleti tévedést és ebből fakadó hibát, ellentmondást rejtettek magukban, a jel szerkezetének eleve hibás feltételezése miatt.

Röviden összefoglalva ismertettük az Inhomogén Alapmódusok Módszerét (MIBM), amelynek segítségével ez az ellentmondás és hiba elő sem áll, és alkalmazásával valóban pontos hullámterjedési leírás és megoldás nyerhető.

Az ismertett probléma és megoldási módszer jelentősége nagyon nagy, tekintve, hogy újragondolásra készíti az elmúlt 100 év hullámterjedési eredményeit, kaput nyitva olyan pontos, új leírások felé, amelyek segítségével környező világunkról alkotott képünk és megszerzett ismereteink interpretálása komoly fejlődésen mehet keresztül a jövőben. A reflexiónak ez a pontos meghatározása számos területen (űrkutatás, radar-technika, hírközlés stb.) befolyásolja a kutatást.

### Köszönetnyilvánítás

A bemutatott eredmények alapvetően a Magyar Űrkutatási Iroda (Informatikai és Hírközlési Minisztérium) támogatásával születtek meg, támogatva továbbá az MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport, valamint az MTA és a már lezárult OTKA T037611 és F037603 szerződések által.

### Irodalom

- [1] Budden K.G.:  
Radio waves in the ionosphere;  
Cambridge University Press, London 1966.
- [2] Ferencz Cs.:  
Elektromágneses hullámterjedés;  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1996.
- [3] Idemen M.:  
The Maxwell' equations in the Sense of Distributions;  
IEEE Trans. on Ant. and Prop.; AP-21, 1973.  
pp.736–738.
- [4] Cs. Ferencz:  
Real solution of monochromatic wave propagation  
in inhomogeneous media,  
PRAMANA Journal of Physics, Vol. 62, No.4, 2004.  
pp.943–955.
- [5] Ferencz O. E.:  
Full-wave solution of short impulses  
in inhomogeneous plasma;  
Pramana Journal of Physics, Vol. 64, No.2, 2005.  
pp.1–20.
- [6] Erhardtné Ferencz O., Ferencz Cs.:  
Elektromágneses impulzusok terjedésének vizsgálata  
különböző közegekben;  
Híradástechnika, LIX, 2004/5, pp.18–24.
- [7] Ferencz Cs., Ferencz O.E., Hamar D., Lichtenberger J.:  
Whistler Phenomena, Short Impulse Propagation;  
Kluwer Academic Publishers,  
Astrophysics and Space Science Library, Dordrecht,  
2001.

# A plazmakörnyezet befolyása űreszközökön elhelyezett érzékelőkre, antennákra

BENCZE PÁL

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron  
bencze@ggki.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** antenna, rádióösszeköttetés, földkörüli térség, plazma, ionréteg képződése

*A mesterséges holdakon az összeköttetés, vagy plazmamérések biztosításához elhelyezett antennák a Föld körüli térségben az ionizáció hatására keletkező plazmában mozognak. Ennek következményeként ezeket az antennákat a környezetüktől eltérő paraméterekkel jellemezhető plazmaréteg veszi körül. A mesterséges hold és a vele a „földelés” révén összeköttetésben levő eszközök földpotenciálja negatív, általában 10 V-nál kisebb értékű. A negatív potenciál kialakulása annak köszönhető, hogy az elektronok sebessége nagyobb, mint az ionoké, így a mesterséges holdat érő elektronfluxus nagyobb, mint az ionfluxus. A mesterséges hold negatív potenciálja viszont körülötte és a rajta elhelyezett érzékelők, antennák körül ionréteg kialakulását idézi elő. Az antenna körül kialakuló ionréteg vastagságát az a körülmény is befolyásolja, hogy az antenna körül elektromágneses tér is jelen van. Végeredményben ennek az ionrétegnek vastagsága az antenna sugarával és egy exponenciális függvény szorzatával arányos, amelynek argumentumában a dielektromos állandó és az antenna kapacitásának a hányadosa szerepel. Az antenna paramétereit befolyásoló ionréteg vastagsága ~15 cm nagyságrendű.*

## 1. Bevezetés

Az űreszközökön, rakétákon, mesterséges holdakon elhelyezett érzékelők, antennák működési magasságukban olyan közegbe kerülnek, ahol azokat nemcsak elektromosan semleges molekulákból, atomokból álló levegő veszi körül. A magasság növekedésével ugyanis egyre nagyobb mértékben érvényesül a Nap ionizáló hullámtermészetű (elektromágneses) és részecske (elektronok, protonok) sugárzásának a hatása. Amíg a talaj közelében a radioaktív bomlástermékek  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$  sugárzása által előidézett ionizáció az uralkodó, a felszíntől távolodva a radioaktív sugárzás ionizáló hatása gyorsan háttérbe szorul és ezt a másodlagos (szekundér), majd az elsődleges (primér) galaktikus kozmikus sugárzás ionizációs hatása válik uralkodóvá. A szekunder galaktikus sugárzás 15-20 km magasságban jön létre a primér galaktikus kozmikus sugárzás atomrombolásának eredményeként. Ennek következtében protonok, neutronok, mezonok, elektronok és fotonok keletkeznek. Így ezek hozzák létre az említett magasság alatt az ionizációt. 15-20 km felett mintegy 60-70 km magasságig már a primér galaktikus kozmikus sugárzás az ionizáció előidézője. A primér galaktikus sugárzás igen nagy energiájú protonokból, hélium atommagokból, könnyű, közepes és nehéz atommagokból áll. 60-70 km felett gyorsan uralkodóvá válik a Nap elektromágneses sugárzásának ionizáló hatása.

Annak, hogy a különböző magasságintervallumokban más és más a leghatékonyabb ionizáló sugárzás, a szóban forgó sugárzások légkörbe történő behatoló képességének a különbözősége az oka. A légkörbe a legmélyebbre, 15-20 km magasságig az ionizáló sugárzások közül a legnagyobb energiát képviselő primér galaktikus kozmikus sugárzás képes behatolni. A sze-

kunder kozmikus sugárzást már a primér sugárzás hozza létre. Energiáját tekintve a primér galaktikus sugárzás még 60-70 km felett is képes ionizálni, azonban egyrészt csökken a levegő sűrűsége, ezért a levegő molekuláival való találkozás valószínűsége a magassággal exponenciálisan csökken, másrészt a sugárzást alkotó részecskék sebessége energiájuknál fogva olyan nagy, hogy a molekulákkal történő kölcsönhatás, az ionizáció létrejöttének kicsi a valószínűsége.

A Nap elektromágneses sugárzásának ionizáló hatásával kapcsolatban is az a helyzet, hogy 60-70 km magasságig csak a spektrum legkisebb hullámhosszúságú, tehát a legnagyobb energiát hordozó röntgensugárzás jut el és okoz ott ionizációt. Minél magasabbra jutunk a légkörben, annál kisebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás képes az adott magasságig behatolni és ionizációt létrehozni. Ennek a szabálynak az érvényesülését azonban két tényező korlátozza. Az egyik az a körülmény, hogy a Nap elektromágneses sugárzásának hullámhosszúsága csak addig csökkenhet, ameddig a benne terjedő energia nagyobb az ionizációhoz, egy elektronnak az elektronhéjból való kiszakításához szükséges energiánál. Ez a hullámhosszúság az extrém ultravioleta sávnak felel meg. A másik tényező azzal függ össze, hogy a levegőt alkotó gázok ionizációjához szükséges energia különböző. Így az is előfordul, hogy egy a levegő összetételében alárendelt szerepet játszó összetevő, például a nitrogénoxid (NO) ionjai az ionösszetételben jelentős koncentrációval szerepelnek.

A légkörnek mintegy 60 km feletti és megállapodás szerint 1000 km-ig terjedő részét ionoszférának nevezük. Ez már a légkörnek az a része, ahol a szabad elektronok koncentrációja akkora, hogy a rádióhullámok terjedését befolyásolhatja [1].



Az ionoszférában az elektromos töltéssel rendelkező részecskéknek (ionok, elektronok) a töltéssel nem rendelkező részecskékhez (semleges atomok, molekulák) viszonyított aránya a magasság növekedésével növekszik [2]. Így a felső légkörről mind inkább mondhatjuk azt, hogy plazmaállapotban van. Ha pontos kifejezést akarunk használni, a Föld körüli térség plazmája híg, hideg, mágnesezett plazma, híg, mert viszonylag kicsi a sűrűsége, hideg, mert kicsi az (termikus) energiája, továbbá a Föld mágneses terében helyezkedik el. A Föld körüli térségben a plazmában kvázineutralitás érvényesül [3].

## 2. Az ionoszférikus plazma paraméterei

Az előbbieken ismertetett körülmények miatt beszélhetünk az űreszközökön elhelyezett érzékelők, antennák esetében a plazmakörnyezet hatásáról. A plazmakörnyezet hatásának a meghatározásánál az alaphelyzetet tekintve a következőket kell figyelembe venni: a plazma és az űreszköz egymáshoz viszonyított mozgását, a plazmát alkotó elektronok és ionok különböző sebességét, a plazma sűrűségét és a Föld mágneses terének, a geomágneses térnek a hatását. Mindig figyelni kell arra, hogy ezek a mennyiségek időben változnak, elsősorban a Föld körüli keringés következtében a nappalok és éjszakák, a pálya megvilágított és sötét szakaszainak a váltakozására. A plazma paramétereinek a mérése akkor biztosított, ha az érzékelő például Langmuir szonda, fékező potenciálanalizátor, vagy tömegspektrométer a plazmakörnyezetet kontinuumként, folytonos közegként érzékeli. Ehhez a plazma paramétereinek a meghatározására szolgáló mérések-nél az elektronok (termikus) sebességének nagyobb-nak kell lennie az űreszköz sebességénél, az ionok (termikus sebességének viszont kisebbnek [4].

Az a körülmény, hogy az ionok  $v_i$  sebessége kisebb legyen az űreszköz  $v_o$  sebességénél és ezzel az űreszköz sebességénél nagyobb  $v_e$  elektron-sebességnél az elektron, illetve ionsebesség kifejezéséből adódik, mivel az elektronok tömege kisebb, mint az ionoké.

Ugyanis a  $v_e$  elektronsebesség

$$v_{Te} = \left( \frac{kT_e}{m_e} \right)^{1/2}$$

ahol  $k$  a Boltzmann-állandó,  $T_e$  az elektronhőmérséklet és  $m_e$  az elektron tömege. Hasonló kifejezés érvényes a  $v_i$  ionsebességre is

$$v_{Ti} = \left( \frac{kT_i}{m_i} \right)^{1/2}$$

ahol  $T_i$  az ionhőmérséklet és  $m_i$  az ion tömege. Ezek a formulák az  $m v^2 \sim kT$  relációból származtathatók. Ez azt fejezi ki, hogy az elektronok, ionok átlagos kinetikus energiája a belső energiával ( $kT$ ) arányos [5]. Ha az említett sebességek értékeit nézzük, az elektronok termikus sebessége az elektronhőmérsékletnek a magasság növekedésével történő emelkedése miatt nö-

vekszik. 100 és 1000 km között közel exponenciálisan  $8 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$ -ről  $2 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$ -re növekszik. Ami az ionok termikus sebességét illeti az ionhőmérséklet magassággal való exponenciális növekedése következtében, az említett magasságintervallumon belül mintegy  $200 \text{ ms}^{-1}$ -ről  $1000 \text{ ms}^{-1}$ -re növekszik. A mesterséges hold sebessége a pálya alakjától függ. Köralakú pálya esetén  $7.9 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$ , elliptikus pálya esetén  $1.10^4 \text{ ms}^{-1}$  nagyságrendű. Az előbbieken az elektronok, ionok termikus sebessége és az űreszköz sebességével kapcsolatban említett egyenlőtlenség tehát érvényesül.

A plazma folytonos közegként történő kezelhetősége attól is függ, hogy a plazmában lejátszódó folyamatnak, esetünkben az űreszközökön elhelyezett érzékelőket, antennákat körülvevő plazmakörnyezet kialakulásának térbeli kiterjedése a Debye hosszánál nagyobb-e. Ha a Debye hossz ennél nagyobb, a plazmakörnyezet nem tekinthető folytonosnak és ettől kezdve az „egy részecske modellel” kell számolni. A  $\lambda_D$  Debye hossz

$$\lambda_D = \left( \frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e} \right)^{1/2}$$

ahol  $\epsilon_0$  a vákuum dielektromos állandója és ne az elektronsűrűség, az elektronhőmérséklettel egyenesen, az elektronsűrűséggel fordítottan arányos. Mivel az elektronhőmérséklet a magassággal növekszik, az elektronsűrűség pedig csökken, – mindkettő többé-kevésbé exponenciálisan, de különböző mértékben – a Debye hossz a magasság növekedésével szintén exponenciálisan növekedve egy határérték felé közelít. A Debye hossz 100 és 1000 km között mintegy 0,4 cm-ről 3 cm-re növekszik. Az érzékelők és antennák szempontjából ez azt jelenti, hogy az érzékelők, antennák elhelyezésénél ügyelni kell arra, hogy a körülöttük kialakuló plazmakörnyezetet a Debye hosszának megfelelő távolságon belül semmi se zavarja.

Az előbbieken mind az elektronok, ionok termikus sebességét illetően, mind a Debye hosszal összefüggő megfontolások az elektronok sebességének a Maxwell-Boltzmann sebességeloszlási függvény szerinti eloszlását a végtelenben

$$f_{\text{eos}} = n_{\text{eos}} \left( \frac{m_e}{2\pi k T_e} \right)^{3/2} \exp \left[ -\frac{m v_{Te}^2}{2k T_e} \right] \text{ feltételezi.}$$

A Maxwell-Boltzmann sebességeloszlási függvény-től való eltérések lépnek fel a mesterséges hold pályájának a Nap által megvilágított oldalán, vagy a sugárzási övezeteken történő áthaladás közben.

A plazmakörnyezet hatásával összefüggésben említettük a geomágneses teret is. A geomágneses térnek kétféle hatása lehet a plazmakörnyezetre, illetve az űreszközökön elhelyezett érzékelőkre, antennákra. Az egyik az a körülmény, hogy a légkörben különböző eredetű elektromos terekkel találkozunk. Elektromos tér jöhet létre 90 és 120 km között a dinamó hatás következtében. Ugyanis az ionoszférában ennek létrejöttéhez minden adott. Az elektromos töltések formájában jelen van a vezető, amelyet az ionok és a semleges részecs-

kék közötti gyakori ütközések eredményeként a semleges közeg mozgása, a szél ebben a magasságban magával „vonszol”. Ez a szél irányában történő mozgás csak az ionokat érinti, az elektronokat kisebb méretük miatt ebben a magasságban már nem. Így töltéssztévalás, elektromos tér keletkezik, amely a geomágneses tér ekvipotenciális vonalaknak tekinthető erővonalai mentén átvédhető az említettél nagyobb magasságokba.

Elektromos tér keletkezik a Naptól minden irányban terjedő plazmaáramlás, a napszél és a bolygóközi mágneses tér közötti kölcsönhatás következtében, amely magas szélességeken figyelhető meg, vagy a geomágneses tér által elfoglalt térrész, a magnetoszféra Nap-pal ellentétes oldalán kialakuló csóvában az ott lejátszó folyamatok eredményeként. Az elektromos tér és a geomágneses tér közötti kölcsönhatás ( $\vec{E} \times \vec{B}$ ) az ionok, elektronok elektromos és mágneses térre merőleges mozgását idézi elő. Ez a mozgás abban az esetben játszik szerepet, ha annak a sebessége megközelíti a mesterséges hold mozgásának a sebességét. Ugyanis elektromos tér nemcsak a plazmában alakul ki, mint arról a fentiekben esett szó, hanem a mesterséges holddal együtt a geomágneses térben mozgó érzékelőben, antennában is elektromos tér jön létre a  $\vec{v}_0 \times \vec{B}$  kölcsönhatás eredményeként.

Ezek az elektromos terek megváltoztatják a plazmakörnyezetet azáltal, hogy befolyást gyakorolnak a mesterséges hold közvetlen környezetében a töltött részecskék mozgására. A geomágneses tér másik hatása az ionok és elektronok mozgására közvetlenül érvényesülő hatása. Dipól mágneses térben, mint amilyen a Földé is, az ionok és elektronok mozgása három komponensből tevődik össze.

Az egyik a mágneses erővonal körül végzett körmozgás, amelynek sugara a részecskék energiájával egyenesen, a mágneses térrel fordítva arányos. Ez azt jelenti, hogy a körmozgás sugara, a Larmor sugár a Föld felszínétől távolodva a távolság köbével fordítva arányos mágneses térerősség csökkenésével növekszik. A mozgás második összetevője az erővonal végpontjai közötti ingázás, melynek következtében a töltések az erővonal mentén spirális pályán mozognak. A mozgás harmadik komponense a mágneses térre merőleges mozgás. Ez annak a következménye, hogy mágneses dipóltérben a Föld felé közeledve a mágneses tér erőssége növekszik. Így az ionok, elektronok erővonal-körül pályája akként módosul, hogy a pálya Földhöz közelebbi részén a pálya sugara a térerősség növekedése következtében csökken, a pálya távolabbi részén növekszik. Az erővonal körüli mozgás sugarának ez a változása az elektronok esetében K-NY, az ionoknál NY-K irányú elmozdulást hoz létre (az erővonal körüli mozgás iránya az elektronoknál az óramutató járásával egyező, az ionoknál azzal ellenétes irányú). A plazma folytonos közegként (kontinuum) viselkedik mindaddig, amíg a Larmor sugár (gíró sugár)

$$r_e = \frac{m_e v_{Te}}{eB}, \text{ illetve } r_i = \frac{m_i v_{ei}}{eB}$$

kisebb, mint az érzékelő mérete. 100 és 1000 km között az elektronok Larmor sugara 10 cm-ről 40 cm-re, míg az ionoké 0,1 mm-ről 2 m-re növekszik.

### 3. Plazmaréteg kialakulása érzékelők, antennák körül

A plazmára folytonos közegként, vagy egyes, különálló részecskéként való viselkedésének feltételeit a plazma jellemzésére szolgáló paramétereknek az érzékelő, antenna méreteihez viszonyított nagyságának jelentőségét megismerve foglalkozhatunk az érzékelők, antennák körül kialakuló plazmaréteggel. Láttuk, hogy az érzékelőket, antennákat körülvevő plazma pozitív és negatív töltésű részecskékből, ionokból áll. Az 1000 km alatti magasságokban még elektromosan semleges atomok is előfordulnak. Az is kiderült, hogy az elektronok termikus sebessége két nagyságrenddel nagyobb az ionok termikus sebességénél. Ennek az a következménye, hogy az időegység alatt egységnyi felületre több elektron jut, mint ion. Az érzékelők, antennák negatív töltésűekké válnak úgy, hogy az említett magasságintervallumban az elektronok termikus sebessége nagyobb, mint a mesterséges hold sebessége.

A plazmakörnyezetben kvázistacionárius helyzet akkor jön létre, ha a negatív töltésű érzékelőket, antennákat, sőt magát a mesterséges holdat is pozitív töltésű plazmaburok veszi körül. A pozitív plazmaburok (sheath) keletkezésének a folyamata azzal kezdődik, hogy a negatív töltésűvél válással a mesterséges hold és a kívülről elhelyezett részei negatív potenciálra tesznek szert. Ezt a potenciált „lebegő potenciálnak” szokás nevezni. Mivel ez a gyenge potenciál az elektronoknál lényegesen nagyobb tömegű ionok mozgását kevésbé befolyásolja, mint az elektronokét, a mesterséges hold közvetlen közelében a pozitív ionok fluxusa lényegében változatlan marad, míg a negatív potenciál az elektronok mozgását gátolja. Így egyensúlyi állapotban az elektronok és pozitív ionok fluxusa egyenlővé válik. A mesterséges holdat és a rajta kívül elhelyezett érzékelőket, antennákat tehát egy olyan réteg veszi körül, amelyben a plazma kvázi neutralitása nem érvényesül [6].

A plazmaréteg vastagságának ismerete nélkülözhetetlen a mesterséges hold felépítésének a tervezésénél. A plazmaréteg vastagsága függ a lebegő potenciáltól és az elektronsűrűségtől. A vastagság meghatározásához így szükségünk van a lebegő potenciál értékére. A lebegő potenciál a

$$\phi_o = -\frac{kT_e}{e} \ln \left[ \frac{2}{v_o} \left( \frac{kT_e}{2\pi m_e} \right)^{1/2} \right]$$

közelítő formula szerint az elektronhőmérséklet függvénye, ahol az összefüggésben szereplő más mennyiségeket már ismerjük [4]. A lebegő potenciál pontosabb meghatározásához a fotoelektromos hatással és a geomágneses tér hatásával ( $\vec{v}_0 \times \vec{B}$ ), az ionszféra felett a sugárzási övezetekben a nagy energiájú részecskék (protonok, elektronok) által előidézett szekunder

elektronemisszióval is számolni kell. A fotoelektron emisszió a nappali oldalon, valamint a szekunder elektronemisszió a sugárzási övezetekben a negatív potenciál csökkentéséhez, esetenként pozitívvá válásához vezethet. A fotoelektron emisszió miatt bizonytalanra válik a potenciál előjele a nappali oldalon. A fotoelektromos hatás 1000 km felett válik jelentőssé. Azt is figyelembe kell venni, hogy a mesterséges hold mozgásának következtében a körülötte kialakuló áramlás miatt az érzékelők, antennák felületét érő elektronfluxus egyenlőtlen.

Az ionréteg vastagsága a lebegő potenciál, az elektronsűrűség és elektron hőmérséklet, valamint a mesterséges hold sebességének segítségével

$$R = \left( \frac{2e\phi_o}{kT_e} \right)^{1/2} \lambda_D$$

összefüggés alapján határozható meg [6].

A plazmakörnyezet hatására kialakuló ionréteg vastagsága ~8 cm nagyságrendű.

Érdeemes az antennákkal külön foglalkozni. Antennák esetében nemcsak az érzékelőkön kialakuló ionréteggel kell számolni, amely az antenna működésétől, a körülötte kialakuló HF tértől függetlenül az ionoszférában spontán jön létre, hanem a HF tér hatására létrejövő rétegződéssel is. Bár az előbbi réteg vastagsága – mint látni fogjuk – nagy antenna tér esetén elhanyagolható, kis HF térerősségnél hatása már számottevő lehet.

A HF térrel összefüggő réteg keletkezése azért is fontos, mert növeli a semleges légkörnek a közegellenállással kapcsolatos fékező hatását (neutral drag) a mesterséges hold mozgására. Ennek a rétegnek a fékező hatása (charged drag) összemérhető a semleges közeg fékező hatásával. A vizsgálatok szerint az elektronok hozzájárulása a fékeződéshez csak 1%-a az ionok által okozott fékeződésnek. A plazmában az antenna körül a HF tér hatására létrejövő rétegződés megváltoztatja az antenna paramétereit.

A nagyfrekvenciás inhomogén elektromágneses térbe helyezett elektromos töltésekre egy időben átlagolt mechanikai erő hat. Ez az erő az

$$F = \frac{e^2}{4m\omega^2} \nabla E_o^2$$

képlettel adható meg [7], ahol  $E_o$  a nagyfrekvenciás tér amplitúdója. Az antenna közelében az elektronsűrűségeloszlás

$$n_e = n_{eo} \exp(-\phi / 2kT_e)$$

lesz, ahol  $\phi = e^2 E_o^2 / (4m\omega^2)$  az említett erő potenciálja. Az elektroneloszlás az antenna körül tehát az antennára kapcsolt HF elektromos térváltozás amplitúdójától függ. Mivel az elektromos tér radiális komponense  $E_o(r) = E_R R_o / r$ , ahol  $R_o$  az antenna sugara és  $E_R$  a tér amplitúdója  $r = R_o$  esetén, az elektronsűrűségeloszlás az antenna közelében

$$n_e = n_{eo} \exp(-e^2 R_o^2 E_R^2 / 8m\omega^2 r^2 kT_e) \quad (1)$$

Mint ismeretes, az antenna impedanciája az antennát körülvevő közeg dielektromos állandójával változik

[8,9]. Ha rövid antennáról van szó, akkor annak impedanciája lényegében kapacitív. Az antenna a sugárzóhoz viszonyítva általában hosszú, így az ionréteg hatásának a meghatározásánál az ionréteg külső, plazma felőli határát az antenna felületével alkotott hengerkondenzátornak tekinthetjük.

A dielektromos állandó az ionoszférában nagy frekvenciák (HF) esetén  $\epsilon = 1 - \omega_p^2 / \omega^2$ , ahol  $\omega_p^2 = e^2 n_e / (m\epsilon_o)$  a plazmafrequencia, amely a plazma önfrequenciájaként értelmezhető és  $\omega$  a HF frekvencia.

Az antenna kapacitása a plazmában  $C = Q / \phi$ , illetve egységnyi hosszúságú szakaszának a kapacitása, ha az  $\epsilon \approx 1$  közelítést alkalmazzuk  $C = E_R R_o / 2\phi$ , ahol  $Q = E_R R_o / 2$ ,  $\phi$  az antennarúd potenciálja. Figyelembe véve, hogy  $\omega_p^2 / \omega^2 \ll 1$ , a dielektromos állandó képletében binomiális sorfejtéssel  $(1 - \omega_p^2 / \omega^2)$  helyett írhatunk  $1 / (1 + \omega_p^2 / \omega^2)$ . Így ennek figyelembe vételével az antenna C lineáris kapacitása, mivel az antenna mentén lineáris töltéseloszlással számolunk és  $C = \epsilon C_o$

$$C = \frac{C_o}{1 + \frac{\omega_p^2}{\omega^2} f(\alpha)} \quad (2)$$

ahol  $C_o$  az antenna vákuumra vonatkozó kapacitása,  $\omega_p$  a zavartalan állapotban levő közeg plazmafrequenciája és  $f(\alpha)$  korrekciós tényező

$$f(\alpha) = \frac{1}{2 \ln \frac{l}{R_o}} \left[ \alpha \frac{R_o^2}{l^2} - \ln \left( \alpha \frac{R_o^2}{l^2} \right) - 0.577 \right]$$

Ebben az egyenletben  $R_o$  és  $l$  az antenna sugara, illetve hossza,  $\alpha$  pedig az ionoszférában az  $\alpha \omega^2 / l^2 \ll 1 < \alpha < \alpha$  feltételrendszerrel adható meg. A plazmaréteg sugarára vonatkozó  $n_e / n_{eo} = 1/e$  definícióval, mely szerint a réteg az antenna felszínétől addig a távolságig terjed, ahol  $n_{eo}$  az e-ed részére csökken, a plazmaréteg vastagsága is megállapítható. A  $n_{eo}$  értékét az (1) egyenlettel számíthatjuk ki. Az antenna kapacitásának az ismeretére  $E_R$  meghatározásához van szükségünk.

Másik lehetőséget kínál a plazmaréteg vastagságának a meghatározására a következő közelítés. Tételizzük fel, hogy a HF tér hatására keletkező ionréteg éles határral rendelkező hengerként veszi körül az antennát és ezen a rétegen belül nincsenek elektronok [10]. A réteg valójában nem lesz kívülről élesen lehatárolt, mivel a réteg és a plazma közötti átmenetet az elektronok termikus mozgása folyamatossá teszi. Ha az antenna feszültsége megfelelő lassúsággal változik, a réteg vastagsága is változni fog.

Az a frekvencia, amelyet a réteg vastagságának változása még követni tud, megközelíti a plazmafrequenciát. Bár az elektronok mozgását gerjesztő tér szinusoidális, a térnek a távolsággal történő csökkenése miatt az elektronokat már nem szinusoidális erőhatás éri. Ez az átlag erő, amely akkor lép fel, ha a gerjesztő frekvencia nagyobb, mint a plazmafrequencia az egyes elektronokat a gyengülő tér irányába, vagyis a plazma felé gyorsítja. Ez az elektronokra ható egyik erő, amely a távolság negyedik hatványával fordítottan arányos.

A másik erő abból származik, hogy az antennához közelebb levő elektronok általában nagyobb taszító erő hatásának vannak kitéve mint a távolabbiak. Ennek következtében az antenna közvetlen környezetében elektron-hiányos réteg alakul ki. Az antennától távolabbi elektronokat az antenna körül kialakult elektron-hiánytól származó tér az antenna felé mozgatja amely a távolság első hatványával fordítottan arányos. Az utóbbi tér tehát nagyobb hatótávolságú. A két erő hatásaként a pozitív ionrétegen kívül egy gyenge elektron réteg is kialakulhat.

A számításokat egyszerűsíti, ha feltételezzük, hogy az antennát körülvevő ionréteg vastagsága az antenna mentén nem változik. Ez azt jelenti, hogy ez a megközelítés csak rövid antennákra érvényes (az antenna impedanciájával kapcsolatban is ezt feltételeztük).

Az antennaadatokból és a mérési eredményekből meghatározott kapacitás alapján a hengerkondenzátor kapacitására vonatkozó

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log(R/R_0)} [F/m]$$

képlet alapján lehet az ionréteg vastagságát megállapítani, ahol  $R$  az ionrétegnek az antenna tengelyétől mért sugara. Mivel az antennarúd sugara az ionréteg sugarához viszonyítva elhanyagolható,  $R$  tulajdonképpen az ionréteg vastagságának felel meg és így

$$R = R_0 \exp\left(\frac{2\pi\epsilon_0}{C}\right)$$

A számítások szerint az antenna körül a rádiófrekvenciás tér hatására kialakuló ionréteg vastagsága hozzávetőlegesen 15 cm nagyságrendű.

#### 4. Összefoglalás

A mesterséges holdakon mért adatok közvetítésére, vagy plazmadiagnosztikára szolgáló antennák paramétereinek ismerete fontos, mind az összeköttetés tervezése, mind a mérések pontossága szempontjából. A mesterséges holdakon elhelyezett antennák tervezésénél azonban számításba kell venni, hogy azok ionizált közegben, plazmában fognak mozogni. Ez lényegesen megváltoztatja a tervezésnél általában figyelembe veendő körülményeket. Minél nagyobb a távolság a felszíni vevőállomás és a mesterséges hold között, annál pontosabban kell ismerni a mesterséges hold pályája mentén várható, a környezetre jellemző paramétereket.

Ezért az alkalmazott és sokszor csak a geometriai méretek meghatározására szorítkozó tervezésnek úreszközökön történő alkalmazás esetén ki kell egészülnie a fizikai környezet számításba vételével. Jól alkalmazhatók erre az ionoszféramodellek, amelyek nagy magasságokig (2000 km) teszik lehetővé a plazma paramétereinek (elektronsűrűség, ionösszetétel, elektronhőmérséklet, ionhőmérséklet) különböző évszakokban, a nap különböző óráira történő kiszámítását. Az említett modellek a naptevékenység és a geomágneses tevékenység változásainak a figyelembe vételét is lehe-

tővé teszik. Ez utóbbi a modellekkel szemben támasztott legfontosabb követelmény, mivel a plazma paramétereire érzékenyen reagálnak a Napon lejátszódó és ennek következményeként a Föld körüli térségben végbemenő változásokra.

Gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos szerepükre való tekintettel ezeket a modelleket újabb mérési eredmények birtokában folyamatosan kiegészítik, javítják.

#### Irodalom

- [1] Bencze P.: Naptevékenység és a rádióhullámok terjedése. Híradástechnika, LIX. 2004, pp.12–17.
- [2] Satellite Environment Handbook (ed. F. S. Johnson), Stanford University Press, Stanford, CA, 1961.
- [3] Schunk, R. W., Nagy, A. F.: Ionospheres. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- [4] Kasha, M. A.: The Ionosphere and its Interaction with Satellites. Gordon and Breach, New York, 1969.
- [5] Fleagle, R. G., Businger, J. A.: An Introduction to Atmospheric Physics. Academic Press, New York, 1963.
- [6] Jastrow, R., Pearse, C. A.: Atmospheric drag on the satellite. J. Geophys. Res., 62, 413–423, 1957.
- [7] Germantsev, C. G., Denisov, N. G.: Concerning an effect during measurement of electron concentration in the ionosphere by the antenna probe method (in Russian). Geomagn. Aeronomiya, 2, 1962. pp.691–693.
- [8] Jackson, J. E., Kane, J. A.: Measurements of ionospheric electron densities using an R. F. probe technique. J. Geophys. Res., 64, 1959., pp.1074–1075.
- [9] Jackson, J. E., Kane, J. A.: Performance of an R. F. impedance probe in the ionosphere. J. Geophys. Res., 65, 1960., pp.2209–2210.
- [10] Whale, H. A.: Ion sheath effects near antennas radiating within the ionospheres. J. Geophys. Res., 69, 1964., pp.447–455.

# Precíz valós idejű műholdas helymeghatározás: az első DGPS megoldástól az EUPOS-ig

BORZA TIBOR, FEJES ISTVÁN, HORVÁTH TAMÁS

FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatórium  
horvath@gpsnet.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** GNSS, EUPOS, valós idejű műholdas helymeghatározás

*Kizárólag a műholdas helymeghatározó rendszerekre (GPS, GLONASS, Galileo) támaszkodva, a helymeghatározást csak több méter hibával lehet végezni. Természetes vágya volt a felhasználóknak, hogy egyesítsék a valós idejű navigáció hatékonyságát az utólagos feldolgozású geodéziai pontossággal. Ezt az igényes célt még kevés országban valósították meg. Nálunk – 14 közép- és kelet-európai országgal együtt – az EUPOS projekt keretében, fejlesztés alatt áll.*

## 1. Bevezetés

Akik kevésbé járatosak a GPS technikában, könnyen zavarba jöhetnek, ha a műholdas helymeghatározó rendszerek pontosságáról esik szó. Hallható egyrészt, hogy egyetlen vevővel csak több méteres pontosságot lehet elérni, ugyanakkor találkoznak milliméter pontos mozgásvizsgálatokról szóló információkkal is. A tisztánlátás érdekében vázlatosan ismertetjük az egyes mérési technikákat és a velük elérhető pontosságot.

*Abszolút meghatározást* végzünk, amikor egyetlen vevőt használunk. Ez esetben a pozíciót közvetlenül a műholdak ismert helyzetéből kapjuk valós időben. Abszolút meghatározásra minden vevő képes, erre a feladatra hozták létre a rendszert. Az abszolút meghatározás pontossága attól függően, hogy milyen rendelkezésre állást szabunk meg 5-15 méter (például 99%-os rendelkezésre állásnál, 100 mérésből mindössze egy esetben megengedett a kívánt pontosságtól nagyobb eltérés).

A pontosság növelésének leghatékonyabb módja a *relatív mérési technika*. Ilyenkor a pozíció meghatározást a korábban már nagy pontossággal meghatározott, referencia pontokra támaszkodva végezzük. Amilyen mértékben rövidebb a referencia- és a meghatározandó pontok távolsága, olyan mértékben csökken a meghatározás hibája.

A szélső pontosságú, utólagos feldolgozással végzett relatív méréseket mellőzve, koncentráljuk a relatív, más szóval differenciálisan végzett valós idejű mérésekre. A valós idejű meghatározásnál alapfeladat a referencia-állomáson mért és számított korrekciók azonnali eljuttatása a mozgó vevőkhöz. Ezekkel a korrekciókkal javítjuk meg a mozgó vevő által végzett abszolút méréseket.

Megkülönböztetjük a robusztusabb, de méteres pontosságú kód mérésre alapozott DGPS és a kényesebb, fázismérést használó centiméteres pontosságú RTK technológiát. A DGPS technikát a 80-as évek végén, főleg a hajók partmenti navigálásához vezették be, mára a használata teljesen általános. Az RTK nagy pon-

tosságát a földmérés, a mezőgazdaság, és számos térinformatikai feladat igényli. Kezdetben a referencia-állomások a felhasználók biztosították maguknak egy plusz műszer és mérnök beállításával, valamint a referencia- és a mozgó vevő közötti rádiós kapcsolat létrehozásával. Mindez jelentős költséget és nehézséget jelent, ezért országos szinten kézenfekvő a központi kiegészítő rendszer létesítése.

Világszerte elkezdődött tehát a referencia-állomások központi telepítése és országos hálózatba szervezése. A központilag létrehozott szolgáltatás fenntartása értelemszerűen nem csupán gazdaságosabb, mint az egyedi önkiszolgálás, de megbízhatóbb is.

A referencia-állomások hálózatát, a méréseket fogadó, és a felhasználók igényeit kielégítő szolgáltató központot együttesen kiegészítő rendszernek, illetve GNSS infrastruktúrának nevezzük. Az alaprendszerekre (GPS, GLONASS, Galileo) végzett valós idejű abszolút meghatározást, fejlett kiegészítő rendszer használatával egészen a centiméteres pontossáig fel lehet javítani, miközben az egy vevővel végzett navigálás komfortja megmarad.

## 2. GNSS kiegészítő rendszerek

A GNSS alaprendszerek képességének feljavítására először műholdakra alapozott megoldások születtek. Innen származik a „Satellite Based Augmentation Systems” – SBAS elnevezés is. A magántőke is felfigyelt a lehetőségre és már a 90-es évek végén világszintű szolgáltató SBAS rendszereket építettek ki (ilyen például az OmniStar).

Később központilag finanszírozott, kontinentális rendszereket is üzembe állítottak, ilyen például a WAAS az amerikai kontinens, vagy az EGNOS Európa térségében. Az EGNOS rendszerrel műholdas kommunikációt alkalmaznak geoszinkron hold felhasználásával, melynek jeleit Magyarország területéről eléggé kedvezőtlen, alacsony magassági szög alatt lehet csak venni. SBAS rendszerekkel a pontosság is korlátozott.

Ezen hátrányok kiküszöbölésére gyakorlatilag minden ország igyekszik saját, földi kommunikációra alapozott kiegészítő rendszert építeni, amely ha megfelelő sűrűségű referenciaállomás-hálózattal rendelkezik, a legprecízebb felhasználói igények kielégítésére is alkalmas.

### 3. Az Állami Földmérés fejlesztései

A magyarországi országos GNSS kiegészítő rendszert az Állami Földmérés keretében a Földmérési és Távérzékelési Intézet építi (1. ábra). A fejlesztéseknek nagy lendületet adott 2002-ben az OMFB-től nyert támogatás. A gpsnet.hu honlapon találjuk a FÖMI Kozmikus Geodéziai Observatóriumában üzemelő *Országos GNSS Szolgáltató Központ* on-line elérését.

A már öt éve épülő szolgáltató rendszer – a realitásoknak megfelelően – mindössze 12 állomás üzembeállítását célozta meg, amiből már csak kettő hiányzik. Ez a hálózat a 100 km-es sűrűségével még nem alkalmas a centiméter-pontos valós idejű helymeghatározásra az ország teljes területén, ahhoz 40-70 km sűrűségben kell az állomásokat telepíteni (Párhuzamosan a 12 állomás építésével – elsősorban Budapest környezetében – elkezdjük a hálózat sűrítését is, a későbbiekben ismertetett EUPOS által előírt szintre. Ennek tudható be, hogy jelenleg már 17 állomás üzemel.).

Újabb lökést adott a fejlesztéseknek 2004-ben a KPI által kezelt GVOP pályázat, amely Budapest tágabb környékét lefedve, egy pilot projekt végrehajtását célozta meg, sűrűbb hálózattal. Ez a 2006-os év végéig kiépülő rendszer sok tekintetben része a – tervek szerint az egész országot, sőt a régiót lefedő – nemzetközi EUPOS programnak.

### 4. Az EUPOS kezdeményezés

Az EUPOS (European Position Determination System) egy olyan földi bázisú GNSS kiegészítő rendszer, mely Európában regionális szinten biztosítja a valós idejű korrekciókat minden olyan felhasználó számára, akinek precíz helymeghatározásra, vagy navigációra van szüksége. A „precíz” jelző alatt a szub-méterestől egészen a centiméteres pontosságot értjük. Nem valós időben, úgynevezett utófeldolgozással, elérhető a milliméteres pontosság is.

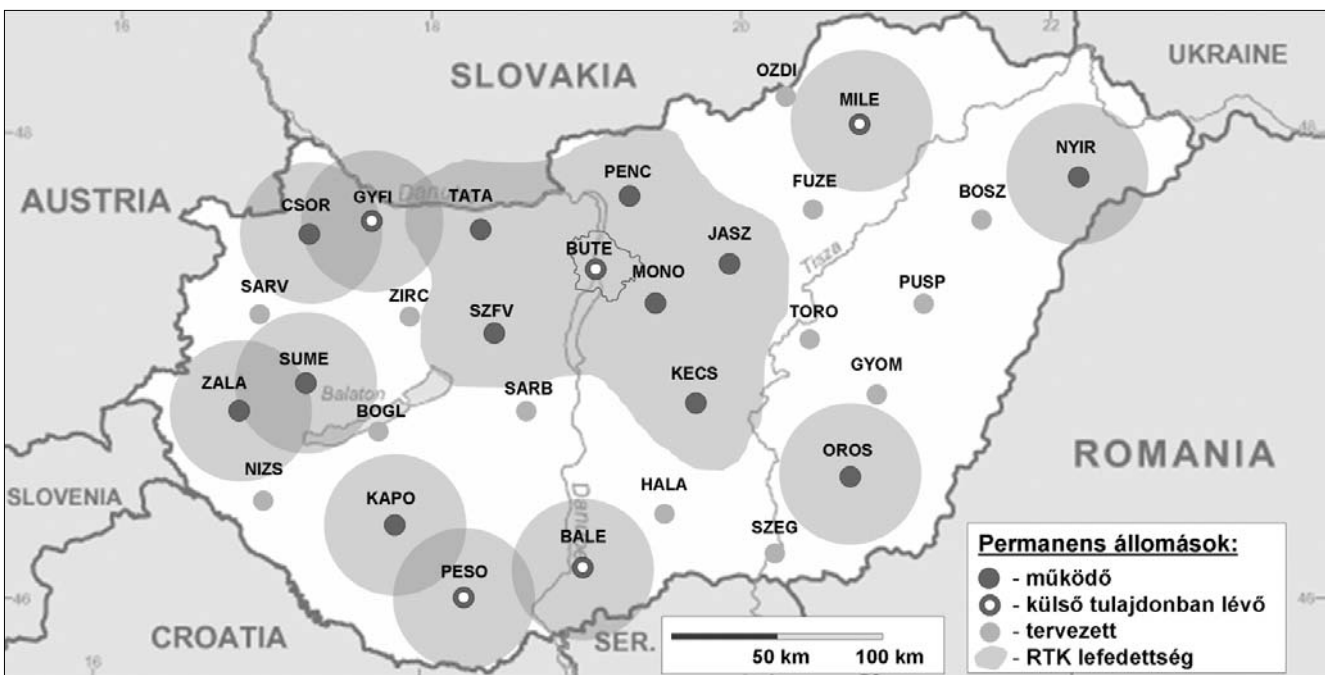
Technikailag egységes szempontok alapján kiépített, GNSS vevőket folyamatosan működtető, földrajzilag jó eloszlású állomáshálózatra épül. Az állomásoknak adatátviteli kapcsolatban kell állnia egy olyan központtal, ahol a korrekciók előállítására és a felhasználók felé való továbbítása történik (2. ábra).

A projekt német kezdeményezésre indult 2002-ben, felhasználva a németországi SAPOS földi bázisú GNSS rendszer kedvező tapasztalatait. Magyarországról kezdettől fogva részt veszünk az EUPOS előkészítésében, amivel kapcsolatban több szakmai munka is született [1].

Az EUPOS fő jellemzői röviden összefoglalva [2]:

- *Regionális rendszer* – eddig 14 ország csatlakozott az EUPOS-hoz, szomszédaink közül, Szlovákia, Ukrajna, Románia, Szerbia és Szlovénia;
- *Határokon átvívelő adatcsere*, ami jelentős beruházási és működési megtakarítást eredményez ahhoz képest, mintha minden ország önálló rendszert építene ki;
- *Közösen elfogadott szabványok* az adatátvitelben, adatformátumokban, a rendszer-követelményekben, ami lehetővé teszi a felhasználók határokat átszelő mozgását;

1. ábra A GPSNET.HU kiegészítő rendszer jelenlegi és tervezett referencia-állomásai



- *Egységes, nemzetközi referencia-rendszer.*  
A pozíció adatok az European Terrestrial Reference System (ETRS 89)-re vonatkoznak;
- *99%-os területi és időbeli rendelkezésre állás;*
- *3 típusú díjfizetéses szolgáltatás: EUPOS DGNSS, EUPOS Network RTK és EUPOS Geodetic.*  
Ezek a szolgáltatás típusok a felhasználói igények és költséghatékonyság alapján választhatóak;
- *Szigorú minőség-ellenőrzés, a rendszer integritásának magas fokú biztosítása.*

A szervezeti struktúrára a megosztott felépítés jellemző. Bár a koordináló és a vezetést képviselő iroda (az ISCO) Berlinben működik, az EUPOS kiépítése és működtetése az egyes résztvevő országok feladata. Ezért országonként „EUPOS szegmensek” kiépítése folyik, ki-k a maga képességei és anyagi erőforrásai szerint. Ezt a feladatot az EUPOS Szolgáltató Központok látják el, amelyek további feladatai közé tartozik a kapcsolatok kiépítése (tartása) az adatszolgáltatók, és a felhasználók felé. A 3. ábrán a Magyar EUPOS Szolgáltató Központ kapcsolatrendszerét mutatjuk be a nemzetközi, az állami, a magán szolgáltatói szervezetek és a felhasználói csoportok vonatkozásában.

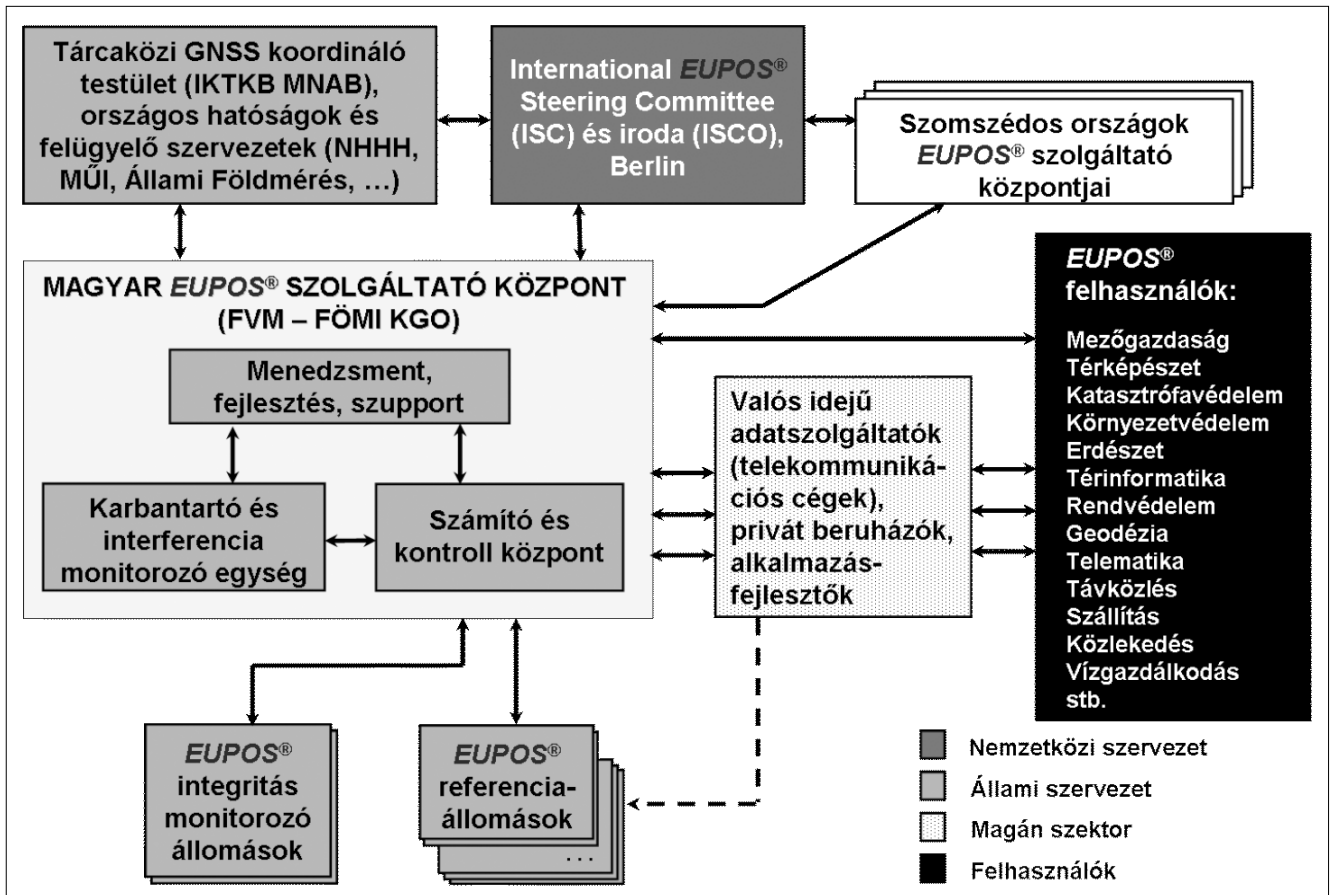
Az EUPOS rendszer három szolgáltatása különböző felhasználói csoportokat céloz meg. Számukra különböző formátumban és úton juttatja el a referenciaállomás-hálózatból származó információkat.

Azoknak, akiknek elegendő a helymeghatározás eredményét utólag megkapni (például tektonikus leme-



2. ábra  
Az EUPOS kiépítés alatt levő állomáshálózata

3. ábra  
Az EUPOS tervezett magyarországi szervezeti felépítése [3]



zek mozgásvizsgálata, egyes geodéziai alkalmazások) áll rendelkezésére az EUPOS Geodetic szolgáltatás. Itt a referencia-állomásokon rögzített adatfájlokhoz lehet hozzáférni egy központi FTP szerveren keresztül. A szerverről 1 órás és 24 órás szabványos fájlokat lehet letölteni, amelyeket a felhasználók irodai feldolgozás során tudnak alkalmazni. Ezzel a technológiával érhető el a legnagyobb (milliméteres) pontosság, de csak a mérést követően némi késéssel.

Azoknak, akiknek valós időben (azonnal, már mérés közben) szükségük van a helymeghatározás eredményére (például gépvezérlés, kitűzés, precíz navigáció) két lehetőségük van. Az EUPOS DGNSS szolgáltatás differenciális korrekciókat továbbít a kisebb pontosságigényű (szubméteres) alkalmazások számára, míg az EUPOS Network RTK szolgáltatás lehetővé teszi a centiméteres pontosság elérését, valós időben, a lefedettségi területen belül bárhol. Mindkét valós idejű szolgáltatás esetében a referenciaállomás-hálózatból gyűjtött adatok alapján egy központi feldolgozó egység számít korrekciókat.

Az EUPOS DGNSS olcsóbb, néhány százezer Ft-os felhasználói GPS vevőt igényel, míg a nagyobb pontosság eléréséhez jóval drágább, több millió Ft értékű felhasználói eszközre van szükség.

Az adattovábbítás több úton történhet, de minden esetben folyamatos kommunikációs kapcsolatra van szükség a szolgáltató és a felhasználó között. Az elsődleges adatátviteli médium az Internet. A korrekciókat egy központi Internet szerver (NtripCaster) továbbítja a felhasználók számára, akik terepen dolgozva valamilyen mobil telekommunikációs szolgáltatást (GPRS, EDGE, UMTS) igénybe véve Internet kapcsolatot létesítenek, és folyamatosan töltik le a korrekciós adatokat [4]. Az EUPOS nem kötelező szabványként tartalmazza az URH rádiós adattovábbítást is.

Hazánkban jelenleg az Interneten keresztül történik a korrekciósugárzás, 2004 óta üzemel a Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumban egy Internet szerver, ami párhuzamosan gyakorlatilag korlátlan számú felhasználó számára teszi hozzáférhetővé a korrekciókat, jelenleg még ingyenesen. Az internetes kommunikáció nagy előnye, hogy olcsó. Az Internet, mint rendelkezésre álló infrastruktúra mellett a szolgáltatónak nem kell saját kommunikációs hálózatot kiépíteni. További előnye, hogy a jelenleg kapható professzionális GPS vevők döntő többsége képes közvetlenül kapcsolódni az Internetre és hozzáférni a korrekciókhoz, vagyis a felhasználóknak GPS vevőjükön kívül nem kell további hardver eszközöt beszerezni. A módszer hátránya abból adódik, hogy Magyarországon még nem mindenhol van GPRS lefedettség. Lakott területen kívül (például erdőben) előfordulhat, hogy a felhasználó nem tud hozzáférni a korrekciókhoz.

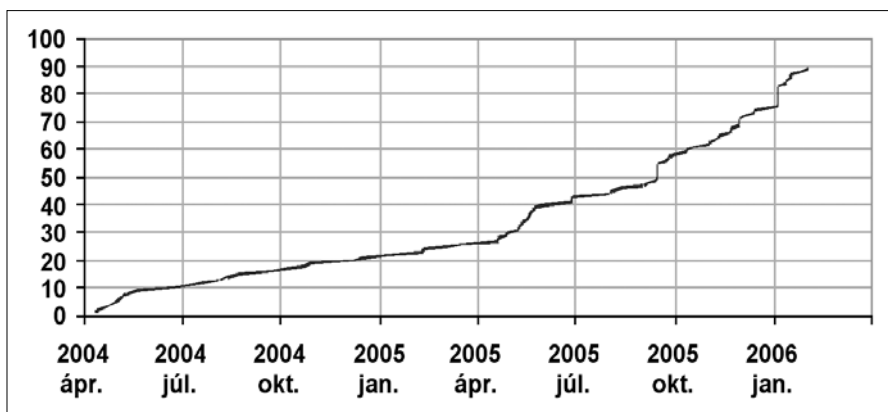
Magyarországon az eddig kiépített összesen 17 db permanens GPS referencia állomás az EUPOS Geodetic és az EUPOS DGNSS szolgáltatások elindításához gyakorlatilag elegendő. Az EUPOS Hálózati RTK szolgáltatás országos rendelkezésre állásához további mintegy 13 állomás beüzemelése szükséges. Az összesen 30 állomásból álló tervezett hálózat már elegendően sűrű lesz ahhoz, hogy bárhol lehetőség legyen centiméteres pontosságú valós idejű műholdas helymeghatározásra.

A Budapest környéki pilot projekt abból a célból indult, hogy megkezdődhessen a legfejlettebb infrastruktúra (Hálózati RTK) tesztelése és bevezetése hazánkban. Amint az 1. ábrán látszik, a hálózat Budapest környékén jóval sűrűbb az átlagosnál. A rendszer tesztelése 2005-ben kezdődött és jelenleg is tart. Méréseink azt bizonyították, hogy a lefedettségi területen belül (tehát Budapest környékén) bárhol, függetlenül az állomásoktól való távolságtól, valósággá vált a centiméteres helymeghatározás.

A 2005-ös évben külső partnereink finanszírozásában több új állomást sikerült beüzemelni, köztük hármat a nyugati országrészben. Így 2006 közepére szeretnénk kiterjeszteni a Hálózati RTK lefedettséget az ország területének több, mint felére (a Jászberény-Kecskemét vonaltól nyugatra lévő országrészre). 2006 folyamán számos tesztet fogunk végezni, amelyekbe immár felhasználóinkat is bevonjuk.

A jelenlegi szolgáltatások annyiban térnek el az EUPOS szabványban definiáltaktól, hogy az időbeli és térbeli rendelkezésre állás még nem éri el a 99%-ot. Ahhoz, hogy a nap 24 órájában, a hét minden napján elérhető legyen a szolgáltatás, hálózati fejlesztésekre, tartalék szerverek beüzemelésére és folyamatos ellenőrzésre/szupportra van szükség. A minőségi szolgáltatás bevezetése és fenntartása szükségessé teszi a Kozmikus Geodéziai Obszervatórium személyi állományának bővítését. A térbeli lefedettséghez elengedhetetlen a további hálózatsűrítés. Az ország nagyobb részén jelenleg még nincs Hálózati RTK, ott a valós idejű centiméter pontosságú helymeghatározás még csak a referencia-állomások 40-50 km-es környezetében lehetséges.

4. ábra  
A valós idejű GNSS korrekciós szolgáltatás felhasználóinak száma





A kiépítés jelenlegi fázisa mellett feltűnő, hogy máris közel 90 cég és magánszemély regisztrálta magát a valós idejű korrekciós szolgáltatás eléréséhez (4. ábra).

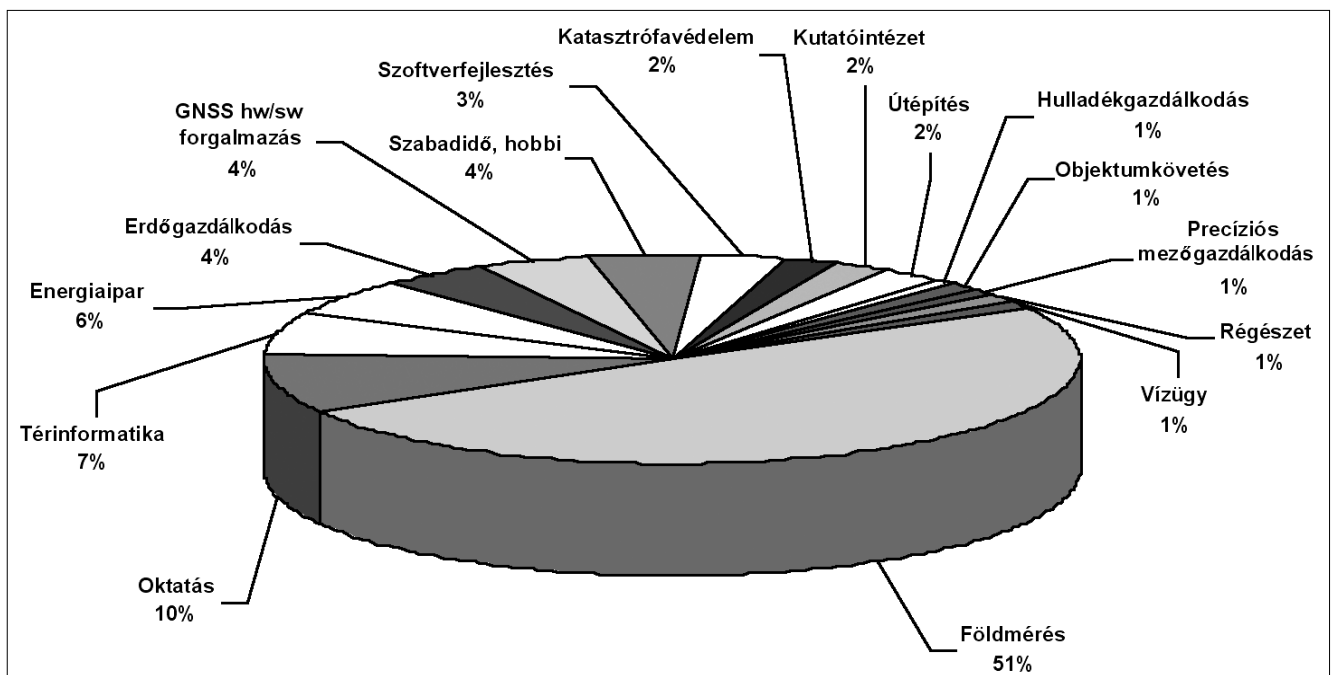
A felhasználók fele földmérő, mellettük ugyanakkor megjelent a más ágazatokból érkező felhasználók széles skálája is (5. ábra). A regisztrált kliensek döntő többsége professzionális felhasználó, ennek megfelelően a nagy pontosságú Hálózati RTK korrekciókat igényli. Kevesebben, elsősorban térinformatikusok, térképészek, erdészek stb. használják a szubméteres pontosságú differenciális korrekciókat.

Megfigyelhető, hogy az elmúlt évekhez képest viszszaeszközölőben van az igény az utólagos feldolgozáshoz szükséges adatokra. Ez a világszerte tapasztalható tendencia az Internetes (és műholdas) korrekcióváltás robbanásszerű elterjedésének köszönhető. A jövőben vélhetően döntően csak kutatási célra fogják az utólagos feldolgozást alkalmazni, ahol az egyes hibahatásokat tökéletesen modellezve szélső pontosságra törekcsenek.

A hazai EUPOS hálózat fejlesztéssel párhuzamosan ösztönözzük felhasználóinkat, hogy az EUPOS szolgáltatásokra épülő speciális alkalmazások fejlesztésébe fogjanak. Nyugat-Európától Észak-Amerikán keresztül Japánig és Ausztráliáig számos helyen már sikerrel használnak hasonló GNSS földi kiegészítő infrastruktúrákat munkagépek vezérlésére, precíziós mezőgazdasági alkalmazásokhoz, a vízgazdálkodásban, közműépítésben és -nyilvántartásban, út- és vasútépítésben, a közlekedésbiztonság fokozásában stb.

Az EUPOS rendszer teljes kiépülése Magyarországon is mérőföldkőnek számít majd a nagy pontosságú műholdas helymeghatározás történetében.

5. ábra  
A valós idejű GNSS korrekciós szolgáltatás felhasználóinak besorolása (2006. február)



## 5. Összefoglalás

Az abszolút műholdas helymeghatározás pontossága geodéziai célokra nem alkalmas. A világon egyre jobban terjedő földi kiegészítő állomáshálózatok támogatásával több nagyságrenddel növelhető az elérhető pontosság. Az évtized elejétől hazánkban is egyre gyorsuló ütemben halad a földi referenciaállomás-hálózat kiépítése. Csatlakoztunk a regionális EUPOS rendszerhez, amely Közép-Kelet Európában egységes szolgáltatásokat nyújt majd a professzionális GNSS felhasználóknak. A cikk bemutatta a hazai kiegészítő rendszer technikai és szervezeti felépítését, valamint felhívta a figyelmet a nagy pontosságú műholdas helymeghatározásra támaszkodó alkalmazási lehetőségekre.

### Irodalom

- [1] Borza T., Fejes I., Galambos I., Horváth T., Kenyeres A.: EUPOS megvalósítási tanulmány. IHM-MŰI megbízásból a Földmérési és Távérz. Intézet, Koszmikus Geodéziai Obszervatórium, Penc, 2005.
- [2] EUPOS® Standard Summary (2003): Topicality June 11, 2003. Resolution of the International EUPOS® Steering Committee 3rd Conference, Riga, Latvia, 1st Edition, September 8, 2003.
- [3] Fejes I., Horváth T. (2004): „A Magyar EUPOS® Szolgáltató Központ” Rendszerterv. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Koszmikus Geodéziai Obszervatórium, Penc, 2004.
- [4] RTCM Special Committee No. 104. (2004): „RTCM Recommended Standards for Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip), v1.0”, Radio Technical Commission For Maritime Services (RTCM), Arlington, Virginia, September 30, 2004.

# Adatgyűjtő és vezérlő számítógép a Nemzetközi Űrállomás Obsztanovka kísérletéhez

BALAJTHY KÁLMÁN, ENDRŐCZI GÁBOR, DR. NAGY JÁNOS  
KFKI Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézet, {balajthy, endrocz, nagyjz}@rmki.kfki.hu

HORVÁTH ISTVÁN, LIPUSZ CSABA, DR. SZALAI SÁNDOR  
SGF Kft., {horvath, lipusz.csaba}@freemail.hu, szalai@sgf.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** Nemzetközi Űrállomás, Plazma, SGF, KFKI RMKI, PC/104, valós idejű Linux, beágyazott, LabWindows, adatgyűjtő

Az „Obsztanovka” (angol nevén Plasma Wave Complex – PWC) mérőrendszer a Nemzetközi Űrállomás orosz moduljára kerül. Célja, hogy részletesen vizsgálja a magnetoszférában és az ionoszférában végbemenő elektromágneses jelenségeket és az extrém nagy űrjárműveknek az ionoszférával történő kölcsönhatását. A KFKI RMKI kutatói egy adatgyűjtő és vezérlő számítógép rendszer létrehozásával vesznek részt a kísérletben. A három processzorból álló rendszer minden processzorán valós idejű, sokfeladatos Linux alapú operációs rendszer fut. Az SGF Kft. a földi ellenőrző berendezéseket készíti, amely egy jel-szintű szimulátor egységből és a grafikus kezelői felületet biztosító PC-ből áll.

## 1. Bevezetés

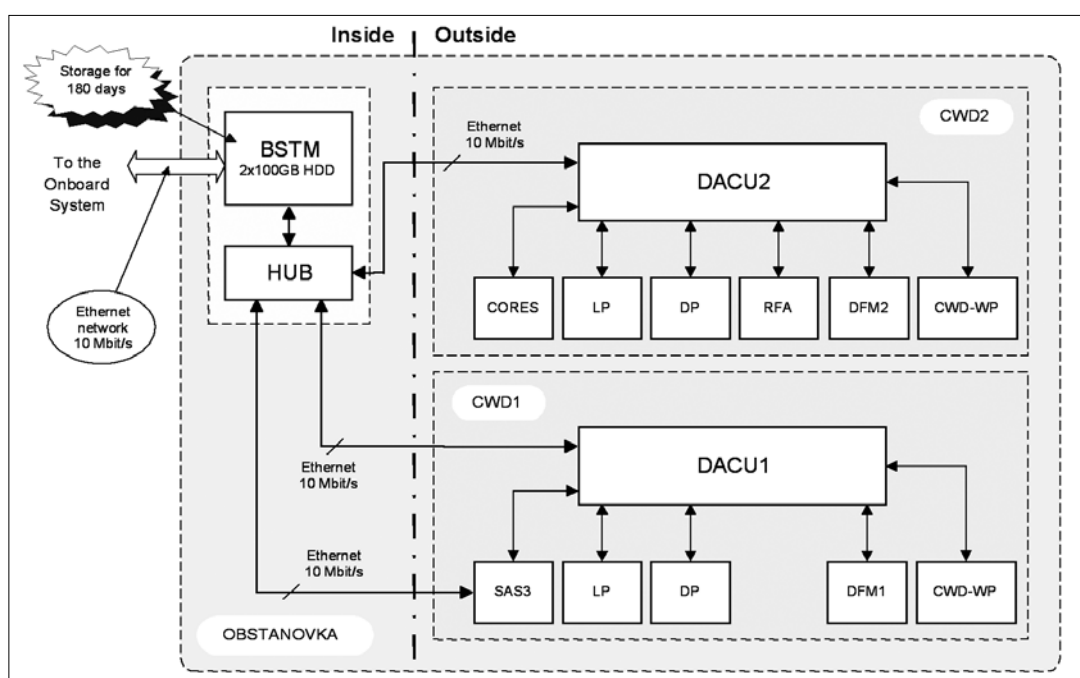
A Föld körül keringő Nemzetközi (International Space Station, ISS) első moduljait 1998-ban állították pályára. Az Űrállomás két nagyobb egységből, amerikai és orosz modulból áll. Ezek fejlesztése ma is folyik és az orosz modulra kerül az „Obsztanovka” (Plasma Wave Complex) mérőrendszer. Az PWC célja a magnetoszférában és az ionoszférában végbemenő elektromágneses jelenségeknek, és az extrém nagy űrjárműveknek az ionoszférával történő kölcsönhatásának a vizsgálata.

A kísérlet orosz, ukrán, svéd, lengyel, bolgár, angol, magyar kutatócsoportok együttműködésével kerül megvalósításra, amelynek keretében összesen 11 érzékelő egység, – egy részük kettőzve – készül az űrfizikai jelenségek tanulmányozására. Az ELTE a SAS3 érzékelő egységet fejleszti. Az egységek az ISS külső felüle-

tén, két konténer egységben kerülnek elhelyezésre. A mi feladatunk a 11 érzékelő vezérlése és a tőlük érkező adatok fogadása, tárolása és ehhez egy adatgyűjtő és vezérlő számítógép fejlesztése, létrehozása. A számítógép fejlesztését és tesztelését támogató szimulációs környezetet az SGF Kft. fejleszti.

A fontosabb feladatok a következők:

- Az ISS fedélzeti vezérléséről Ethernet buszon érkező utasítások és adatok (idő, koordináta) fogadása.
- Fedélzeti energiaellátás műszerekre juttatása, azok ki/bekapcsolása és működésük vezérlése.
- A további kiértékeléshez a 11 műszer felől érkező mérési adatok tárolása.
- A rádiókapcsolatok – engedélyezett ideje – alatt a megfelelő mérési adatok továbbítása.



1. ábra  
A PWC kísérlet  
funkcionális  
blokkvázlata

## 2. Hardver ismertetés

A feladat megoldása során az űrbeli alkalmazás miatti fokozott megbízhatósági igényeket is teljesíteni kell. A tömeg, a méret és a teljesítményfelvétel korlátozott, ugyanakkor egy űrkutatási berendezésnek extrém körülményeket kell elviselnie, fokozott mechanikai igénybevételt (az indítás során fellépő rezgést, gyorsulást) és üzemelnie kell vákuumban széles hőmérsékleti tartományban (-400°C-tól +800°C-ig).

A fejlesztése során a PC/104-Plus ipari szabványú kártyák alkalmazását választottuk. A PC104-Plus kártyák mérete 95,9 x 90,2 mm, és egy kártya súlya a rajta elhelyezett áramköri elemekkel együtt 100-120 gr között van. A PC/104-Plus szabvány az ISA PC illetve a PCI PC szabványú buszokat használ. Az általunk már jól ismert szabványos busz alkalmazása megkönnyítette az egyedi kártyák fejlesztését.

Az általunk fejlesztett adatgyűjtő és vezérlő számítógép rendszer három processzort tartalmaz (1. ábra). Egységeit a BSTM, DACU1 és DACU2 mozaik szóval jelöljük az angol név rövidítés alapján. A központi adatfeldolgozó egység a BSTM (Block of Storage of Telemetry Information Unit) az ISS belső terében van, ahol az űrhajósok tartózkodnak, és az űrállomás külső oldalán elhelyezett DACU1 és DACU2 (Data Acquisition and Control Unit) egységekkel kommunikál.

Az érzékelő műszerek a CORES, LP, DP, RFA, DFM2, CWD-WP és a SAS3, LP, DP, DFM1, CDW-WP nevű egységek, amelyek az ISS falán kívül a CWD1 és CWD2 jelű egységekbe (konténerekbe) kerülnek.

A tudományos kísérletek és a mozaikszavak értelmezése a <http://www.iki.rssi.ru/obstanovka> weboldalon megtalálható. A műszerek némelyike átmeneti tárolóval rendelkezik, és a különböző méresectől érkező adatmennyiség változó.

A BSTM és DACU1, DACU2 egységek mindegyike tartalmaz egy-egy PC/104-Plus buszvezérlő Intel Pentium kompatibilis processzor kártyát. A BSTM és a fedélzet között, illetve a BSTM és a DACU-k között 10 MHz-es Ethernet buszon történik a kommunikáció. Az Ethernet buszon csatlakozik a BSTM-hez a SAS műszer is, ami jelentős adatmennyiséget generál és azt csomagban, „burst-ökben” továbbítja.

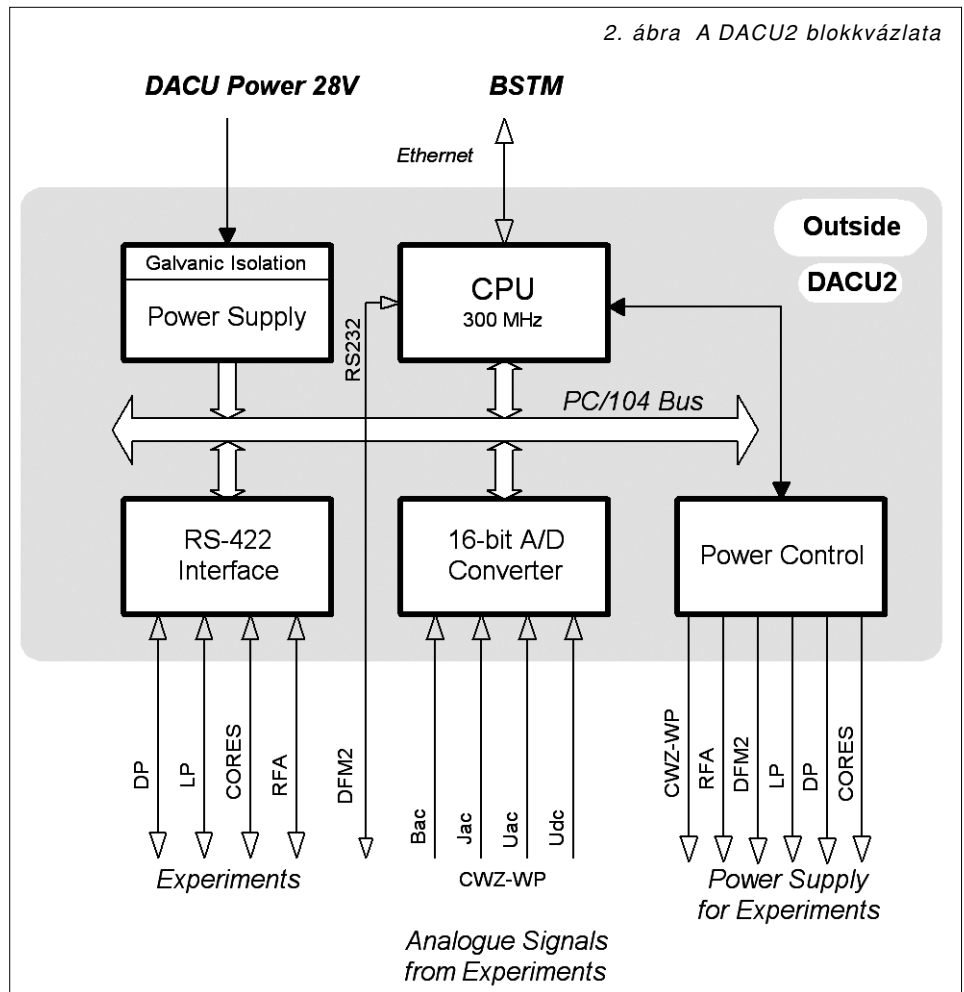
A többprocesszoros rendszer alkalmazását több körülmény indokolta:

1. Mint említettük, a kísérleti műszerek fizikailag két külön konténerben foglalnak helyet, az űrállomás külső falának egymástól távoli pontjain. Ezek jeleit zavarvédelmi szempontból célszerű lehetőleg rövid kábeleken a processzorhoz vezetni.

2. A két műszercsoportban keletkező adatok feldolgozása változó intenzitású feldolgozást igényel. Külön feldolgozó processzor elegendő számítási tartalékot biztosít legnagyobb terhelésnél is.

3. A megbízhatóság is két külön processzor alkalmazását indokolja, mert ha az egyik csoport processzora meghibásodik, nem befolyásolja a másik csoport működését.

A PC/104 busz vezérlésére számos gyártó az AMD Geode processzor család valamelyik tagját alkalmazza. A Geode processzorok Intel Pentium kompatibilisek, amelyek között gyártanak kiterjesztett hőmérsékleti tartományban (-40°C-tól +80°C-ig terjedő) üzemképesséket és az AMD chipset-je a PC/104 és a PC/104-Plus interfész illesztését támogatja. A buszt vezérlő processzor kártyát külső szállítótól választottuk ki, ezáltal a rendszer fejlesztése jelentősen lecsökken. A kiválasztott processzor kártya 300 MHz órajelű és a PC/104 buszon kívül egyéb interfészek is találhatóak: USB, Ethernet, RS 232, RS 422, SVGA.



### A BSTM feladatai

Az ISS fedélzeti telemetriájával a kapcsolattartás és a mérési adatok tárolása. A fedélzetről az egyes műszerek be/kikapcsolásával és üzemelésével kapcsolatos parancsokat fogadja, az energiaellátást vezérli, két HDD-n tárolja óránként lezárt fájlokban az egyes műszerektől érkező adatokat és az egyes műszerek működési állapotát jellemző úgynevezett „housekeeping” (áramfelvétel, hőmérséklet, üzemmód, nyomásérték a CORES-ben, érzékelők kinyitott/bezárított állapota stb.) adatokat továbbítja a fedélzeti telemetria felé. A BSTM lehetővé teszi esetleges szoftver módosítások letöltését is. Mivel a Föld felé rendelkezésre álló átviteli csatornák kapcsolata időben (rádió „láthatóság”) korlátozott, továbbá más fedélzeti berendezések is használják, ezért a PWC teljes mérési adatfolyamát a HDD-ék mintegy félévenkénti cseréjével, és azoknak az űrhajósokkal együtt a Földre történő szállításával valósítják meg.

### A DACU egységek feladatai

Az egyes műszerek számára reléken keresztül, a BSTM-től érkező utasításoknak megfelelően az energia továbbítása, a műszerek vezérlése, azoknak utasítások küldése és a mérési adatok fogadása. A DACU-k és a műszerek között igyekeztünk egységes interfész felületet alkalmazni. A műszerek többségétől az adatokat soros, RS-422 differenciális buszon fogadjuk. Az RS422-et jó zavarvédelem jellemzi, és mivel a buszon kis áramok folynak, a kísérletek egymásra hatása nem számottevő (2. ábra). Néhány műszer, a két CWD-WP és a DFM1 analóg adatokat szolgáltat több analóg kimeneten, amelyeket változó mintavételi sebességgel mintavételezzük és a DACU-k digitalizálják. Az analóg adatok mintavételezését a DACU-k vezérlik, az adatokban történő jelentős változásokat felismerve (esemény történt) néhány Hz-től 33 kHz-ig.

## 3. A beágyazott processzorok operációs rendszerének összeállítása

Az operációs rendszer kiválasztásakor funkcionális elvárásokat és az üzemszerű környezethez kiválasztott hardver elemek adottságait kellett figyelembe venni. A rendszereink kialakításához kiindulásként a SuSE Linux-ot választottuk. A használni tervezett kártyák gyártói a 2.4.19-es kernelt és a hozzá való drivereket (szoftver meghajtókat) ajánlották a használni tervezett kártyáinkhoz. Ez a kernel verzió van a SuSE Linux 8.1-ben is. A kézikönyve szerint a SuSE 8.1 1,2 GB-át-ra már telepíthető. A grafikus felhasználói felületet a beágyazott real-time Linux kialakításához nem is volt szükséges, mert a fejlesztéseket karakteres üzemmódban végeztük. A minimális grafikus funkciók telepítésére mégis sor került, hogy a kernel konfigurálásakor 'make menuconfig'-ot lehessen használni.

A fejlesztői környezetben a gépek tartalmaztak egy 40 GB-os merevlemezt. Ezt három részre osztottuk

(partícionáltuk). Ebből 30 GB lett a Linux partíció (83-as system id), 500 MB a swap (82-as system id), és 9,5 GB-ot kapott az NTFS (7-es system id). A kártyák gyártói rendszeresen DOS-hoz, Windows-hoz való tesztprogramokat illetve drivereket adnak. Ezek használatához szükség volt Windows-ra illetve DOS-ra

SuSE 8.1 telepítése után kaptunk egy rendszert, amelyik több GB helyet foglal el a merevlemezen, amelyeknek a /dev/hda2-n van a swap területe, és a /dev/hda3-ról töltődik be. Az e100 driver kezeli az alaplap Ethernetet, amely kapcsolatban van a külvilággal, ssh-val (secure shell) be lehet rá jelentkezni távolról, és scp-vel (secure copy) lehet rá és róla fájlokat másolni, de ez nem real-time. A real-time Linux-ot a www.kernel.org-ról letöltött a 2.4.19-es kernel forráskódjának kijavításával (patchelésével) állítottuk elő. Az eljárást az a FSMLabs készítette, erről további információ az www.fsmlabs.com oldalon található.

A következő feladat a legszükségesebb rendszerkomponensek kiválasztása volt, mert a berendezésekben csupán 128 MB-os diszk kapacitás áll rendelkezésre. Jelentős időt igényelt, amíg össze tudtuk válogatni a feltétlen szükséges komponenseket egy olyan real-time Linux verzióhoz, amelyik kevés helyet foglal el és marad annyi szabad memória, amennyi a mérési adatok kezeléséhez szükséges.

## 4. A földi ellenőrző berendezés

Az űrkutatási műszerek ellenőrző-berendezései (Electrical Ground Support Equipment, EGSE) feladata a távvezérlést megvalósító parancsok kiadása, a távmérés adatainak a fogadása és ezen adatfolyam megjelenítése a kísérletezők számára. A hagyományos vezérlő és adatgyűjtő rendszerek három feladatot látnak el: adatgyűjtés, vezérlés és megjelenítés.

A számítógépekre alapozott vezérlő és adatgyűjtő rendszerek tervezése során a feladatokat a kiszolgálás lehetséges késleltetése (áthelyezése) alapján célszerű rangsorolni. Általában a legnagyobb adatfolyam, az érzékelők által szolgáltatott információ, amely a számítógép számára véletlenszerűen vagy szabályos időközönként megjelenő bájttal vagy bájtok folyamata. Alapvető feladat ezek adatvesztés nélküli tárolása. Ezekben a rendszerekben a vezérlési feladat emberi beavatkozás eredménye vagy előre letárolt vezérlőjelek kiadása. Ezek többnyire viszonylag kis adatfolyamot jelentenek, és ahogyan az emberi beavatkozás a tized-, illetve másodperces tartományba esik úgy az automatikus vezérlő jelek esetén is többnyire megengedhető ilyen időtartományú beavatkozási késleltetés.

A mért adatok megjelenítése a kezelői felületen minden komolyabb következmények nélkül elvisel kisebb nagyobb késleltetést. Továbbá a TM adatfolyam grafikus megjelenítése jelentős processzor idő lefoglalást jelenthet, ezért e feladat prioritását célszerű alacsony szinten tartani. Átmeneti megjelenítés-kimaradás a működés megítélése szempontjából nem jelent pótolhatat-

lan információvesztést, ha az adattárolás folyamatában nincs adatvesztés, ekkor utólagos (off-line) részletes kiértékelés a tárolt adatok alapján megvalósítható.

A PC-k korai időszakában, amikor a DOS operációs rendszer lehetővé tette a számítógép minden eleméhez a közvetlen programozói hozzáférést és a PC-k hardver elemei is jobban átláthatóbbak voltak, gyakran saját fejlesztésű közvetlen memória hozzáféréssel és megszakítást létrehozó PC-be helyezhető kártyák volt az adatgyűjtő rendszerek lelke. Az áramkörtervezők teljes mértékben ki tudták használni a PC erőforrásait. A programozó számára viszont az adatok grafikus megjelenítésének a kifejlesztése jelentett többlet terhet.

Az általánosan elterjedt Windows operációs rendszerek a programozók számára a grafikus feladatok megoldását egyre jobban megkönnyítették, viszont ezzel együtt a processzor hardver elemeinek közvetlen kezelése megszűnt. Ez azt eredményezte, hogy a vezérlő és adatgyűjtő rendszerek hardvereit, amelyek a DOS környezetben a PC erőforrásait teljes mértékben használhatta, új megközelítéssel kell tervezni. A mikroelektronika fejlődése létrehozta a nagykapacitású memória áramköröket, a mikrokontrollereket, a programozható logikai elemeket, amelyek lényegesen megkönnyítették, meggyorsították az egyedi adatgyűjtő áramkörök tervezését, és viszonylag olcsó áron lehet hatékony logikai áramköröket létrehozni.

Ennek eredményeképpen az adatgyűjtési tevékenység, amely minimális logikai feldolgozást igényel, önálló, gyors memóriával ellátott egységbe kerülhetett. Bolygóközi küldetéseknél, amikor is energetikai okokból korlátozott a rádióadó teljesítménye, a legnagyobb telemetriai sebessége 64 kbit/sec. Másik jellemző tulajdonsága egy-egy műszer TM adatfolyamának, hogy az űrszonda számítógépe a tudományos céloknak megfelelő sorrendben és mennyiségben (ciklikusan) küldi a különböző kísérletek adatait, tehát egy adott műszer szempontjából csomagokban (burst) érkezik a távmérés eredménye.

Az első számítógépek két szabványos illesztővel rendelkeztek az egyik a nyomtató kezelését biztosító nyolcbites kimenő csatorna (parallel port), a másik az RS-232C soros csatorna, amelyből rendszerint kettő volt. Kezdetben a párhuzamos kimenő illesztő alkalmazatlan volt erre a célra, hiszen az adatfolyam a számítógép felé irányul, másrészt a mérési eredményeket nyomtató használatával jelenítették meg. Ezek után az egyik szabad soros illesztő lett a PC és a többnyire mikrokontrollert vagy mikroprocesszort tartalmazó szimulátor közt a kapcsolat. A beágyazott (embedded) processzor alkalmazását az tette szükségessé, hogy az űreszközök logikai szimulálásánál az előírt reakcióidők biztosíthatók legyenek. A kétvezetékes soros adatforgalom azzal az előnnyel járt, hogy a szimulátor galvanikus leválasztását kis alkatrész többlettel meg lehetett valósítani. A soros illesztő hátránya viszont a korlátozott (115 200 Baud) sebesség, bár ez a bolygóközi programok esetében nem volt korlát és csupán a gyorsított üzemmódú földi tesztelesek esetében zavart.

A nemzetközi űrállomásra kerülő Obszhanovka kísérlet számára nagyobb adat mennyiség folyamatos átvitelt kell megvalósítani. A jelenlegi PC-k esetében erre két szabványos illesztő áll rendelkezésre. Az egyik az USB (Universal Serial Bus), a másik, pedig az Ethernet-illesztő. Az USB ellen szól, hogy korábbi operációs rendszerek (pl. Windows 2000) illetve szoftver fejlesztői környezetek nem támogatják. A szimulátor egységben az elkerülhetetlen beágyazott processzor alkalmazása esetében Ethernet-illesztőt tartalmazó gyári fejlesztésű kész processzoros kártya használatával a szoftver gondok elhárulnak és a hardver fejlesztés minimalizálható.

A 3. ábrán látható a globális, funkcionális blokkvázlata a PWC kísérlet- és ellenőrző-berendezésének, amely a fenti megfontolások alapján lett kialakítva. A szabványos illesztő felület alkalmazása az adatforgalomra azt jelenti, hogy gyakorlatilag tetszőleges PC (asztali vagy hordozható) alkalmas a jelszintű szimulátor kezelésére. A jelszintű szimulátor, a fedélzeti rendszerhez hasonlóan, PC-104 szabványú kártyából lett felépítve. A rendszer magja egy 300 MHz processzor kártya, amely tartalmazza az asztali PC-k szokásos illesztőit.

A szoftverfejlesztési időszakra a beágyazott rendszer a PC-k szokásos perifériáival (háttértároló, CD olvasó, hajlékonylemez egység, billentyűzet, egér és megjelenítő) ki lett egészítve, így mint egy közvetlen fejlesztői környezet meggyorsította az újabb és újabb szoftver változatok futtatásra alkalmas kódok létrehozását. Az beágyazott processzoron, hasonlóan a fedélzeti rendszerhez, valósídejű Linux operációs rendszer fut, amely biztosítja az érzékelők adatfolyamának, valamint az űrállomás elektromos rendszerének logikai szimulálását. A tesztelés funkcionális blokk vázlata a 3. ábrán látható.

A szimulált adatfolyam jelek:

DACU1	LP	RS422, 38400 baud
	DP	RS422, 38400 baud
	DFM1	11 analog, 0,8-4 kHz, 12 bit
	CWD-WP	4 analog, 0,8-4 kHz, 12 bit
DACU2	CORES	RS422, 115200 baud
	LP	RS422, 38400 baud
	DP	RS422, 32400 baud
	RFA	RS422, 19200 baud
	DFM2	RS422, 32400 baud
	CWD-WP	4 analog, 0,8-4 kHz, 12 bit
SAS3	Ethernet 10 Mb/s, 300 Mbyte/nap	

A kezelői felület a Windows XP operációs rendszer alatt fut és a National Instrument LabWindows/CVI nevű fejlesztői környezetben lett létrehozva. Ez egy olyan C nyelvű integrált fejlesztői környezet, amely jelentős grafikus könyvtári támogatással rendelkezik. A megjelenítő és kezelői felület létrehozását ez a fejlesztői környezet jelentősen lerövidítette.

Az előzőekben részletezett szempontok szerint az érzékelők adatfolyamának adatvesztés nélküli fogadása a legnagyobb prioritással lett kezelve. Ennek megfelelően a kifejlesztett program külön szálában (thread) kerül fogadásra és átmeneti tárolásra az érzékelő adat-

folyama. A több szálas (multithread) program a Windows XP operációs rendszerben az aktív feladatai közé szálas számának megfelelő több feladatot iktat be. A Windows XP egy sokfeladatos (preemptive multitasking) round robin elvű operációs rendszer, amely a processzor erőforrásait az aktív feladatok közt ciklikusan szétosztja.

Amíg egy egyszálas adatgyűjtő program esetében a Windows XP operációs rendszer a processzor idejét csak egyszer biztosítja ciklikus erőforrás kiosztásban a programunk számára, addig két szálas esetben a processzor kizárólagos használatára kétszer kerül sor. Annak ellenére, hogy adott esetben csak az adatgyűjtő programunk fut a Windows XP alatt, az rendszeresen vizsgálja a különböző eszközök esetleges kiszolgálás kérését.

Ilyen folyamatosan vizsgált eszköz például az egér vagy a billentyűzet. Amennyiben az egér jobb gombjának lenyomásával az egyedül futó egyszálas adatgyűjtő programunk egy saját ablakát lassan helyezzük át a képernyőn, a program futása nem jut el az adatgyűjtést kezelő programrészhez, és ez adatvesztéshez vezethet. Ilyen és ehhez hasonló esetek elkerülése érdekében került egy külön szála (gyakran processz-ként is nevezik) az érzékelő jeleinek fogadása, és ezáltal az XP operációs rendszer, az egér által lefoglalt esetben is, ütemezésének megfelelően a processzor mindig kiszolgálja a külön szálaban futó adatgyűjtést. A „főszálaban” van létrehozva a grafikus kezelői felület és a megjelenítés, míg az időkritikus adatgyűjtés a második szálaban történik. A többszálas működésen alapuló programfejlesztést a LabWindows/CVI könyvtári függvényeivel megkönnyíti az XP operációs rendszer többszálas működésének kihasználását.

A több adatátviteli csatornán érkező adatok fogadására különálló ablakokat (panels) alkalmaztunk a jobb áttekinthetőség érdekében, amelyek címkéinek kijelölésével lehet kiválasztani a megfigyelendő adatátviteli csatornát. A szolgálati információ (house keeping, HK) csomagok olvasható megjelenítését egy külső, különálló szöveges fájlban kell meghatározni (csupán a fájl neve rögzített az EGSE programban). Ebben a fájlban, szögletes zárójelben kell megadni a megjelenítendő paraméter nevét és azt követi a telemetria csomagban lévő szó pozíciója, majd az értelmezendő bitmező.

A bitmező jelentése lehet felsorolás (Enum) jellegű (On, Off stb.) vagy egy bináris érték (Actual), amelyet decimális vagy hexadecimális (Dec/Hex) formában lehet kiírni. Például a CORES érzékelő telemetria csomag második szavának 9-10 bitje be- vagy ki-kapcsolt állapotot tükröz (01 és 10 kombináció érvénytelen, hibás állapot) és ennek a szónak 2-8 bitjei egy feszültség értéket tartalmaznak, akkor ezt a következő módon kell megadni:

[CORES Power\_2] Enum 2;9,10

0 = Off

1 = invalid

2 = invalid

3 = On

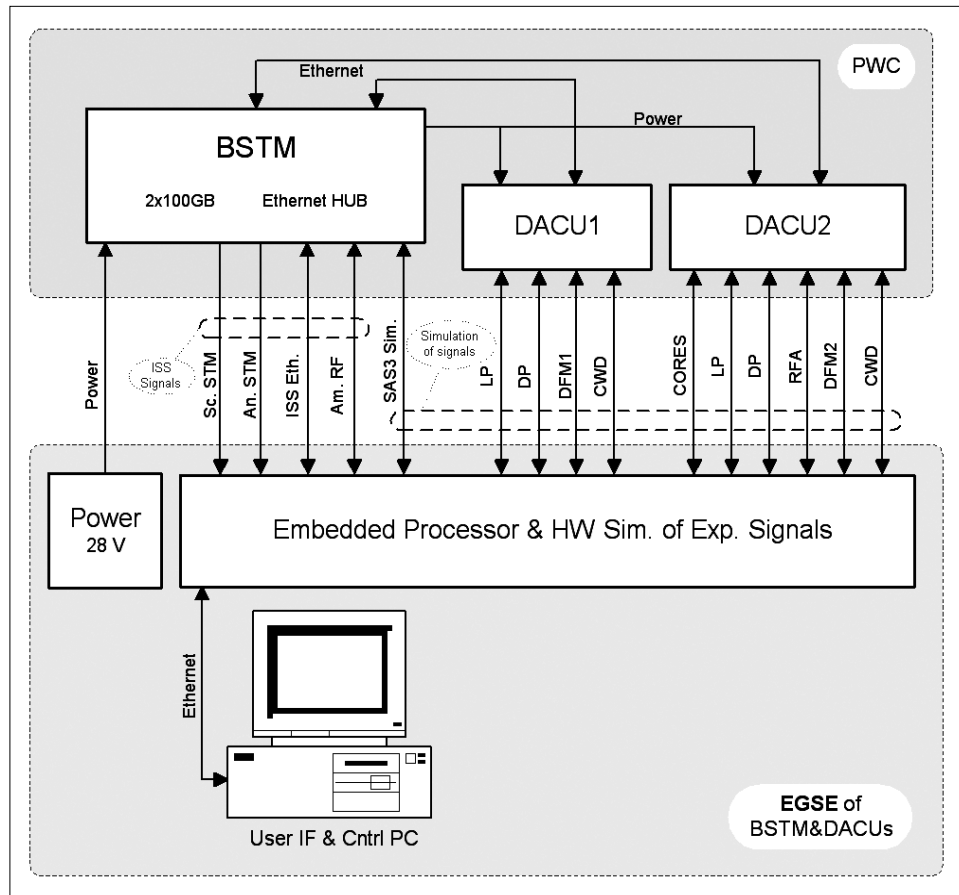
[CORES Voltage\_2] Actual 2;2,8

Dec

Ez az olvasható és utólag könnyen módosítható leíró fájl használat, kiküszöböli a párhuzamos fejlesztések során jelentkező egymásra várakozásokat, az egyes részek megoldásainak meghatározási hiánya miatt.

A szoftver kezelői felülete a következő oldalon, a 4. ábrán látható. Az TM adat folyam tárolása mind a fedélzeten, mind az EGSE-ben az úrkutatási adatbázis kezelők (Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS) formátuma szerint történik.

3. ábra  
A PWC elosztott számítógépe és a tesztberendezésének blokkvázlata



A CCSDS struktúra három lényeges részből áll: csomag kezdet felismerést biztosító két szavas speciálisan kiválasztott bit kombináció (synchro pattern), az időközöt, sorrendiséget, azonosítót és egyéb fontos azonosító információt tartalmazó 18 szó (header), és ezt követi az érdeemi mérési adat blokk.

A parancsok továbbításánál, pedig ez még kiegészül a csomag utolsó szavában egy ellenőrző szóval (Cyclic Redundancy Check, CRC). Adat vesztés esetén az első két rész megkönynyíti az adatfolyamhoz az újra szinkronizálást.

**Köszönetnyilvánítás**

A Nemzetközi Űrállomásra kerülő Obsztanovka kísérlet vezérlő és adatgyűjtő számítógép rendszere a Magyar Űrkutatási Iroda támogatásával valósul meg

**Irodalom**

- [1] Klimov, S.I., at all:  
Use of Space Station infrastructure for space weather research.  
Space Weather Workshop:  
Space Weather Applications Pilot Project.  
16-18 December 2002, ESTEC,  
Noordwijk, The Netherlands, Abstract Book.
- [2] Klimov, S.I., at all:  
„OBSTANOVKA” experiment for space weather research on board the Russian segment of the ISS.  
54th International Astronautical Congress 2003,  
Bremen, Germany, IAC-03-T. 4. 09  
(on CD of 54 IAC).

4. ábra A PC-n futó EGSE program kezelői felülete



# PorTL – a földre szállt Pille

APÁTHY ISTVÁN, DEME SÁNDOR, FEHÉR ISTVÁN

MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet

BODNÁR LÁSZLÓ\*, CSŐKE ANTAL#

\*BL-Electronics Bt., #Csörgő Rajziroda

**Kulcsszavak:** termolumineszcens dózismérés, hordozható dózismérő, környezeti dózismérő, személyi dózismérő

Az űrhajókon, űrállomásokon több, mint negyed százada sikeresen alkalmazott „Pille” fedélzeti termolumineszcens dózismérő (TLD) rendszerrel nyert konstrukciós tapasztalatok felhasználásával az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben a BL-Electronics Bt. közreműködésével földi használatra kifejlesztettek egy kis méretű, hordozható, kereskedelmi célú TLD berendezést („PorTL”). A könnyen kezelhető, nagyérzékenységű, de mérsékelt árú rendszer laboratóriumi, ipari, környezeti és személyi dozimetriai mérésekre egyaránt használható. A cikkben röviden ismertetik a rendszer működési elvét, mechanikai és elektronikai felépítését, kezelését és működését, valamint műszaki paramétereit.

## 1. Bevezetés

A sugárzás következtében fellépő káros hatások valószínűségének csökkentése érdekében mind a lakosság, mind a sugárveszélyes munkahelyen dolgozók számára szükséges a dózisterhelés csökkentése, illetve korlátozása. Ennek alapvető feltétele a sugárzások által keltett dózis pontos és naprakész mérése, melynek ma egyik legelfogadottabb és legszélesebb körben használt eszközei a termolumineszcens (TL) szilárdtest dózismérők.

A piacon ma kapható rendszereknél a dózismérő aránylag olcsó: egy megfelelő tokban elhelyezett por, pasztilla vagy lapka alakú TL anyag. A kiolvasó ugyanakkor drága, nagyméretű, helyhez kötött laboratóriumi berendezés. Kezelése bonyolult, szakképzett személyzetet igényel. Ezért számos olyan – radioaktív izotópokkal illetve technikával dolgozó – kis cég van világszerte, mely nem rendezkedett be a TL dózismérők kiértékelésére; azt központi laboratóriumokkal végeztetik el, megfelelő díjazás ellenében. Laboratóriumi kiértékelésnél feltétlen hátrány a szállítás közben „hozzámért” transzport dózis, mely a méréseket meghamisíthatja, valamint az, hogy a mérési eredmények néha jelentős késéssel állnak csak rendelkezésre.

Az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben a 70-es évek végén űrkutatási céllal kifejlesztettük a kisméretű, hordozható „Pille” TL dózismérő rendszert. Ezt először a Szaljut-6 űrállomáson, majd egyre korszerűbb változatait az azt követő összes, embert szállító űreszköz fedélzetén sikerrel használták; legújabb példánya a szolgálati rendszer részeként a Nemzetközi Űrállomás üzemel.

Egy korai típus telepes változatából a 80-as években a Tungstram legyártott egy kis sorozatot földi használatra, melynek néhány példánya környezet- és katasztrófavédelmi intézményeknél, egyetemi tanszékeken még ma is működik. Ezek a – ma már elavultnak tekinthető – berendezéseken kívül a 90-es években két,

új generációs űrkészüléket átalakítottunk telepes üzeműre a Paksi Atomerőmű Rt. részére, környezeti dózismérések céljából.

A fent említett készülékeinken kívül – néhány kis érzékenységű, normál környezeti mérésre alkalmatlan katonai típustól eltekintve – kisméretű és viszonylag olcsó, hordozható TL kiolvasó berendezés a világpiacon nem található. Ezért – nem utolsósorban NASA-s kollégáink biztatására – a „Pille” űrdózismérő rendszerrel nyert tapasztalatokra építve, de földi használatra kifejlesztettünk egy sorozatgyártásra alkalmas, mérsékelt árú TL kiolvasó berendezést és a hozzá tartozó dózismérőket, melyek kereskedelmi forgalomban is megvásárolhatók.

Ez a „PorTL” rendszer, mely a laboratóriumi rendszerekkel szemben kicsi, könnyű, hordozható, telepes, igen kicsi az energiafogyasztása; az összes mérési adatot, paramétert stb. maga a kiolvasó tárolja; egyszerű a kezelése, speciális képzettséget nem igényel; a dózismérők sokkal tartósabbak, mint sok hagyományos rendszernél és a mérés helyén kiolvashatók, kiértékelhetők; a kiolvasó a benne hagyott dózismérőt igény esetén beprogramozott időközönként automatikusan kiolvassa, a mérési adatokat eltárolja.

Ennek a rendszernek a rövid műszaki ismertetését adjuk közre cikkünkben.

## 2. Működési elv

A sugárvédelemben a káros sugárzás mennyiségét a dózissal jellemezzük. Az elnyelt dózis az anyag egységnyi tömegében leadott energia. Az elnyelt dózis Si mértékegysége a J/kg, melyet gray-nek (Gy) neveztek el. A várható sztochasztikus egészségkárosító hatást jellemző effektív dózis súlyozottan figyelembe veszi a sugárzás összetevőinek (fajta- és energiafüggő) biológiai hatásosságát, valamint az egyes szervek sugárérzékenységét; egysége a sievert (Sv).



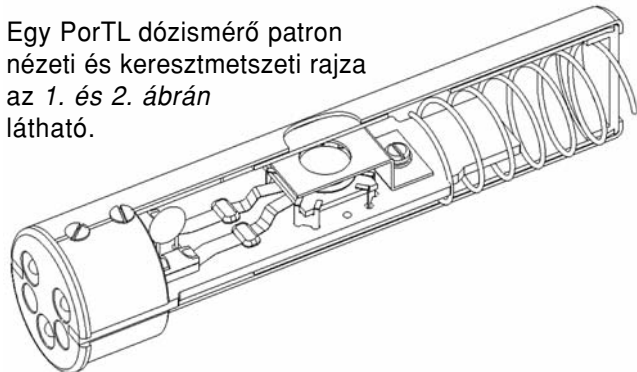
Ha egy TL anyagot (bizonyos fajtájú, általában szervesetlen kristályt) ionizáló sugárzás ér, akkor a kristályban keletkező töltéshordozók egy része olyan energiaállapotba kerül, amelyben szobahőmérsékleten hosszú ideig (több hónapos vagy éves felezési idővel) megmarad. Amikor a TL anyagot 200...300°C-os hőmérsékletre melegítjük, akkor a tárolt töltéshordók fénykibocsátás kíséretében néhány másodperc alatt visszatérnek eredeti állapotukba. A kibocsátott fény mennyisége széles tartományban arányos az előző felmelegítés óta elnyelt dózissal.

A termolumineszcens dózisméréshez TL anyagra és a kiértékelést végző kiolvasó berendezésre van szükség. A TL anyagokat a mérendő ionizáló sugárzás terében meghatározott ideig exponálják, majd a kiolvasó berendezéssel kiértékelik a dózissokat.

A kiolvasó berendezésnek három alapvető része van: a TL anyag szabályozott melegítésére szolgáló fűtőegység, a kibocsátott fény mérésére szolgáló fénydetektáló blokk és a fényintenzitás-görbéből (kifűtési görbéből) a dózist kiszámoló egység. A mikroproceszoros vezérlésű, kisméretű és hordozható *PorTL* kiolvasó („*PorTL Reader*”) dózismérő henger alakú zárt *patronok* („*PorTL cells*”); minden *patron*-ban a TL anyag egy miniatűr elektromos fűtőtesttel és termoelemmel van egybeépítve (*TL blokk*).

### 3. Dózismérő patronok

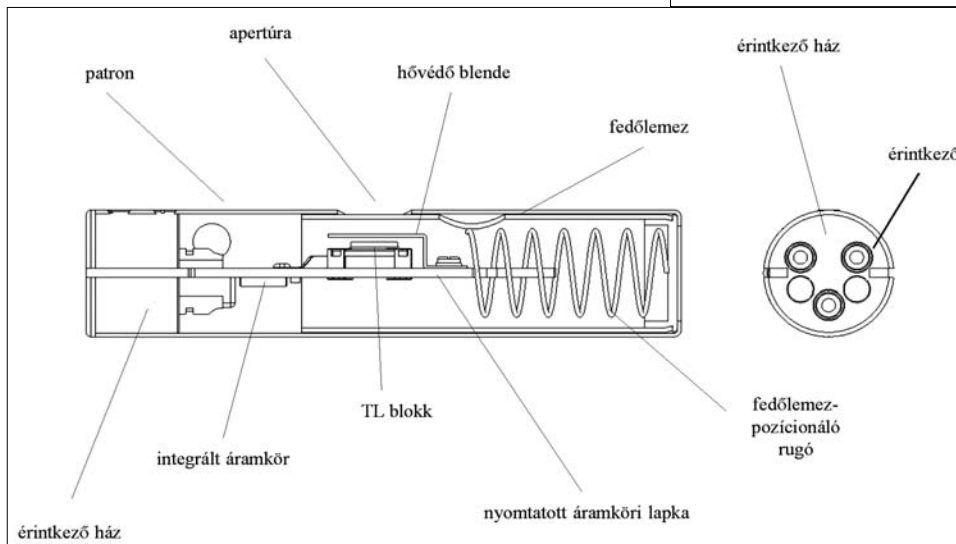
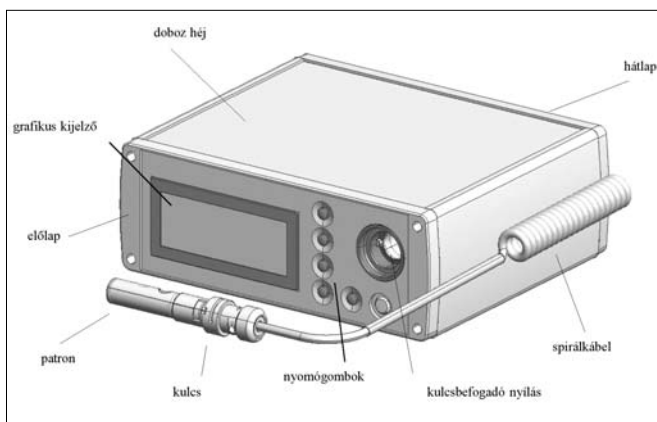
Egy *PorTL* dózismérő *patron* nézeti és keresztmetszeti rajza az 1. és 2. ábrán látható.



A TL blokk egy kerámia lapka egyik oldalára felragasztott miniatűr fűtőtestből, a másik oldalára felragasztott TL tablettából, valamint a TL tableta és a kerámialapka között elhelyezkedő, felfűtés közben a tableta pillanatnyi hőmérsékletét mérő termoelemből áll. A TL blokk egy kisméretű, zárt, henger alakú fém patronba van betekozva, mely annak mechanikai és fény elleni védelmét is biztosítja. A patron *optikai nyílását (apertúráját)* belülről egy *fedőlemez* takarja, melyet egy rugó tart zárt állapotban; a patron-t a kiolvasóba helyezve a fedőlemez automatikusan elmozdul, szabaddá téve a TL anyagból kilépő fény útját az érzékelő (fotoelektron sokszorozó) felé.

Minden egyes patronban egy *integrált áramkör* is található; egyrészt ennek „flash” memóriája tárolja az adott patron egyedi azonosító és kalibrációs paramétereit, másrészt kifűtés közben a termoelem által szolgáltatott, hőmérséklettel arányos elektromos feszültséget a kiolvasó számára digitális jellé alakítja. A fűtőáram bevezetésére, valamint az integrált áramkörrel való „kommunikációra” szolgáló aranyozott érintkezők a patron egyik végén lévő műanyag *érintkező házba* (záródugóba) vannak beépítve. A patron másik végének homlokfelületébe a vizuális azonosítás céljából a memóriában tárolttal megegyező azonosító kód van gravírozva.

A kiolvasó berendezés több, mint húsz különböző típusú (TL anyagú, kifűtési paraméterű stb.), típusonként tízezer egyedi dózismérőt tud azonosítani, előre



3. ábra  
A kiolvasó külső, nézeti rajza

1. és 2. ábra  
A *PorTL* patron „kitört” nézeti és keresztmetszeti rajza

meghatározott paraméterekkel kiolvasni és az adott dózismérő egyedi paramétereivel kiértékelni. Az egyes patronok azonosítója, kalibráció után azok egyedi paraméterei a kiolvasón keresztül személyi számítógépről programozhatók be.

A patronok szállítás, besugárzás alatti tárolására erős, átlátszó és vízzáró műanyag tokok szolgálnak.

#### 4. A kiolvasó berendezés felépítése

A PorTL kiolvasó egy kisméretű, mikroprocesszor által vezérelt hordozható berendezés; a beépített akkumulátor terepi mérésekre is alkalmassá teszi. Egyszerűen, mindössze néhány nyomógombbal, menürendszerből kezelhető. A PorTL kiolvasó külső, perspektívikus rajza a 3. ábrán látható.

A doboz oldalfalakat alkotó „héja” mechanikailag rendkívül szilárd, alumíniumból extrudált, téglalap keresztmetszetű, belül profilírozott sínrendszert tartalmazó egyetlen elem; elő- és hátlapja egy-egy alumínium finomöntvény.

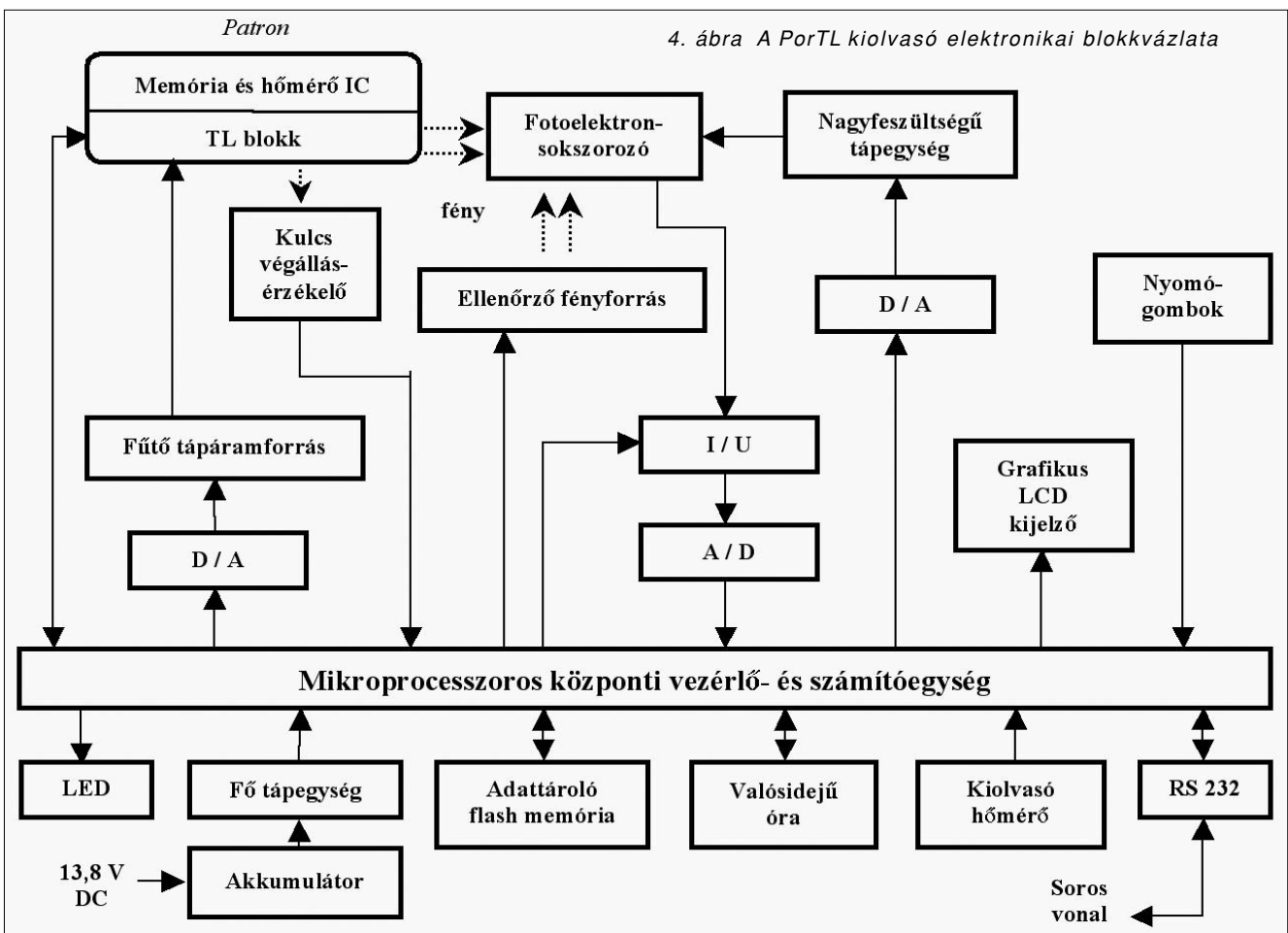
A doboz-héj sínjébe csúsztatott nyomtatott áramköri (NYÁK) alaplap panelen van felépítve a fő- és fűtőtápegység, valamint a mikroprocesszoros vezérlő- és mérőrendszer. Ugyancsak az alaplaphoz van rögzítve az a fényzáró forgattyúház, amely befogadja a kiolvasásra kerülő patronot tartalmazó, bajonettzárás fejfel-

látott, úgynevezett kulcsot; utóbbit a kiolvasó elektronikájával spirálkábel köti össze. A forgattyúház apertúrájához csatlakozik a fotoelektron sokszorozót tartalmazó hengeres ház. Az alaplap panelhez merőlegesen illeszkedik a grafikus kijelző és a nyomógombokat hordozó előlapi, illetve a fotoelektron sokszorozó tápellátását biztosító nagyfeszültségű NYÁK panel. A doboz-héj sínjében van rögzítve a kiolvasó akkumulátor szerelvénye is.

#### 5. A kiolvasó elektronikus rendszere

A PorTL kiolvasó elektronikus rendszerének blokkvázlata a 4. ábrán látható.

A kiolvasó berendezés mikroprocesszoros központi vezérlő- és számítógysége D/A (digitál/analóg) átalakítón keresztül vezérli a fűtő tápáramforrást, mely fűtőáramot biztosít a kiolvasóba helyezett patron számára. A dózismérő típusa által meghatározott, programozható fűtés lehetővé teszi, hogy a TL blokk (és ezáltal a TL anyag) 20-60 másodperc alatt 250...300°C-ra hevüljön. A kifűtés vég hőmérséklete, illetve a kiértékelés végén a törlési hőmérsékleten tartás időtartama dózismérő típusonként programozható. A TL blokk hőmérsékletét termopár érzékeli, melynek feszültségét a patronba épített memória és hőmérő IC (integrált áramkör) alakítja a központi egység számára feldolgozható digitális



jellé. Ugyanennek az IC-nek a „flash” memóriája tárolja a patron egyedi azonosító kódját és kalibrációs paramétereit. A fénydetektáló berendezés legfontosabb eleme a *fotoelektronsokszorozó*, amely nagyon kis fényintenzitás esetén is jól mérhető áramot ad, fényintenzitás-átfogása 5-6 nagyságrend. A fotoelektronsokszorozó tápellátását a központi egység által *D/A átalakítón vezérelt nagyfeszültségű tápegység* biztosítja. A feszültség minden kiolvasónál az adott fotoelektronsokszorozó egyedi érzékenységet figyelembe véve úgy van beállítva, hogy az egyes kiolvasók csereszabatosak legyenek.

A mért dózis a fotoelektronsokszorozó kifűtés alatti anódáram-változásának (kifűtési görbe v. fénygörbe) matematikai kiértékelésével kapható meg. Az anódáramot *I/U konverter* alakítja arányos feszültséggé, mely A/D (analóg/digitál) konverzió után kerül a központi számítógépségbe. Az I/U átalakító konverziós tényezőjét a központi vezérlőegység a mérendő áram nagyságához több „méréshatárban” automatikusan illeszti. Amennyiben – igen nagy dózisonál – az anódáram meghaladná a megengedett maximális szintet, a nagyfeszültség értékének alkalmas csökkentésével a fotoelektronsokszorozó érzékenysége 1/32, illetve 1/512 részére csökkenthető.

Ezzel az áramköri elrendezéssel a kiolvasó 25 pA-es ( $2,5 \cdot 10^{-11}$  A) anódáram-felbontást, illetve 7 nagyságrend dózistartomány-átfogást biztosít. Minden kiolvasás kezdetekor a teljes „fénymérő lánc” érzékenységet egy, a központi vezérlő által felvillantott *ellenőrző fényforrás* vizsgálja.

A kiolvasó kezelése *menürendszer* segítségével történik; a menük közötti navigálásra és a számértékek beállítására 6 db nyomógomb szolgál. A mérési eredmények és a paraméterek megjelenítése 192x64 felbontású *grafikus LCD kijelzőn* történik.

A kiolvasó belső hőmérőjének adatai alapján a teljes működési hőmérséklet-tartományban korrigálásra kerülnek a vezérlési és adatfeldolgozási paraméterek. A kiolvasó kikapcsolt állapotában is működő *valós idejű óra* szolgáltatja minden kiolvasásnál az aktuális dátumot/időpontot, illetve automatikus üzemmódban az előre beprogramozott időintervallumokban „ébreszti” a kiolvasó berendezést. Úgy a működtető szoftver, mint 1920 mérési eredményei *flash-memóriában* kerülnek tárolásra. A kiolvasó, illetve azon keresztül egy-egy patron paraméterei személyi számítógépről (PC) *RS-232* szabványú soros vonalon tölthetők be. Ugyanezen a vonalon keresztül tölthetők le a kiolvasóról a PC-re a mérések eredményeképpen előálló adatblokkok, további feldolgozás céljából.

A *fő tápegység* állítja elő az akkumulátorfeszültségből az elektronika működéséhez szükséges belső tápfeszültségeket. Az *akkumulátor* az energiát a hálózati csatlakozóba dugható, pufferüzemű töltő készülékből kapja.

Egy-egy patron kiolvasáshoz a dózismérő kulcsba csatlakoztatva a kiolvasó nyílásába kell tolni, majd ütközésig elfordítani; a *kulcs végállás-érzékelő* a mérést

automatikusan elindítja. A patronnak a kiolvasóval való elektromos összeköttetését (fűtőáram, adatátvitel) a kulcson keresztül spirálkábel biztosítja.

A kiolvasóba 12 V névleges feszültségű, légmentesen zárt, gondozásmentes, tetszőleges helyzetben használható belső akkumulátor van építve. Ez egyrészt hálózattól független működést is lehetővé tesz (terepi kiolvasás), másrészt növeli a kiolvasás biztonságát (hálózat-kimaradás elleni védelem). Az akkutöltő az akkumulátort nem tudja túltölteni, így korlátlan ideig a kiolvasóhoz csatlakoztatható.

A kiolvasó be-, és kikapcsolása általában nyomógombok segítségével történik (úgynevezett szoft kikapcsolás). Szállítás esetén, vagy amennyiben a kiolvasó hosszabb ideig használaton kívül van, a hátoldalon található biztonsági kapcsoló segítségével a tápellátás/akkumulátor a kiolvasó áramköreiről teljesen leválasztható (hard kikapcsolás).

Akkumulátorról történő üzemeltetés esetén, energia-takarékosság céljából a kijelző háttérvilágítása – amennyiben a kiolvasóval műveletet nem végzünk – megfelelő beállítás esetén adott idő után automatikusan kikapcsolódik. Bármilyen művelet (gombnyomás, mérés) hatására a háttérvilágítás ismét bekapcsolódik. Megfelelő beállítás esetén, amennyiben a kiolvasóval műveletet nem végzünk, adott idő után a kiolvasó automatikusan kikapcsolódik. Mindkét szolgáltatás a főmenü adott menüpontjaiból aktiválható/érvényteleníthető, illetve paraméterei beállíthatók. A kiolvasó az utoljára beállított értékekre „emlékszik”, bekapcsoláskor ezek érvényesek.

Az akkumulátor feszültsége és körülbelüli százalékos töltöttségi állapota az egyik almenüben tekinthető meg. Akkumulátoros üzemmódban bekapcsoláskor, minden mérés előtt a kiolvasó az akku töltöttségi állapotát ellenőrzi. Adott százalék alatti töltöttségi állapot esetén figyelmeztető üzenetet küld, illetve a mérést nem engedélyezi. Igen alacsony akkumulátor feszültségnél a kiolvasó bekapcsolását céláramkör tiltja.

## 6. A PorTL kiolvasó kezelése

A kiolvasó előlnézete a kezelőszervekkel és a kijelzővel az 5. ábrán látható.



5. ábra A kiolvasó előlnézete

A kiolvasó előlapján 6 nyomógomb található. A  $\uparrow$ ,  $\leftarrow$ ,  $\rightarrow$ ,  $\downarrow$  nyomógombokat önmagukban használva a kijelzőn navigálhatunk, illetve alfanumerikus karakterek értékét változtathatjuk meg. A kijelölt menüpontot annak

inverz (negatív) árnyalata jelzi. A O nyomógomb egyidejű nyomvatartása esetén ugyanezekkel a gombokkal a kijelző háttérvilágítását és kontrasztját szabályozhatjuk.

A O gomb megnyomásával bekapcsolhatjuk a kiolvasót, vagy visszaléphetünk az eggyel magasabb szintű menüpontba. Utóbbi esetben, amennyiben valamilyen paramétert megváltoztattunk, az nem aktiválódik, a korábbi beállítás marad érvényben.

A bekapcsolás után néhány másodpercen belül megjelenő *üzemmód menü* négy menüpontot tartalmaz:

- READY (mérésre kész)
- START/CONTINUE AUTO (automatikus kiolvasás elindítása vagy folytatása)
- SET AUTO (automatikus kiolvasás beállítása)
- READER OFF (kiolvasó kikapcsolása).

Amennyiben a READY menüpont van kijelölve, az ↵ gombot megnyomva (illetve bekapcsolás után, ha semmilyen művelet nem történik, rövid idő múlva automatikusan) a kiolvasó mérésre kész állapotba kerül, melyet a kijelzőn megjelenő (dátumot és időpontot is tartalmazó) nagyméretű READY felirat jelez.

A READY állapotból az ↵ nyomógomb megnyomásával lehet a főmenübe lépni, melynek menüpontjai – részben többlépcsős – *almenü rendszert* takarnak. A menüpontok a következők:

- FULL INFO (teljes információ)
- TEST (ellenőrzés)
- DATE TIME (dátum és időpont beállítása)
- SET AUTO (automatikus kiolvasás beállítása)
- SERVICE (szerviz funkciók)
- BACKLIGHT (háttérvilágítás paramétereinek beállítása)
- TIMEOUT (automatikus kikapcsolás paraméterei)
- READER OFF (kiolvasó kikapcsolása).

Az ↵ nyomógombbal almenübe léphetünk, vagy elfogadtathatjuk a kijelölt utasítást, illetve a megváltoztatott paramétereket. Utóbbi esetben egyszersmind eggyel magasabb szintű menüpontba lépünk vissza. Az ↵ és O gombok egyidejű megnyomásával a főmenü és az almenük bármely pontjából közvetlenül az üzemmód menübe jutunk.

## 7. A kiolvasó működése

A patron kétféle módon lehet kiolvasni: *kézi és automatikus üzemmódban*. Mindkét üzemmódban a kiolvasandó patron csatlakoztatni kell a kulcsba, majd a kulcsot (a patronnal együtt) a kiolvasó befogadó nyílásába kell helyezni és ütközésig el kell fordítani.

Kézi üzemmódban (READY állapotban) az elfordítás hatására automatikusan végbemegy a mérés, melynek végén az eredmény kijelzésre kerül. A mérési adatok mindaddig a kijelzőn maradnak, amíg a kulcsot alap helyzetbe vissza nem fordítjuk; ekkor a kijelzőn megjelenik a READY felirat, és a kiolvasó újabb mérésre kész.

Automatikus üzemmódban az előre beprogramozott időpontokban a kiolvasó „alvó” állapotából „felébred”, a

nyílásában lévő (és elfordított) dózismérőt kiolvasva, az eredményt, majd a következő kiolvasási időpontot kiírja, majd ismét „alvó” állapotba kerül. Alvó állapotban a kijelző is ki van kapcsolva, az automatikus üzemmódot az előlapi LED indikátor villogása jelzi. Ebből az állapotból a kiolvasó a O gomb megnyomásával bármikor „felébreszhető”. Az automatikus üzemmód lehetővé teszi, hogy felügyelet és akár tápellátás nélküli helyen tetőszöleges gyakorisággal dózismérést végezhesünk.

A FULL INFO menüpontban bármely korábbi mérés eredményei előhívhatók, a kiolvasó állapota pedig leellenőrizhető.

A kiolvasó készülék egyedi és kalibrációs paramétereit külön flash memória tárolja; egy-egy dózismérő patron azonosítóját és egyedi kalibrációs paraméterei pedig a patronban lévő flash memóriában található. Mindkét paraméter tábla a soros vonalon csatlakoztatott személyi számítógépről, annak célprogramja segítségével szerkeszthető és tölthető be. Bekapcsolás után, valamint működés és kiolvasás közben a készülék számos alkalommal „önvizsgálatot” végez; ha a paraméterek (hőmérséklet, tápfeszültség, a fénymérő lánc zaja és érzékenysége, fűtőáram stb.) nem a megengedett határokon belül vannak, hibaüzenetet ad. A dózisérték kiszámolásakor figyelembe veszi a dózismérő patronba jegyzett egyedi kalibrációs paramétereket, valamint a kiolvasó hőmérséklete alapján a szükséges korrekciós tényezőket is. A kiolvasó adatmemóriájában körülbelül 1900 mérés eredménye, paraméterei és teljes kifűtési görbéje kerül rögzítésre; ezek a célprogrammal személyi számítógépbe letölthetők, ott megjeleníthetők, utólag is processzálhatók, belőlük automatikusan adatbázis készíthető. Mindez a rendszer elemeinek használatát rendkívül rugalmassá teszi.

## 8. Műszaki paraméterek

### Dózismérő patronok

TL-anyag	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C
Mérési tartomány (környezeti dózisegységérték)	3 μSv–100 mSv (1 Sv)
Egyedi azonosítás	automatikus beépített memóriacsippel
Méret	Ø 14 mm, hossz: 65 mm
Tömeg (tok nélkül/tokban)	< 20 g/< 45 g

### Kiolvasó készülék

Kiolvasási pontosság	3 digit + exp.
Mérési pontosság (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C, 10 μGy felett)	σ < 5%
Kijelző	192x64 pontos grafikus LCD
Tápellátás	hálózat, gk- ill. beépített akkumulátor,
Kiolvasások száma	> 100 egy akkufeltöltéssel
Tárolási hőmérséklettartomány	-40°C ÷ +50°C
Működési hőmérséklettartomány	-20°C ÷ +40°C
Méret	200x80x175 mm (sz/m/m)
Tömeg	≈3,2 kg (nagyobb akku opcióval)

A mérőeszköz típusvizsgálatát környezeti dózisegységérték mérésére az Országos Mérésügyi Hivatal elvégezte, és a dózismérő hitelesítési engedélyét kiadta.



## SATELLITE COMMUNICATIONS NETWORK OF EXCELLENCE

### Európai oktatói-kutatói hálózat a műholdas kommunikáció területén: a SatNEx program

Az EU IST FP6 (Information Society Technologies, Információs Társadalom Technológiái, Hatos Keretprogram) részeként 2004-ben indult SatNEx program (Satellite Communications Network of Excellence) kilenc európai ország 22 intézményének oktatói, kutatói munkáját integrálja. A hálózat a DLR (Németország) kutatóintézet vezetésével koordinálja a műholdas kommunikáció kutatási témáit, előre tekintve 2015-2020-ig.

A program lehetővé teszi az egyetemi és intézeti oktatók, kutatók, PhD hallgatók cseréjét, konferenciák és nyári iskolák szervezését, oktatási és kutatási anyagok összeállítását, valamint távoktatást (Eutelsat W6 /21,5 K platformmal). A SatNEx hálózat gyümölcsöző kapcsolatot épít ki az európai űriparal és tevékenyen közreműködik a műholdas kommunikációra vonatkozó nemzetközi szabályozási és szabványosítási kérdések megoldásában.

A Szélessávú Hírközlés és Elméleti Villamosságtan Tanszék (HVT) kutatócsoportja, Dr. Frigyes István egyetemi tanár vezetésével, magyar részről tagja a SatNEx hálózatnak. A tanszéki csoport kutatási munkái a digitális műholdas kommunikáció témaköréhez kapcsolódnak, felölelve a fix és mobil műholdas kommunikáció rádiócsatorna komplex vizsgálatát, azaz a csatorna-modellek, a terjedési kérdések, a műhold-beltéri kapcsolat, a diverziti technikák, a szoftver rádió témákat. A hazai és a nemzetközi eredmények 2006 tavaszán megjelenő könyvekben lesznek olvashatók, részben on-line formában (Influence of the Propagation Channel on Satellite Communications), részben a Springer kiadónál elérhetően (Digital Satellite Communications).

A SatNEx program folytatódik és a 2006. áprilisában indult SatNEx II fázisba már az ESA is bekapcsolódik. A SatNEx programról további információk találhatóak a [www.satnexus.org](http://www.satnexus.org) honlapon.

*Dr. Gödör Éva, [eva.godor@mht.bme.hu](mailto:eva.godor@mht.bme.hu)*



### Jelentős mértékben nőtt az elmúlt két évben az IT döntéshozók érzékenysége az információ biztonságra

A Business Software Alliance (BSA) kutatása szerint az elmúlt két évben jelentős mértékben nőtt az európai és az észak-amerikai IT döntéshozók érzékenysége az információ biztonságra. A válaszadók 78%-a ma a korábbiaknál több figyelmet fordít az IT biztonsággal foglalkozó projektekre és nagyrésztük kezdeményező módon lép fel ebben a témában.

A BSA megbízásából a Forrester Consulting által végzett kutatás során az Egyesült Államok, Franciaország, Kanada, Nagy-Britannia és Németország 410 információ technológiai döntéshozóját kérdezték meg.

A kutatás azt is megállapítja, hogy a válaszadók majd háromnegyede az üzleti tervezési folyamat alapelemének tartja a biztonság kérdését, 81%-uk pedig leginkább amiatt az üzleti veszteség miatt aggodódik, ami egy esetleges leállás következtében érné. Figyelemreméltó az a tény is, hogy a döntéshozók 63%-a beismeri, hogy ügyfelei rendszeresen érdeklődnek biztonsági rendszereik állapota felől, 70%-uk pedig pontosan az ügyfelek érdeklődése nyomán vizsgálta felül biztonsági rendszereit.

Európában a BSA aktívan támogatja a kormányokat abban, hogy a társadalom szereplőiben jobban tudatosítsák a biztonság hiányából fakadó kockázatokat, segítsék a hálózat biztonságát és az olyan „public-private” együttműködési modelleket, mint amilyen például az Európai Hálózat- és Információbiztonsági Ügynökség (European Network and Information Security Agency – ENISA).

A BSA támogatja az Európai Uniónak az internetes támadások büntetésének érvényesítésére vonatkozó döntését is.

# Élet egy csillag szomszédságában

FERENCZ CSABA, E. FERENCZ ORSOLYA, LICHTENBERGER JÁNOS, SZÉKELY BALÁZS  
ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Űrkutató Csoport, spacerg@sas.elte.hu

STEINBACH PÉTER

MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutató Csoport

BODNÁR LÁSZLÓ

BL Electronics, bodnar@bl-electronics.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** bolygókutatás, plazmakutatás, hullámterjedés, SAS-műszer

A cikk az űr kutatás, s így a hazánk szempontjából különösen fontos európai, ESA kutatás egyik mai, kiemelt fontosságú területét mutatja be, amelynek keretében arra keresnek érdemi választ, hogy mik azok a sajátos körülmények, amelyek lehetővé teszik az életet, és ennek részeként a civilizációnk tartós fennmaradását egy csillag, a Nap szomszédságában. E kérdés megválaszolásának kulcsfontosságú területe a plazma-környezet felmérése és működésének megértése mind a Föld, mind a szomszédos, elsősorban Föld-szerű bolygók (Vénusz, Mars, Merkúr) esetében. A válaszok birtokában érdemben többet fogunk majd tudni a földi élet megóvásának segítése érdekében teendő lépésekről, s az azt veszélyeztető folyamatokról.

## 1. Bevezetés

Sokaknak furcsán provokatív lehet a címben megbújó kérdés. Talán nem természetes, hogy így van, ahogyan megéljük? Nem természetes, hogy élet van egy csillag, egy „szelíd” sárga csillag szomszédságában? Nem természetes, hogy e közeli csillag, az „anyacsillagunk” éppen az életfeltételeket biztosítja? Mi a gond, ha van egyáltalán? Pedig a cím nem a szerzők találmánya, hanem az Európai Űrügynökség, az ESA egyik kutatási főirányának a címe [1], s meghatározza az űrtevékenységet legalább 2025-ig az Európai Unió (EU) számára is irányt adva. De hasonló címek alatt ugyanez a kutatási főirány megjelenik az amerikai, az orosz stb. űrkutatási célok között is. Miről is van szó?

Az első műhold startjával megindult aktív űrtevékenység elmúlt majd ötven éve alatt sokat megtudtunk kozmikus környezetünkről, s anyabolygónk, a Föld működéséről. De természetesnek vettük, hogy a földön oly szelídek, simogatóan meleget és fényt sugárzóknak mutatkozó, s az élet fennmaradáshoz elengedhetetlen energiát sugárzó, kedves csillag, a Nap a szomszédunk, s hogy e szomszédság egyik következményeként élhetünk a Földön.

Azonban az elmúlt fél évszázad alatt a Napról, s általában a csillagokról is sokat megtudtunk. A kibontakozó kép pedig sokkal összetettebb, mint a régebbi volt, amiről tanultunk, hallottunk. Megismertük a Naprendszer működésének alapjait, s központi csillagunk aktivitását. Nemcsak a földfelszínről vizsgálhattuk működését, hanem műholdakról, űrszondákról a Föld légkörének szűrőhatása nélkül! Ráadásul eközben sokat megtudtunk, szintén műholdakra telepített szokásos (optikai) és speciális (infravörös, ultraibolya és röntgen, gamma) „távcsövek”, azaz távérzékelő műszerek segítségével a csillagok, közöttük a sárga csillagok működéséről is.

Megtanultuk, hogy mind Naprendszerünk működésében, mind általában is az elektromágneses hullámok

(azaz a látható és nemlátható „fény”) mellett a pozitív és negatív töltött részecskékből álló, a bolygók felső légkörét, a bolygóközi teret, a csillagközi teret stb. kitöltő és köznapi értelemben szokatlan tulajdonságokkal rendelkező közeg, a plazma játszik döntő szerepet, amelynek tulajdonságai attól is függenek, hogy van-e jelen állandó (azaz csak igen lassan változó) mágneses tér vagy nincs.

E két tényező – a fény (elektromágneses sugárzás) és a plazma – szabja meg alapjaiban az energiaátviteli folyamatokat mind a bolygók, mind a Naprendszer egésze esetében, mind ennél nagyobb léptékekben is. Ezért is kapott külön nevet az ESA ilyen irányú kutatásainál: a Plazma Univerzum („Plasma Universe”) vizsgálata.

E plazma megismerésében a legjobb eszköznek éppen a rajta áthaladó elektromágneses hullámok részletes mérése és alakjuk pontos elemzése bizonyult, mert ebből – ha a mérés mellett ki is tudjuk számítani e mért és igen sokszor rendkívül meglepő alakú jeleket közvetlenül a Maxwell-egyenletekből – mind a mért jel forrására, mind az átjárt közeg (plazma) tulajdonságaira, a terjedés során lejátszódó folyamatokra tudunk pontos és érdemi következtetéseket levonni.

Természetesen a teljesen szokatlan (anomalisztikus) alakú jelek feltűnése a mért adatokban egyben új feladatot jelent az elméleti kutatásnak, hogy találjuk meg azokat a jel-közeg kölcsönhatási összefüggéseket és azok birtokában a Maxwell-egyenletek azon megoldásait, amelyek megfelelnek a mért anomalisztikus jelalakoknak. Ezen elméleti válaszok pedig egyben megadják azokat a körülményeket, amelyek következtében az addig szokatlan jelformák a keletkezés, a terjedés vagy mindkettő során meghatározó szerepet játszanak, s amelyekről még eddig nem tudtunk. Ezért rendkívüli mértékben megnőtt a hullámterjedési mérések és elméleti kutatások jelentősége, hiszen az egyik legfontosabb szondázó eszközünk és egyben indikátorunk éppen az elektromágneses tér.

A címet pedig az indokolja, hogy – röviden és leegyszerűsítve leírva a lényegét – a Naptól (és kisebb mértékben a tágabb kozmikus környezetünkből) származó hatások együttese a maga teljességében veszélyes, halálos, s a többi Föld-típusú bolygó vagy egyáltalán nem is hordoz életet (pl. Vénusz), vagy legfeljebb igen egyszerű életforma képzelhető el rajta, ha egyáltalán van rajta valamiféle élet (pl. Mars), de lehet, hogy nincs is. A Föld nagyon egyedinek mutatkozik, de az exobolygókról (más csillagok körüli bolygókról) és a más, a mi Tejútunkon kívüli spirálgalaxisokról [2] szerzett ismereteink alapján a Naprendszer is és a Tejút is sajátos, nem tipikus.

Földünk egyedisége (és a Naprendszer, s a Tejút sajátossága), mint kiderült, alapvetően fontos ahhoz, hogy a fejlett bioszféránk, az emberiség, a civilizációnk létezhessen. A Földet a bolygóközi térből érő veszélyes, akár halálos hatások azonban nem érik el a felszínt, a bioszférát. Ha egyáltalán valami átjut belőlük, az is nagyon lecsillapítva. Ugyanis, mint kiderült, Földünk körül a magaslégkör, amelynek meghatározója a Föld mágneses tere által előmágnesezett plazma, nem engedi át közvetlenül e hatásokat.

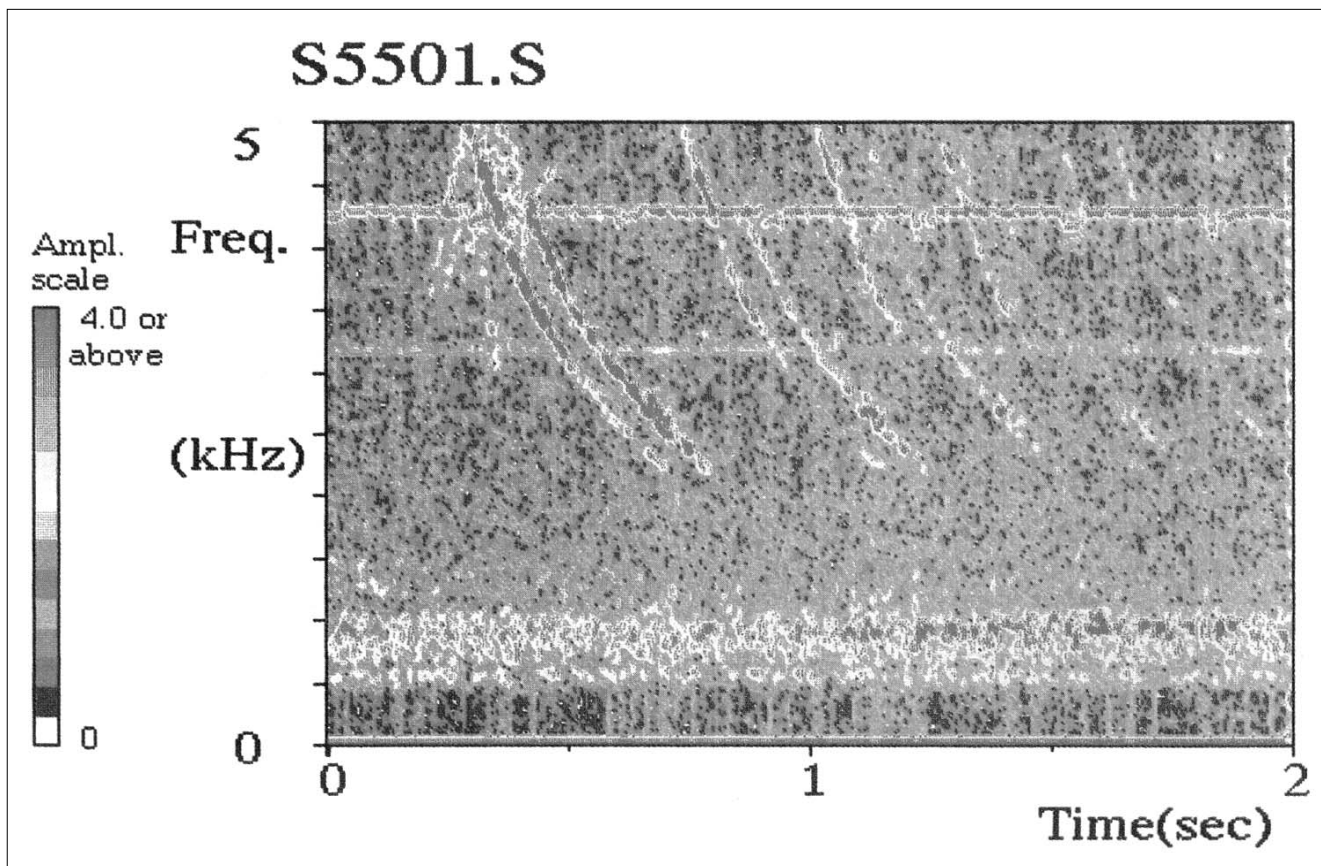
Légkörünk úgy működik, mint egy sávszűrő, amelyet az erős mágneses térrel is rendelkező bolygónk és a rajta lévő bioszféra tart fenn együtt. Így a biológiai ritmustartományba eső 10~30 MHz alatti jelek és a napkitörésekből a Földet elérő nagy részecskeáramlások

nem tudnak közvetlenül lejutni a felszínre és ott megzavarni az élővilág működését. Ugyanígy a szénláncot romboló ultraibolya és annál magasabb frekvenciájú röntgen és gamma sugárzások sem jutnak le a felszínre. Még a Föld átlaghőmérsékletét is e légkör állítja be, amelynek összetételét viszont a bioszféra.

Anélkül, hogy ezt az új képet tovább taglalnánk, mondhatjuk, hogy a Föld nagyon egyedi. Hiszen a többi Föld-típusú bolygó meg egyáltalán nem ilyen. De ez az egyediség, amelyben az a különösen „zavaró”, hogy mindezért – mai tudásunk szerint – a bolygó és a rajta lévő élet együttesen felelős, az élet kezdeteitől fogva szükséges az élet működéséhez és megmaradáshoz egy csillag, a Napunk szomszédságában. (Vadabb csillag szomszédságában még így sem maradhatnánk meg.)

A legalapvetőbb kérdés azonban, hogy miért ilyen sajátos a Föld. Ennek megválaszolásához pedig a Föld további műholdas és kiegészítő földfelszíni kutatása mellett alaposan meg kell vizsgálni a Naprendszer egészét, s különösképpen is a Föld-típusú bolygókat és a nagy bolygók körül keringő, hasonló nagyságú égitesteket, a nagybolygók holdjait. Hiszen a földi élet tartós megmaradása feltételeit kell és lehet így tisztázni, aminek megértése egyben közvetlenül szolgálja a civilizációnk fennmaradása feltételeinek és az ehhez szükséges kormányzati, nemzetközi intézkedéseknek a megfogalmazását is.

1. ábra Whistler kettősök szokványos FFT képe  
E whistlereket az első SAS műszer regisztrálta az Interkozmosz-24 „Active” műhold fedélzetén  
1990. december 14-én, a regisztrátum kezdő időpillanata 13:14:10 UT. [3]



## 2. Az elektromágneses monitorozás, térképezés

Az űrtevékenység kezdeti évtizedeiben is folytak elektromágneses tér mérések, azonban ezek csak szűrőpróbák voltak mind a földi környezetben, mind más bolygók és a bolygóközi tér esetében. Ezek egyike volt az Interkozmosz-24 („Active”) műhold fedélzetén repült és több éven át sikeres méréseket végzett magyar kísérlet, az első SAS (Signal Analyser and Sampler) műszer működése [3]. E szűrőpróbák keretében sok értékes adat született, amire egy példát láthatunk az 1. ábrán.

A több évtized alatt a több szűrőpróba szerű műholdas mérés egyrészt lehetővé tette a Föld felsőlégköre (magnetoszférája, plazmaszférája) jobb megismerését. A várt vagy korábbi, földfelszíni mérésekből ismert jelek mellett (például a szabályos whistlerek) a felszínen nem mérhető, de végülis az elméleti modellek, a Maxwell-egyenletek alapmegoldásai szerint várható jeleket is találtak, találtunk (például az úgynevezett ion-whistlerek). Azonban a legjobban, legintenzívebben vizsgált Föld esetében is az összes ezirányú műholdas mérés nem lépte túl az időnkénti, azaz eseti szűrőpróbák szintjét. Hiszen valójában még a folyamatosnak nevezett földfelszíni elektromágneses tér mérések is csak a nap 24 órájának töredékére, néhány százalékára terjedtek ki, s terjednek ki ma is a legtöbb obszervatóriumban. Vagyis óránként néhány percre mérjük az elektromágneses teret (az ULF-VLF, a 20<40 kHz-es sávban). Ez pedig az elektromágneses környezetünk megismerésében csak szűrőpróba.

E helyzetet mind a földfelszíni, mind a műholdas mérések esetében tovább nehezítette, hogy a mért adatok értékeléséhez kutatói közreműködés kellett e feladat bonyolultsága miatt. Vagyis minden egyes regisztrált jelenség értékelése, akár műholdon mértük, akár a földön, kutatói munkaórát igényelt. Más szóval, re-

mény sem volt ekkor arra, hogyha megvalósítható lenne az elektromágneses tér valóban folyamatos mérése, akkor a mért adatokat e régi módon fel lehetne dolgozni. Így ma nincs áttekintő képünk még a Föld esetében sem, sem a felszínen, sem pedig a magaslégtérben. Viszont az kiderült, hogy a szűrőpróbákkal szerzett adatok rendkívül informatívak, szükségesek bolygók működésének megértéséhez.

Ráadásul éppen ez a jelenségkör, vagyis az elektromágneses tér és a plazma-környezet az, ami egyrészt a legtöbb információt hordozza a Nap-Föld kölcsönhatásról, beleértve az életre alkalmasság fennmaradását is, másrészt jelei látszottak annak, hogy sok, esetenként váratlan vonatkozásokban is az elektromágneses környezetben a bolygót jellemző hatások is markánsan megjelennek. Ilyen vonatkozás például a bolygó szilárd kérgének aktivitása (vulkánosság, szeizmika), amelynek indikációit az elektromágneses környezetben fel lehet lelteni.

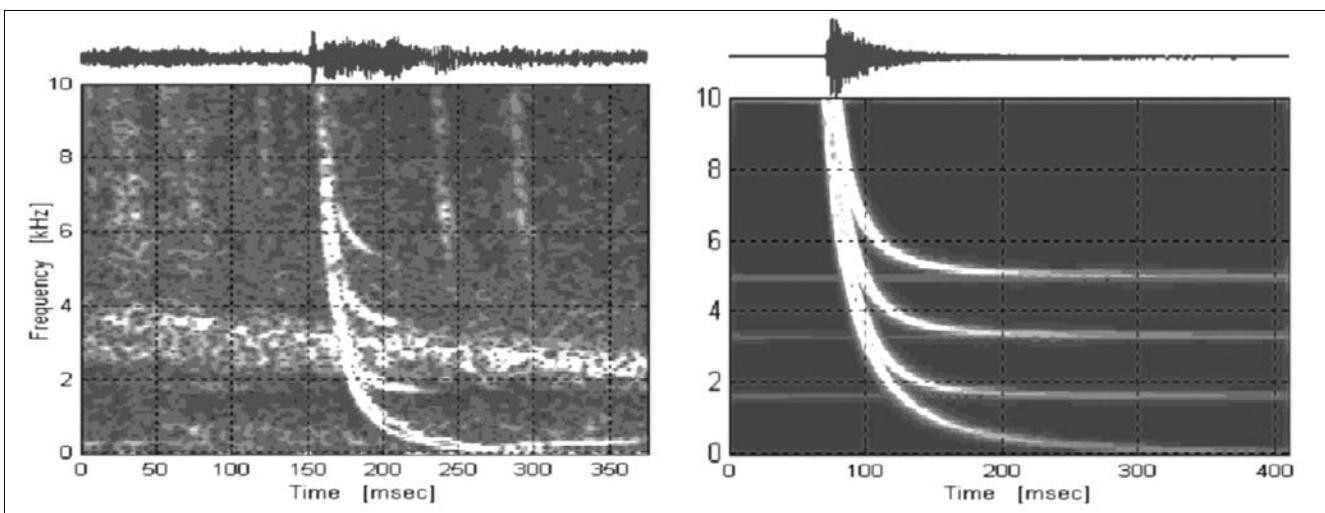
Más bolygók esetében a felmérések még esetlegesebbek. Ezekből azt tudjuk, hogy e bolygók is, mind a belsők, azaz a Merkúr, Vénusz és a Mars, mind a külső nagyok és holdjaik elektromágneses környezete is aktív és az égitestre jellemző. De csak szórványos mérési adataink vannak róluk. Még a Hold elektromágneses környezetét sem mértük fel, annyira sem, mint a Föld közelebbi környezetét.

Ahhoz azonban, hogy a Naprendszer és benne a bolygók és a fontosabb holdak állapotát, dinamikáját meg tudjuk ismerni és jelen állapotuk vélhető okáról pontosabb képünk legyen, teljes képet kellene kapjunk ezek elektromágneses környezetéről, az ott feltűnő jelekről, e jelek típusairól, majd az elméleti hullámterjedési megoldások, modellek segítségével a mért jelek forrásairól (például villámlás okozta, azaz ott van villámlás; vagy vulkánosság okozhatta, azaz ott van vulkánosság; vagy szeizmikus aktivitás okozhatta, azaz van mozgás a szilárd kéregben) és a jelek terjedése során ér-

2. ábra

A földfelszín-ionoszféra hullámvezetőben, majd az alsó ionoszférában a műholdig terjedt kis diszperziójú jel és annak FFT képe

a) a DEMETER műhold egyik felvétele egyik részletén, b) a modellszámítás eredményén





vényesült hatásokról (azaz milyen az átjárt közeg, az ottani magaslégkör szerkezete, dinamikája, kölcsönhatása a Napból jövő hatásokkal, a bolygóközi térrel stb.)

Ezért a Föld esetében megkezdődött az elektromágneses tér szisztematikus monitorozása és az első lépés e tér teljes térképezéséhez. Ebben van érdemi magyar hozzájárulás is. Nemcsak a tényleges megvalósításban, hanem magának e folyamatnak a megindításában, ezen monitorozás és térképezés szükségességének bemutatásában is. Ennek alapja, hogy új utat találtunk a Maxwell-egyenletek, a hullámterjedési feladatok megoldására, a jelenségek leírására. Így olyan jelek pontos leírását is sikerült megtalálni, ami más módon nem is lehetséges.

Az így kibontakozó kép és az így adódó új lehetőségek, azaz a folyamatos mérés és egyidejű, teljesértékű felfeldolgozás és értékelés lehetősége érdemi szerepet játszik abban, hogy a Föld és a Naprendszer más égitestjei esetében a teljesértékű elektromágneses monitorozás és az elektromágneses környezet térképezése meginduljon. A Föld esetében az első monitorozó űreszköz a francia (CNES) Demeter műhold, amelynek fő feladata az elektromágneses tér részletes felmérése az ULF~VLF és kis részben az RF sávokban. E programban az adatok értékelésében és értelmezésében veszünk részt, s az eredmények egyikét éppen a 2. ábra mutatja.

Azonban a startra felkészítési fázisban lévő orosz Kompas-2 műhold éppen a magyar alapműszerével egy nagyobb sorozat – reméljük sikeresen induló és majd jól működő – első tagja. A sorozat a várhatóan 16 db Vulkán holddal folytatódik a tervek szerint. E műhold-család egésze már teljesértékű elektromágneses térképezést végezhet a Föld körül. Várt eredményei csakúgy, mint a Demeter műholdé egyrészt a Föld szeizmikus aktivitásának és vulkánosságának pontosabb vizsgálata a földrengések esetleges előrejelezhetőségének kiderítése céljával, amire jók az esélyek. Másrészt a légköri, mind az alacsonylégköri, mind a magaslégköri jelenségek felderítésére és térképezésére. Utóbbi azért is fontos, mert a globális változások – közzismert, de nagyon pontatlan megjelöléssel az úgynevezett globális felmelegedés – egyik kísérőjelensége biztosan a légköri zivartartékonyság, a légköri villámások sűrűségének és eloszlásának megváltozása. A villámások folyamatos felmérésének egyik legjobb eszköze az általuk keltett elektromágneses jelek műholdas (és egyidejű földfelszíni (pl.[4]) folyamatos detektálása, azonosítása és értékelése.

A más égitestek, a Föld-típusú bolygók és a nagy holdak esetében a helyzet azért nehezebb, mert a költségek miatt vizsgálatuk általában is lassan halad előre, miközben a róluk szerzett információk Földünk állapotának és működésének megértéséhez alapvetően szükségesek. De a tervezési/javaslattételi szakaszban lévő missziók esetében már megjelent a szisztematikus elektromágneses felmérés. Így az ESA és a JAXA közös vállalkozásaként a Merkúrhoz a tervek szerint 2012-ben induló új, kettős szonda, a BepiColombo úgynevezett

Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) egysége fedélzetén lesz komplex plazma hullámmérő egység (PWI), amelynek létrehozásában részt veszünk. E Naphoz közeli helyen várhatóan sok új információhoz juthatunk részben a Napból érkező hatások jobb megismerésével, részben a Nap-Merkúr kölcsönhatás tanulmányozásával.

Azonban a Naprendszeren belül a Vénusz hasonlít legjobban a Földre, mert majdnem egyforma nagyk. (A Vénusz tömege a Föld tömegének 0,8-e, van sűrű légköre.) De egyben a Vénusz a belső és a Földhöz hasonló méretű bolygók közül igen nagy, talán a legnagyobb mértékben különbözik is a Földtől, mert a felszíni légnyomása hihetetlenül nagy csakúgy, mint a felszíni hőmérséklete, s a légköre sokkal gyorsabban kering meg a bolygót, mint ahogyan az a tengelye körül forog. (Ezt hívjuk légköri szuperrotációnak.)

Hogyan alakult ki e nagyonis Föld-szerű bolygón ez a rendkívüli állapot? A mágneses tér hiánya okozhatja-e a különbségek egyikét-másikát és ha igen, mit? Egyáltalán miért ilyen a Vénusz? Most milyen az állapota és a dinamikája? Előfordulhat-e ilyen átalakulás a Földön is? Esetleg éppen civilizációnk helytelen működése vagy természeti folyamatok miatt? A kérdések sora hosszú, s mind érinti a földi életfeltételeket.

Ezért a Vénusz kutatásának folytatása fontos, s az ESA a közeli jövőben vizsgálja meg az eddignél jobb Vénusz-felmérést lehetővé tevő, úgynevezett Venus Entry Probe misszió lehetőségét. Ennek is része a magyar javaslat a Vénusz elektromágneses monitorozására és az elektromágneses környezet térképezésének megkezdésére.

### 3. Magyar műszerek: a SAS család

A magyar hozzájárulás, amelyre az előzőekben utaltunk, azért jelent meg, mert újat tud hozni a korábbi eljárásokhoz képest. Az új alapja két elméleti gyökér: a Maxwell-egyenletek megoldásának gyökeresen új eljárásai és a méréstechnika olyan új elméleti eredményekkel történt megváltoztatása, amely lehetővé teszi a jelek folyamatos mérését. A Maxwell-egyenletek új megoldásai a régebbi fizikai kép helyére egy új és korrekt fizikai kép megalkotásán alapulnak, s megérnek egy külön összefoglalót (lásd az „Új utakon a hullámterjedés leírása” című cikket). A szisztematikus és folyamatos hullámmérések lehetőségét pedig olyan új megközelítés adja, amely egyrészt felismeri azt, hogy valamilyen diszkrét elektromágneses jelenség érkezett a műszerbe, s az új megoldásokat is használva képes annak eldöntésére, hogy milyen típusú a beérkezett jelenség, érdekes-e vagy sem, másrészt a detektált „érdekesnek” minősített jelenségből azonnal képes a fontos jellemzőket származtatni (lásd a „Változóban a Föld-képünk” című cikket).

A mindezek és az első SAS-műszerrel szerzett tapasztalatok alapján kifejlesztett új SAS2 és SAS3 műszerek, amelyek remélhetően rövidesen repülnek mind

a Kompas-Vulkán műhold-család, mind a Nemzetközi Űrállomás (ISS) fedélzetén, a következőket tudják:

Úgy képesek az elektromágneses tér monitorozására, hogy eközben csak kezelhető és a Földre továbbítható mennyiségű adat keletkezik. Elkészítik a Föld illetve más bolygók elektromágneses, úgynevezett zaj-térképét, vagyis a folyamatos elektromágneses háttér képét. (Ugyanezt tudják mérni egy bolygóközi repülés során is a szonda pályája mentén folyamatosan.) Észlelik, ha valamilyen szignifikáns, diszkrét jel érkezik az elektromos és mágneses érzékelőkre.

Ezt a funkciót nevezzük jelenség (event) detektornak, s ekkor eltárolja a beérkezett jel pontos időfüggvényét, lehetővé téve annak tudományos vizsgálatát. Itt mód van arra is, hogy kiválasztott jeltípusokat külön osztályozzon és tároljon el, ha ez majd a későbbi kísérletek során, a már megszerzett információk birtokában szükségessé válik. Végül a diszkrét jelenségek (eventek) észlelésekor ki tud adni kapcsolójelet, amely az űreszköz többi műszerét indítja, biztosítva, hogy a jelenséggel egyidőben a többi műszeren fellépő változásokat is megmérve komplex és interdiszciplináris értékelést lehessen végezni, eddig feltáratlan kapcsolatokat észrevenni. A BepiColombo Merkúr-szonda esetében a feladatunk éppen a jelenség-detektor és kapcsolójel generálási funkció megvalósítása a nagyon integráltan épülő MMO rendszer keretében, biztosítva a Merkúr körül az elektromágneses monitorozás valódi lehetőségét.

#### 4. Összegzés

Kiderült, hogy nem triviális az élet jelenléte és megmaradása egy csillag szomszédságában. Persze stabil sárga csillag, azaz esetünkben a Nap nélkül sem lehetséges az élet. De bonyolult rendszer megléte szükséges ahhoz, hogy az élet e még alapvető szelídségében is veszélyes szomszédságban megmaradjon, a szükséges energiát a szükséges formában a csillagtól megkapja, de a veszélyes hatások ne ériék el a bioszférát. E rendszer működésének egyik kulcseleme a plazmakörnyezet, s annak vizsgálatára különösen is alkalmas az elektromágneses tér folyamatos monitorozása és térképezése.

Ehhez nyitották meg az utat az elektromágneses jelek számításában (modellezésében) és folyamatos mérésében, automatikus jelészlelési és automatikus értékelési technikájában elért új eredmények. Ezzel újfajta (műholdas, űrszondás és földfelszíni) távérzékelési technika birtokába jutottunk, amellyel megkezdődött bolygónk felmérése, s ez hamarosan kiterjed kozmikus környezetünk feltérképezésére is.

#### Köszönetnyilvánítás

E munkák alapvetően a Magyar Űrkutatási Iroda (Informatikai és Hírközlési Minisztérium) támogatásával folytak és folynak az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen és a BL Electronicsnál. A munka egy részében MTA támogatást is használtunk, használunk részben az MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport munkájaként, részben az OTKA T037611 és F037603 lezárult szerződés keretében.

#### Irodalom

- [1] Bignami G.F.:  
European Vision for Space Science;  
Space Research Today, COSPAR Inf. Bulletin, 2005.  
No.164, pp.8–15.
- [2] Balázs B.A.:  
The Anthropic Principle and our Location in the Galaxy;  
IAU Bioastronomy, Reykjavik, Iceland, 12-16 July 2004.
- [3] Lichtenberger J., Tarcsai Gy., Pásztor Sz., Ferencz Cs., Hamar D., Molchanov O.A, Golyavin A.M.:  
Whistler doublets and hyperfine structure recorded digitally by SAS on Active satellite?;  
J. Geophysical Research, 96, A 12, 1991.  
pp.21149–21158.
- [4] Erhardtne Ferencz O. és Ferencz Cs.:  
Elektromágneses impulzusok terjedésének vizsgálata különböző közegekben;  
Híradástechnika, LIX., 2004/5, pp.18–24.



# Elosztott intelligenciájú automatizált rendszer a VenusExpress űrmisszió kísérletének kalibrálására

BALAJTHY KÁLMÁN, SULYÁN JÁNOS, SZALAI LAJOS

KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, {balajthy, sulyan, szlajos}@rmki.kfki.hu

SÓDOR BÁLINT, LIPUSZ CSABA, DR. SZALAI SÁNDOR

SGF Kft., {soba, lipusz.csaba}@freemail.hu, szalai@sgf.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** PC/104, elektromos leválasztás, rt-linux, LabWindows, párhuzamos programszálak

A VenusExpress az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) első kísérlete a Vénusz kutatására. A KFKI RMKI kutatói az ASPERA-4 (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) kísérlethez automatizált kalibráló-rendszert alakítottak ki. Az elosztott intelligenciájú adatgyűjtő rendszer PC/104 típusú processzoros kártyákra épülő, valós idejű operációs rendszerrel történik, a kezelői felület programja egy hordozható számítógépen Windows XP alatt fut. A rendszer sajátossága az egyes komponensek nagyfeszültség elleni védelme, elektromos leválasztása.

## 1. Bevezetés

A Vénusz kutatását a múltban orosz és amerikai űrszondák végezték. A legközelebbi bolygóról a legtöbb ismeretet a NASA Magellán űrszondája szolgáltatta. Az ESA a VenusExpressben a MarsExpress űrszondájának fődarabjait használja. Az eltérő feladatból és környezetből adódóan jelentős módosításokra is szükség volt. Ezek közül a legfontosabb volt a hővédő-rendszer átalakítása, másrészt a négyszer nagyobb sugárterhelés miatt az elektronikákat sugáráztúrően kellett kialakítani.

A VenusExpresset a kazahsztáni Bajkonurban lévő űrközpontból 2005 novemberében Sojuz-Fregat rakétával indították. Az átrepülés 153 napig tart. A pálya a Vénusz sarkai felett húzódik, a legközelebbi pontja 250 km, a legtávolabbi, pedig 66 000 km a bolygótól. A bolygó térképezése mintegy 500 földi napig, azaz 2 Vénusz napig tart.

A KFKI RMKI kutatói az ASPERA-4 (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) kísérletben vesznek részt. Az ASPERA-4 kísérlet új információkat fog szolgáltatni a Vénusz közelében a plazma és a semleges gázok csatolásáról. Ezek az ismeretek alapvetőek a plazma folyamatok és a tömegegyensúly megértésében, a felső légkör, az ionosféra és a bolygófejlődés kutatásában. Az ASPERA-4 interdiszciplináris kísérlet a bolygó kutatás és az űrbeli plazma fizikájának területén.

A KFKI RMKI feladata az ASPERA-4 kalibrációjának biztosítása, amely elengedhetetlen a Vénusznál végzett mérések helyes kiértékeléséhez. A kalibrálás céljára automatizált kalibráló-rendszert kellett kialakítani a svédországi kirunai intézet (Institutet för rymdfysik – IRF) részecskegyorsítója mellett. A kalibrációs rendszer az ASPERA-4 kísérlet érzékelőinek az ionforrással való hitelesítésére szolgál, amelynek automatizálása nagyban meggyorsítja, és reprodukálhatóvá teszi a hitelesítő méréseket.

A megvalósított kalibráló rendszert az IRF fejlesztőivel együtt telepítettük 2005 tavaszán. Az elosztott in-

telligenciájú rendszer PC/104 típusú processzoros kártyákra épül, és a hordozható számítógéppel TCP/IP protokollon keresztül tartják a kapcsolatot. Ezek az Intel processzorokkal kompatibilis kártyákon Linux alapú valós idejű sokfeladatos operációs rendszer fut, míg a hordozható számítógép Windows rendszerben működik.

## 2. Hardver

A kalibráció automatizálására szolgáló rendszer hardver összeállításánál figyelembe kellett venni a meglévő kalibrációs laboratórium adottságait, a rendelkezésre álló helyet, az elektromos felületek és illesztő felületek paramétereit, elosztottságát és hogy a végcél a mért értékek, illetve szabályozási paraméterek egy képernyőn történő összegyűjtése, áttekinthető kiértékelhetősége volt. Speciális követelményként merült fel az egyes mérőállomások egymástól történő elektromos izolációja, nehogy egy adott helyen esetleg bekövetkező nagyfeszültségű átütés, illetve zavar tovaterjedhessen.

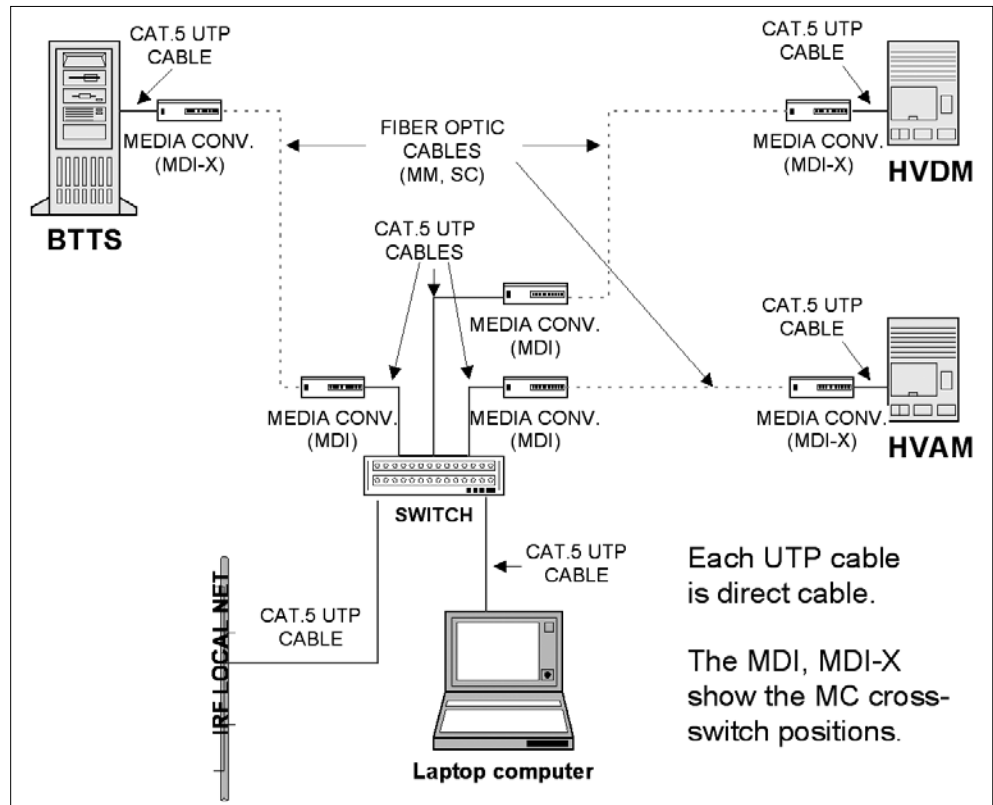
Cél volt, hogy a mérő egységek a mérendő mennyiségekhez közel legyenek elhelyezhetők a rendelkezésre álló viszonylag szűk helyen, és hogy a mérőállomás jövőbeni bővíthetősége is biztosítva legyen. Ezért választottuk a PC/104-es rendszer elemeit a hardver kialakításához. A kereskedelmi forgalomban kapható modulokhoz így mindössze három speciális hardver egységet kellett kifejlesztenünk. Figyelembe véve a mérendő értékek elosztottságát, három mérő-beavatkozó állomás kiépítése volt célszerű. Ezek Ethernet alapú lokális hálózattal kapcsolódnak a vezérlő-adatgyűjtő központi számítógéphez. Először az állomások elektromos izolációjának biztosítása végett vezeték nélküli (wireless) hálózat kialakításra gondoltunk; de a nagyszámú rádiófrekvenciás zajforrás és a már ott meglévő wireless hálózat miatt végül is a biztonságos kommunikációt lehetővé tevő üvegszál-optikai kábelezést választottuk.

A megvalósított rendszer (1. ábra) üvegszál-optikai lokális hálózata 100 Mbit/s-os sebességgel működik, és bőséges tartalékkal rendelkezik a szükséges adatforgalom lebonyolításához.

Az „izolált kommunikáción” kívül a tápellátás izoláltságáról is gondoskodni kellett, hogy az egyes mérőhelyek a különböző csatlósokon keresztül a legkisebb mértékben befolyásolhassák egymást (2. ábra). Ha valamelyik mérőhely vészkipcsolására lenne szükség, azt a rádiófrekvenciás hálózati kapcsolóval gyorsan, a veszélyeztetett helytől távolról lehet megtenni.

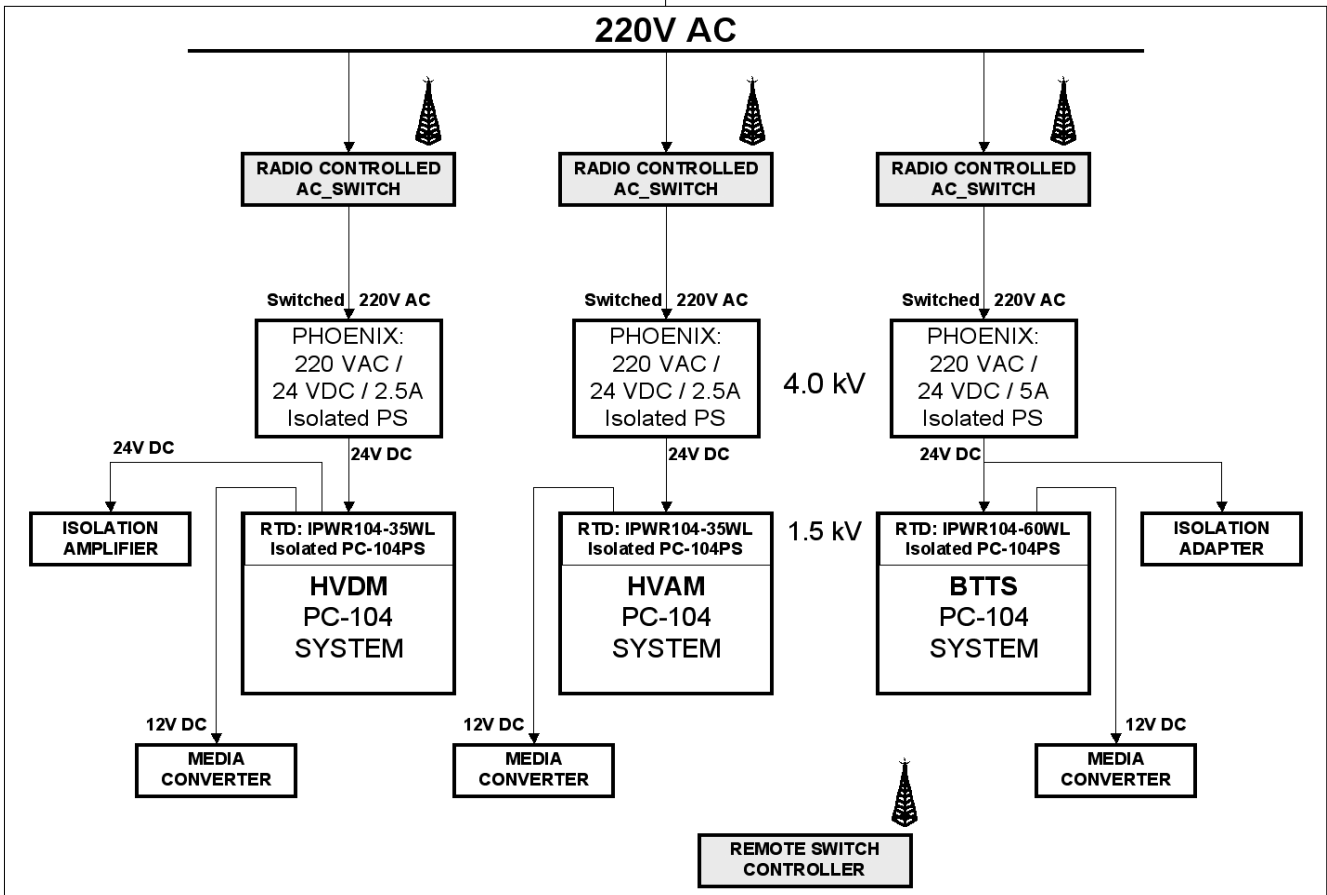
Az egyes mérőállomások fő funkciói:

1. **HVDM**: (High Voltages Direct Measurement: nagyfeszültségek közvetlen mérése). A nagyfeszültségeket a kalibrációhoz szükséges ion-generátor nagyfeszültségű bemenetein méri az általunk kifejlesztett nagyfe-



1. ábra A négy számítógépet tartalmazó kalibráló-rendszer

2. ábra A tápellátás galvanikus leválasztásának vázlatja



szültségű szondák és izolációs erősítők segítségével. Az osztó láncba számos biztonsági elem került beépítésre, hogy még véletlenül se juthasson nagyfeszültség az érzékeny kisfeszültségű mérőbemenetekre.

2. **HVAM:** (High Voltages on Analog Monitor: nagyfeszültségek (mérése) az Analóg Monitorral) Az ion forrás működtetéséhez szükséges nagyfeszültségek másik részét méri. A jeleket már átalakítva, a feldolgozáshoz alkalmas módon kapja az Analóg Monitor kimenetén.

3. **BTTS:** (Beam, Turn-Table and Sensor system): ion sugár, tárgyasztal és szenzor (mérő) rendszer.

Fő funkciói:

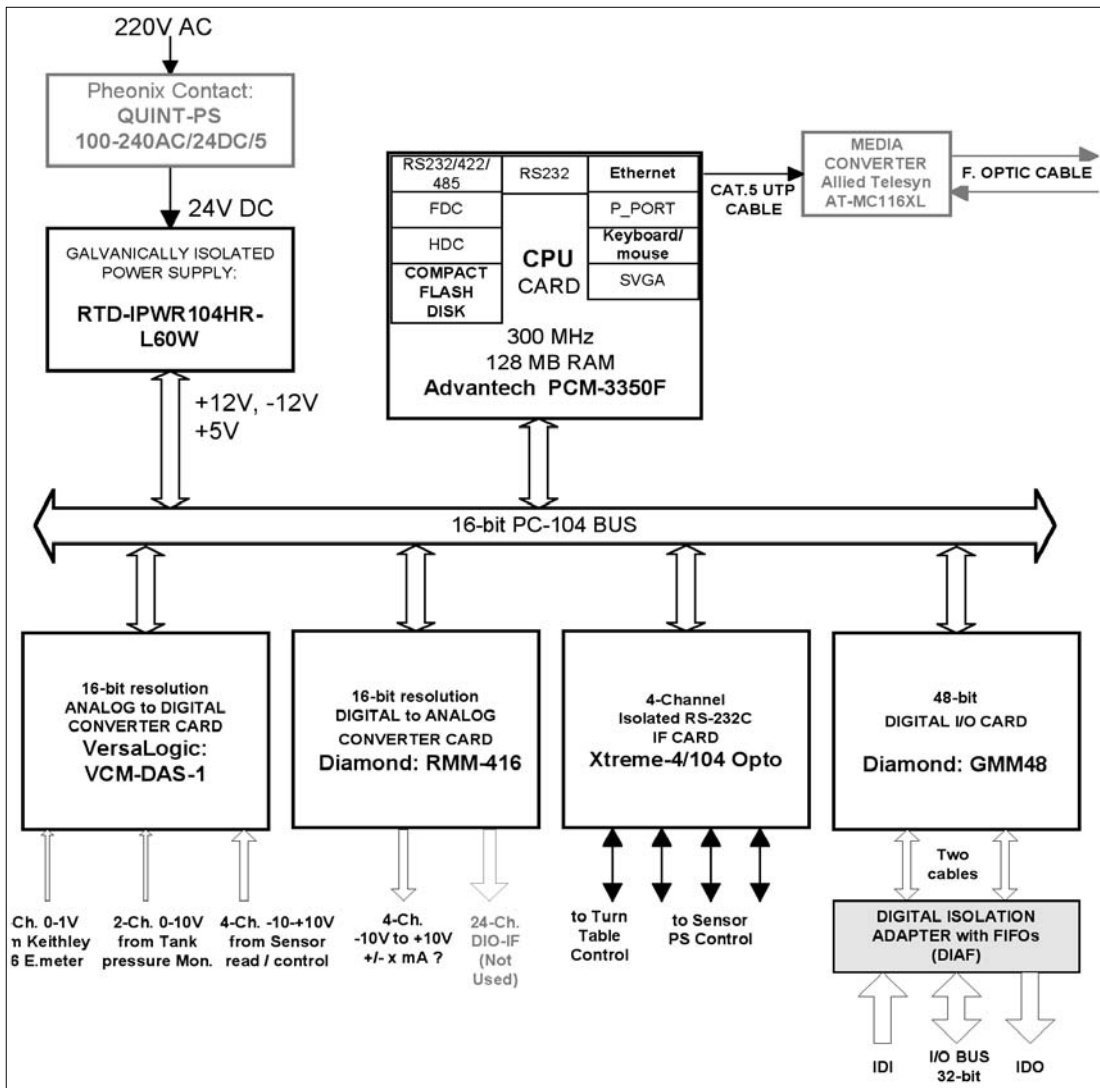
- az ASPERA-4 ENA (Energetic Neutral Atoms) érzékelőinek kalibrálására szolgáló másfél méter átmérőjű vákuum kamrában egy 10 cm átmérőjű párhuzamos ion sugár, illetve a sugár semleges komponenseinek útjába helyezett ASPERA-4 megfelelő mozgatása egy minden irányban mozgatható és elfordítható tárgyasztal segítségével
- a szenzorok által mért adatok számítógépbe juttatása
- a mérés paramétereinek (koordináták, nyomás, hőmérséklet stb.) pontos feljegyzése és mindezek központi géphez való továbbítása.

A BTTS egység blokk vázlata a 3. ábrán látható.

A szenzorok adatainak vákuumkamrából való kihozatalához ki kellett fejleszteni egy Digitális Izolációs Adaptert, amely 32-bites 4 MByte/s-os kétirányú multiplexált vagy nem multiplexált (választható) adatbuszal, és az adatok átmeneti tárolására szolgáló 4 kilobájtos memóriával rendelkezik; valamint 3,5 kV-os izolációt biztosít a vákuumkamrában lévő eszközök és a külvilág között. Az adapter speciális kialakításának köszönhetően egy 32-bites 3,5 kV-al Izolált Digitális Input (IDI), és egy 32-bites 3,5kV-al Izolált Digitális Output (IDO) Portot is nyújt a PC/104-es processzor számára. Ez a tulajdonsága nagyban elősegíti a BTTS funkcióinak jövőbeni bővítését, ami az ASPERA sorozat következő példányainak vagy hasonló tudományos mérőberendezéseknek vákuumkamrában történő kalibrálását könnyíti meg.

### 3. Beágyazott processzorok szoftvere

A felhasználói igények elemzése alapján nyilvánvalóvá vált, hogy olyan sokfeladatos operációs rendszerre van szükség, amely a csatlakozó jelek valós idejű kezelését



3. ábra  
A BSTM  
blokkvázlata

is biztosítja. A szűkös anyagi erőforrások viszont a költségek minimalizálására ösztönöztek. A nyílt forráskódú programok ingyen állnak a fejlesztők rendelkezésére, viszont használatuk elmélyült tudást igényel. Támogatást „csak” az interneten elérhető nemzetközi programozói közösség nyújt. Egy vásárolt program esetén elvárható kézikönyvek és gyártói segítség nem áll rendelkezésre, viszont ami probléma eddig felmerült, az nagy valószínűséggel megtalálható valamely internetes fórumon.

A Linux operációs rendszer ideális a sokfeladatos megoldások kezelésére. Időosztásos feladatütemezése viszont nem garantálja a szigorúan vett valósidejűséget. Létezik azonban a Linuxnak egy nyílt forráskódú valósidejű (real-time RT) változata, az RT-Linux: Ez egy, a legszükségesebb, de elegendő szolgáltatást nyújtó valósidejű operációs rendszer (real-time kernel), amelynek legalacsonyabb prioritású feladataként fut a megszokott Linux környezet. A valósidejű feladatok kernel modulként betölthetők és akár el is távolíthatók. Lehetőséget ad az illesztők közvetlen kezelésére, megszakítás kezelő rutinok készítésére, nagy felbontású időzítések használatára. Az RT-Linux az FSMLabs terméke, de az utóbbi időben a Valenciái Műszaki Egyetem vette át a támogatását. Külön köszönet illeti Nicholas Mcguiret alias „Der Herr Hofrat”-ot szíves és önzetlen segítségéért.

A valósidejű operációs rendszer használatát különösen indokolta, hogy négy soros vonalon illesztett eszközt kellett kiszolgálni. Többen találkozhattak már azzal a jelenséggel, hogy a soros vonalon kiadott lekérdező parancsra előbb érkezik meg a válasz, mint ahogy az azt fogadó olvasó utasítás végrehajtódna. Persze nem minden esetben, csak ha a program éppen az író és olvasó rendszerhívás között függesztődik fel. Erre pedig elég nagy az esély, ha több program fut egy hálózatba kapcsolt gépen. A következmény az üzenetváltás és a program elakadása.

Valósidejű operációs rendszer használata esetén a soros vonalak kezelése teljes egészében a programozó hatáskörébe tartozhat. A standard Linux driver használata helyett saját real-time kernel modulal optimalizálhatja az adatforgalmat. Biztosítani tudja, hogy mindig álljon rendelkezésre szabad terület az adatok fogadására, és a felhasználói programnak csak az alkalmazott protokoll szerinti teljes mondatokat továbbítson. A kommunikáció megszakadásának időzítéssel való figyelése (watchdog) is egyszerűbben kezelhető.

Nagy mennyiségű adat pontos időzítéssel való beolvasása az I/O lapról ugyancsak megoldhatatlan valósidejű operációs rendszer használata nélkül. A kalibrálható rendszerhez készült csatolókárttyáról másodpercenként több száz kilóbájt adatot kell kiolvasni, és adatvesztés nélkül továbbítani az Ethernet csatolón. Az analóg jelek konverziójának 1 kHz-es ciklusa sem lenne kivitelezhető valósidejű óra (real-time clock) használata nélkül.

Az RT-Linux alatt minden időkritikus feladat megoldható a valósidejű operációs rendszer kernel moduljai

segítségével. A kernel modulok természetesen a kernel memória területét látják. A rendelkezésükre álló címtartomány ezáltal behatárolt. A nagy sebességgel gyűjtött adatokat úgynevezett real-time fifo illesztőn keresztül lehet a Linux programoknak átadni, ahol már a virtuális címkezelés segítségével nagy adatterületet használhatnak átmeneti adattárolásra, és ahonnan az adatokat a TCP/IP protokollkezelő rutinok segítségével továbbítják az Ethernet hálózaton. A feladat ezen része már nem időkritikus. Természetesen az RT-Linux operációs rendszer sem csodaszer, a lehetetlent ennek segítségével sem lehet megvalósítani. Amennyiben adott idő alatt több adatot gyűjtünk, mint amennyit képesek vagyunk eltárolni, akkor itt is fellép az adatvesztés. Ezért fontos, hogy a projekt elején, a feladatok megfogalmazásakor már pontosan meghatározzuk, hogy mekkora idő alatt mekkora adatmennyiséget milyen módon kell kezelni.

Ezen korlátok ismeretében kell megválasztani azt a hardvert, ami képes kielégíteni az igényeket, valamint a megfelelő operációs rendszert, illetve programozási eszközöket, amelyekkel a kritikus paraméterek teljesíthetők. Az ASPERA-4 kalibráló rendszer legkritikusabb része a nagymennyiségű adat beolvasása, illetve ez Etherneten való továbbítása volt. A két folyamat közé elegendő puffert kellett illeszteni, mivel az Etherneten való adattovábbítás időviszonyai nem determinisztikusak. A feladatok két szinten való megoldása biztosítja, hogy a kalibráció minden adata pontosan mintavételezve kerüljön beolvasásra, míg az adatok továbbítása, eltárolása időben kissé késleltetve, a változó terhelést kiegyenlítve történik.

#### 4. Kezelői felület

Az érzékelők kalibrálási folyamata egy hosszantartó mérési sorozat, hogy az érzékelő paraméterfüggését nagyszámú mérési eredmény alapján lehessen meghatározni. Ez egy hosszan tartó ismétlődő folyamat, melynek során egy vagy több mérési paraméter megváltoztatásával ismételt mérési sorozatot hajtanak végre. Ez jellegzetes esete az automatizált mérőrendszereknek. Az ASPERA-4 érzékelőjének kalibrálásakor az automatizált rendszer első változatban annak négy tengely irányú helyzetét kellett vezérelni a többi paraméter mérése mellett (vákuum érték, az ionforrás különböző paramétereit biztosító nagyfeszültségek), amelyeket csak naplózni kellett. A vákuumban lévő helyzetbeállító elektronika egy USA gyártmányú készülék, amelyik nem rendelkezik abszolút helyzetviisszajelzéssel és soros RS 232 szabványú ACSII karaktervezérléssel.

Az operátori kezelő felület egy Windows XP alatt futó C nyelvben fejlesztett program. A grafikus kezelői felület kialakításának a meggyorsítása miatt a National Instrument LabWindows/CVI fejlesztő környezetét használtuk, amely kiemelkedően sok könnyen kezelhető könyvtári függvénnyel rendelkezik erre a célra. A kapcsolat a beágyazott processzorokkal TCP/IP protokollú

Ethernet hálózaton keresztül valósul meg. A helyzetbeállító elektronika vezérlése az annak közelében lévő beágyazott processzoron keresztül történik a PC által kiadott ASCII karakter sorozat konvertálás nélküli továbbításával.

A helyzetbeállító (továbbá néhány más beállító elem) automatikus vezérlése egy könnyen szerkeszthető és olvasható külső fájl feldolgozásával történik. A vezérlés szintaxisa az XML nyelvre épül. Az XML szintaxis használata mind a fájl elkészítését, mind annak futtatását megkönnyítette. A helyzetbeállító elektronika működtető XML fájl készítése nem csak egy szövegszerkesztő vagy „XML editor” segítségével állítható elő, hanem a kezelői programban megvalósítottuk a működtetési szekvenciák fájlba való írását is. Természetesen a mérési idők kivárása helyett megfelelő időértékek számszerű beírásával tárolható az adott állapothoz tartozó adatgyűjtési időtartam.

Az ASPERA4 műszer automatizált kalibrációs kezelői felülete a 4. ábrán látható.

A kifejlesztett program az általunk fejlesztett más adatgyűjtő rendszerekhez hasonlóan két programszál-t tartalmaz (lásd jelen számunk „Adatgyűjtő és vezérlő számítógép a Nemzetközi Űrállomás Obsztanovka kísérletéhez” című cikkét). A kezelői felület és az adatok grafikus megjelenítése képezi az egyik szál-t, míg a véletlenszerűen és többnyire csoportosan érkező események fogadása és tárolása egy másik szálban történik. Ez a két szál-as működés megakadályozza,

hogy egy eseményre való várakozás adatvesztést okozzon véletlenszerűen érkező érzékelő adatfolyamban. Az adattárolás (archiválás) az esemény fogadással van azonos szálban, míg annak megjelenítése és a kezelői beavatkozások a másik szálban kezelődnek.

## 5. Összefoglalás, kitekintés

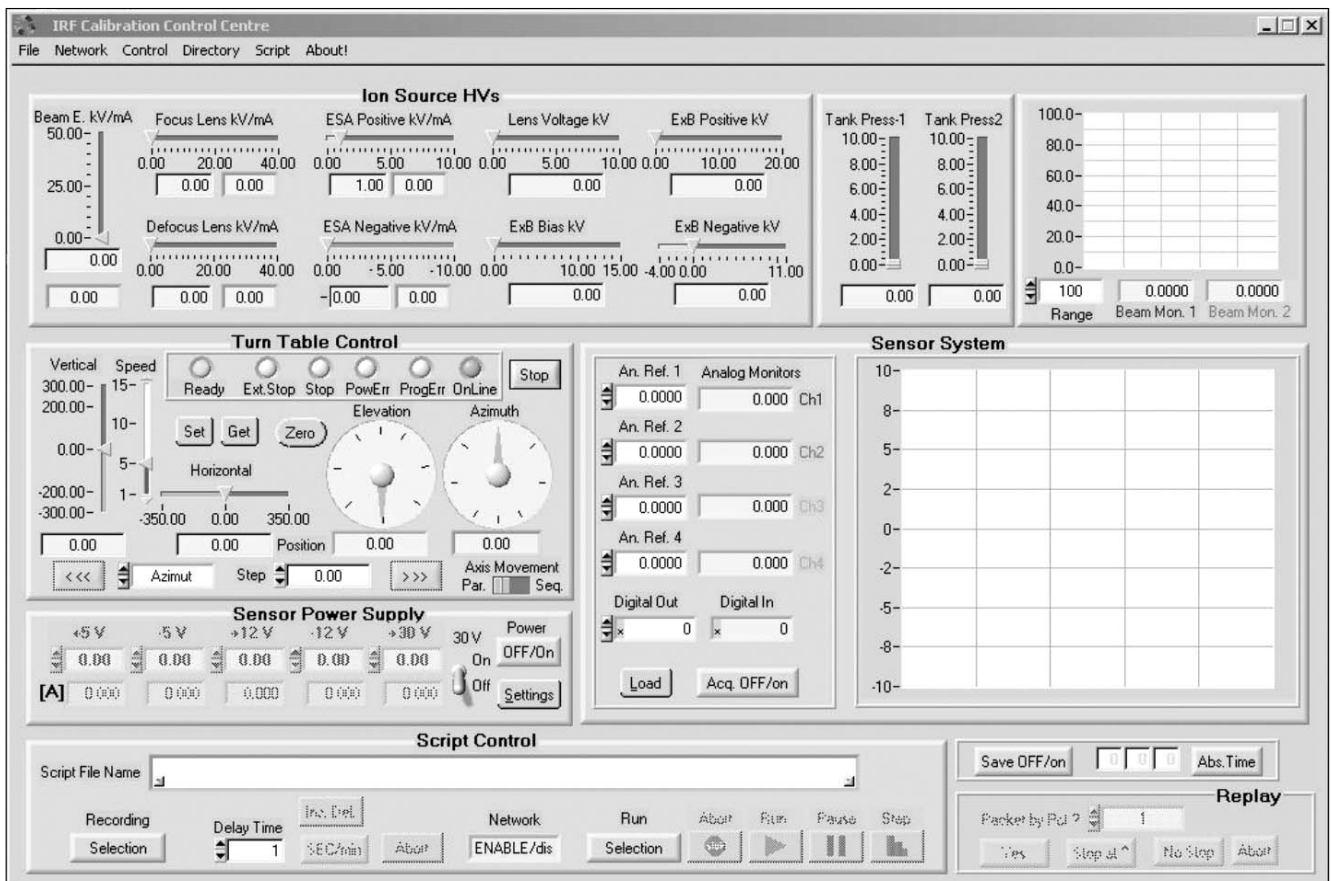
A kalibráló rendszert 2005 márciusában helyeztük üzembe az IRF kirunai telephelyén. Az azóta eltelt időben a rendszert sikeresen használják. A felhasználók lehetségesnek tartják, hogy minimális változtatási igényeik lesznek, amennyiben újabb műszereket fejlesztenek ki, és azok illesztéséhez esetleg másként kell vezérlő adatokat küldeni.

Jelenleg még nem tudtak konkrét változtatási igényt megfogalmazni. Felmerült továbbá, hogy az IRF uppsalai intézetében is szükség lenne egy hasonló kalibráló rendszerre. Ennek specifikációja illetve a költségviselő megtalálása a közeljövőben történik.

## Irodalom

- [1] <http://www.mps.mpg.de/en/projekte/venus-express/aspera4/>
- [2] <http://ars.asi.it/esa/venusexpress/aspera4.pdf>

4. ábra A Windows alatt futó program kezelői felülete



# Az űrszemét probléma aktuális kérdéseinek áttekintése

FARKASVÖLGYI ANDREA

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék  
farkasvolgyi@mht.bme.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** űrszemét, ORDEM2000, LEO, MEO, SSN Catalog, LDEF, HAX, LRIR, űrlift

Több mint húsz éve, oly mértékű a műholdpályákat terhelő (legterheltebb sávok: LEO pálya 800 km és 1500 km magasságai), különböző méretű (10 $\mu$ m-10m) kontrollálatlan űrobjektumok mennyisége, hogy komolyan veszélyezteti a pályákon lévő műholdakat és mérőberendezéseket. A cikk foglalkozni kíván az űrszemét okozta nehézségekkel. A kontrollálatlan objektumok mérési módszereivel, a detektálás és követés módozataival (LDEF, LRIR, SSN Catalog), ütközési valószínűségekkel, az űrszemét csökkentésének lehetséges megoldásával, valamint az űrlift biztonsági és megbízhatósági adataival, úgymint eltalálási valószínűség, illetve, hogy milyen esetben okoz egy nagysebességű objektummal való ütközés végzetes szerkezeti hibát.

## 1. Bevezető

Az 1960-as évek elején az űrkorszak és a műholdtechnika indulásakor kezdődött az űr Föld körüli területének beszennyezése. A szennyezettség szintje a 80-as évek elejéig nem volt számottevő. A pályára állított műholdakból visszamaradó, már nem használt elemek kis terhelést jelentettek, mind az alsó, mind pedig a felső műholdpályákon.

Az aktív műholdakat ért első becsapódások eredményeként kezdtek el mérni, megfigyelni és követni a különböző műholdpályákon keringő, kontrollálatlan objektumok mozgását, az egységfelületen évente áthaladó [objektum/m<sup>2</sup>/év], illetve a térfogategységre eső [objektum/km<sup>3</sup>] objektumok számát.

## 2. Az űrszemét meghatározása

Definíció szerint űrszemétnek nevezünk minden olyan emberkéz alkotta objektumot, melyet légkörön kívüli pozícióra helyeztek és rendeltetésszerű alkalmazása után onnan nem távolítottak el. Az űrszemét legnagyobb részét úgynevezett vegyes törmelék alkotja, mely az ütközések és műhold detonációk során keletkezik (41%). A pályákat terhelő szemét jelentős hányadát egyrészt a régi, kiöregedett vagy valamilyen oknál fogva működésképtelenné vált műholdtestek teszik ki (22%), másrészt a műholdak pályára juttatását végző hordozórakéták meg nem semmisült fokozatai alkotják (17%).

A világűrben lévő űrszemét növekedésének egyik oka, hogy a műhold tulajdonosok csak az utóbbi néhány évben gondoskodnak megfelelően a kiöregedő félben lévő műholdakról. Jelenleg a geostacioner pályás, leálló holdakat temetőpályára helyezik, mely annyit jelent, hogy a holdat a 36.000 km-es pályamagasságtól (a pálya síkjában) körülbelül 200-300 km-es távolságra lökik, és ott körpályára állítják (temetőpálya – graveyard). Problémát jelent, hogy a korábban leállt

holdaknak már nincs annyi üzemanyag tartalékuk, hogy képesek legyenek ezt a pályamagasság változtatást végrehajtani. Ezek a holdak szennyezik a pályát, növelik az ütközés veszélyt, felrobbanásuk esetén növelik a pályán lévő kontrollálatlan objektumok számát.

Minden kontrollálatlan test, mely a Föld gravitációs terében a Földhöz közel (tipikusan: 200-2000 km, LEO pálya) szabad pályán kering, az ott jelenlévő szórva-nyos légkör hatására, lassul. A lassulás pályaesést eredményez (a pályaesés mértéke függ az objektum eredeti pályamagasságától, valamint a felület-tömeg arányától). A magasságcsökkenés következtében a test bezuhan a légkörbe és ott elég. Ez az úgynevezett öntisztulási folyamat. A folyamatnak köszönhetően a LEO pálya alsó részében az űrszemét mennyisége csökken.

Az űrszemét eloszlását tekintve a legterheltebb pályamagasság, a LEO pálya 500 és 1700 km-es magasságai. Ennek oka, hogy e két sáv a leggyakrabban alkalmazott távérzékelő és kéműhold magasság. Valamint a LEO pálya általában is erősen szennyezett, hiszen minden pályára állítás során a felső rakéta fokozatok és a tolómotor itt válnak le a rakétatörzsről, illetve az űrhajóról. Ezen kívül a rövid életű mikroműholdak is a LEO pálya alsó szegmensét preferálják.

Itt kell megemlíteni, hogy a pályamagasság növekedésével egyre kevesebb információ van az egyes pályák terheléséről. A LEO pálya az, amelyet a legrészletesebben ismerünk és a legjobban tudjuk modellezni az űrszemét változását. A GEO pályáról tudunk a legkevesebbet, csak a nagytérű (>50 cm) holdak/objektumok helyzetét és sebességét ismerjük.

## 3. Az űrszemét keletkezése

Alapvetően öt lényegesen eltérő módot különböztetünk meg [9], melyeknek eredményeként eltérő méretű (nagy részt kisméretű) kontrollálatlan objektum kerülhet az űrbe:



## a) Robbanás:

Több, mint 145 űrjárműről tudjuk, hogy felrobbant a LEO pályán. Általában üres üzemanyag cellák robbannak fel az erős napsugárzás hatására, miután az űrobjektum hőszabályzó rendszere felmondja a szolgálatot.

## b) Hipersebességű ütközés:

Három ismert műhold-műhold ütközésről tudunk, valamint számos Földre visszahozott egység bizonyítja a becsapódásokat és hatásukat (az ISS ablakába is fúródott egy 1 cm-es darab). A relatív ütközési sebesség meghaladhatja a 7,5 km/s-t.

## c) Az űrjármű felületének kopása:

Az objektumok felületét erősen koptatja az oxigén-erózió, az ultraibolya sugárzás és a hőstressz, ezek hatására darabkák válnak le a felületről

## d) Szilárd hajtóanyagú motor által kilövellt hajtóanyag:

A szilárd hajtóművek égéstermékének majd egyharmada alumínium-oxid részecske, melyek mérete 0,0001-0,01 mm.

## e) Egyéb források:

Különböző missziók során az űrben maradó szerelvények (Hubble szerelése, ISS külső munkálatai stb.)

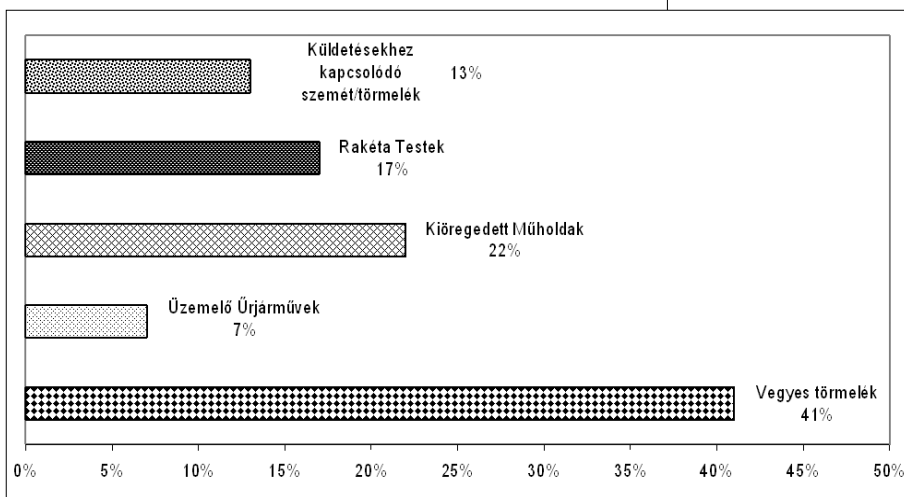
Annak a valószínűsége, hogy egy aktív hold egy tíz centiméteres kontrollálatlan tárggyal ütközzön, szinte elenyésző ( $10^{-8}$ - $10^{-9}$ , LEO). Tehát már nem működő műholddal történő frontális vagy részleges ütközésnél nagyságrendekkel nagyobb a valószínűsége a centiméteresnél kisebb tárggyal történő ütközésnek.

Ha az objektum a műhold törzsét tengelyének közelében találja el, akkor nagy valószínűséggel belefűrődik abba. Ha nagy a két objektum közötti sebességkülönbség, az apró űrszemét átütheti a műhold testét és roncsolhatja a belső egységeket, visszafordíthatatlan hibát eredményezve, melyet rendszerleállás követhet.

Ha nem a hold testének középső részét találja el az objektum, hanem valahol a szélét, akkor nem okoz károsodást a műhold elektronikájában, viszont egy nem kívánt rotációs (forgó) mozgást eredményez. Ez esetben a hold kifordulhat pozíciójából, melynek következtében elveszti a földi kontrollt és irányíthatatlanná válik.

Talán a legkomolyabb problémát meglepő módon a legnagyobb valószínűséggel előforduló porfinomságú „szemét” (objektum átmérő: 10-100  $\mu$ m) okozza. A kár, amit okoz gyakorlatilag kiküszöbölhetetlen, ugyanis beszennyezi, majd elhomályosítja a műhold napelemcelláit, lerövidítve ezzel a hold tervezett élettartamát.

Az elmúlt 15 évben csökkent a műholdfellövések száma. Ez azzal magyarázható, hogy a hordozórakéták már körülbelül három műhold (egy nagyobb és két kisebb, vagy egy nagy) pályára juttatására képesek. Így kevesebb aktív tömeggel lehet azonos aktív tömeget (payload) műholdpályára juttatni. Ám a csökkenés ellenére is 40-60 rakétatáindítással kell évente számolni [1,5,9].



1. ábra Katalogizált objektumok típus szerinti százalékos megoszlása [5]

Az 1. ábrán látható a pályákon lévő objektumok eloszlása a katalógusadatok alapján. A szemét legnagyobb részét a már korábban felrobbant, illetve fregmentálódott kis átmérőjű hulladék teszi ki. A fent lévő objektumok legkisebb része az aktív, működőképes objektumok (7%).

#### 4. Űrszemét hatása az aktív holdakra

Az aktív holdak nagyon ritkán ütköznek össze egy másik hasonló méretű, ám nem pályán tartott objektummal. Erre eddig mindösszesen három példa volt. Ilyen esetben az aktív hold végzetes roncsolódást szenved. Rosszabb esetben a két hold valamelyike, esetleg mindkettő az ütközésből származó energia hatására felrobbanhat, további szeméttel árasztva el az aktuális pályát.

#### 5. Űrobjektumok mérési eljárásai

A jelentkező különböző problémák miatt a 80-as évek közepétől kezdve mérik és figyelik a műholdpályákon lévő kontrollálatlan objektumokat.

##### 5.1. Nagyatmérőljű objektumok mérése

A Földet körülvevő űr legrészletesebben feltérképezett területe a Föld közvetlen környezete, a 200-2000 km-es pályamagasság. Továbbá csaknem 100.000 km-es magasságig vannak ismereteink bizonyos nagyméretű, kontrollálatlan objektumokról, valamint 1000 km-es magasságig jó közelítéssel ismerjük az űrszemét eloszlását, sűrűségét, nagyobb objektumok helyzetét, irányát és sebességét. Az objektumok detektálása és követése alapvetően az objektumok átmérőjétől és magasságától függ. A nagy átmérőjű objektumok (>10 cm) detektálása körülbelül 5000 km-ig lokációs elvet alkalmazva történik.

Radar rendszerek	Detektálható objektum mérete	Detekció magasság	Antenna átmérő/ (Radom átmérő)	Alkalmazott frekvenciasáv/ antenna irányélessége
Haystack LRIR	0,3 cm – 10 m	350 – 100 km	37 m / (47 m)	X - sáv / 2°
HAX	2 cm – 10 m	450 – 1050 km	~ 15 m / (~ 20 m)	Ku - sáv / 5°
Goldstone Bi - statikus Radar	3 mm – 2 cm	280 – 3000 km	35 m (tr.) / 70 m (rec.)	X - sáv 1.44°/1.5°
FGAN TIRA	2 cm - től	1000 km -ig	34 m / (49 m)	L (1,33 GHz) / 0.45° Ku (16,7 GHz) / .031°
Effelsberg Radio Teleskop	9 mm - től	1000 km -ig	100 m	Pl.: L (1,33 GHz) / 0.45° Ku (16,7 GHz) / .031°

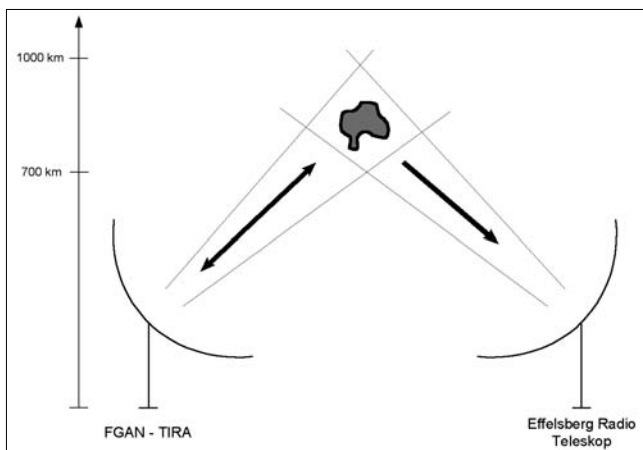
1. Táblázat Földi radar rendszerek [2,3]

Ilyen földi radar a Haystack **LRIR** (Long Range Imaging Radar), a **HAX** (Haystack Auxiliary Radar – MIT Lincoln Laboratory in Lexington, MA), a **FGAN** (Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften – Wachtberg, Germany), illetve az Effelsbergben működő rádióteleszkóp. Az 5000 km-es magasság felett optikai teleszkópokkal oldják meg a nagyobb átmérőjű (>5 cm) objektumok követését.

A különböző adatbázisokban a nagy átmérőjű objektumok pozíciójának frissítésére (magasság, irány, sebesség) néhány naponként kerül sor. Ezen adatbázisok alapján hozták létre például az SSN Catalog-ot (Space Surveillance Network Catalog), melyben aktuális információk találhatóak az objektumokról. Az adatbázis körülbelül 10.000 nagy átmérőjű objektumot tart számon és követ folytonosan, melyek legtöbbször LEO pályás műholdtest.

A Haystack és az ezt kiegészítő HAX radar a 10 cm-nél nagyobb objektumok sebességét, irányát és pályamagasságát regisztrálják. Működését tekintve egyik radar sem követő üzemmódban, hanem (staring mode-ben működő radarok) a radarnyaláb előtt elröpülő objektumok jellemzőit mérik. A Haystack LRIR nagy teljesítményű (1,3 MW), X-sávú, nagyérzékenységű radar, 5 mm átmérőjű tárgy detekciójára képes, 500 km-es magasságig. A HAX érzékenysége ettől jóval elmarad (2 cm/500 km), ám nagyobb területet lát be egyszerre [2,3,8].

2. ábra Radarral és rádióteleszkóppal történő mérés elve [6,7]



A 2. ábrán radarral történő objektum detekció elve látható. A detektálható minimális objektum átmérő alapvetően függ az alkalmazott antenna hullámhosszhoz képesti lineáris méretétől és a vevő érzékenységétől. Radar által kibocsátott jel egy része az objektumról reflektálódik és visszajut az azt kibocsátó antennára, ezt a jelet veszi a radar (FGAN-TIRA, minimális detektálható objektum átmérő: 2 cm). Az effelsbergi rádióteleszkóp bi-statikus elven működik, vagyis egy másik radar által „megvilágított” tárgyról reflektált jelet vesz. A hatalmas antenna átmérő miatt (100 m) a radar érzékenysége nő, jelen esetben a detektálható objektum átmérő 9 mm [6,7,8].

Az 1. táblázat mutatja a különböző távérzékelés elven működő rendszerek néhány jellemző adatát.

### 5.2. Kisátmérőjű objektumok mérése

A 10 cm-nél kisebb átmérőjű objektumok, illetve objektum csoportok jellemzésére statisztikai méréseket végeznek. A mérések eredményeként az objektumfelhőkről különböző sűrűség és eloszlás adatok állnak rendelkezésre.

A mérés elve a közvetlen detekció. Ez annyit jelent, hogy az űrből visszahozott külső burkolati alkatrészek, külső egységek (solar panel), illetve e célra készített mérődetektorok elemzéséből tudnak modellek alapján statisztikai eloszlás adatokat adni az alacsonypályás kis átmérőjű objektumfelhőkről.

Ilyen adat az egységtér fogatban található bizonyos átmérőjű objektumok szám (SD vs. a-Spatial Density vs. Altitude) pl.:

$$SD_{vs.a} \left| \begin{array}{l} d:0.01m \\ a:800km \\ Date:2005 \end{array} \right. = 6.66 \cdot 10^{-7} \text{ obj / km}^3 *$$

ahol:

d = a vizsgált objektumok átmérője

a = a mérési magasság

date = az aktuális év

Másrészt az egységnyi idő alatt történő egységfelületre eső becsapódások száma (com-CSF-Average Cross-Section Flux vs. Size) pl.:

$$CSF \begin{matrix} d:0.01m \\ a:850km \\ inc:0^\circ \\ date:2006 \end{matrix} = 7.81 \cdot 10^{-5} \text{ obj} / m^2 / year^*$$

$$CSF \begin{matrix} d:0.01m \\ a:850km \\ inc:90^\circ \\ date:2006 \end{matrix} = 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ obj} / m^2 / year^*$$

ahol:

d = a vizsgált objektumok átmérője

a = a mérési magasság

inc = a megfigyelt pálya inklinációja/hajlásszög

date = az aktuális év

\* Kalkulált adatok  
a NASA ORDEM2000-es nyilvános programja által

Közvetlen detekciót alkalmazó méréseket tudtak végezni az LDEF (Long-Duration Exposure Facility) mérőhold 1998-as visszahozása után a felületi burkoló paneleken, valamint a Hubble űrteleszkóp Földre visszahozott napelemcelláin.

Korábban a MIR, jelenleg az űrsiklók detektor panelek segítségével szintén végeznek közvetlen becsapódás-vizsgálatokat. Az űrjármű külső felületére felszerelt panelek segítségével tudják mérni a becsapódó objektumok sebességét és kémiai jellemzőit. A CME (Chemistry of Meteoroids Experiment) panelek segítségével meg tudták különböztetni, hogy a becsapódott elem meteorit vagy mesterséges anyag (űrszemét) volt. A CME aranylemezeken csak a nem meteorit részecskék hagynak nyomot, így utólag elemezhetőek, a nagysebességű meteoritok ugyanis az ütközés után elporladnak, az egyéb objektumok pedig nem. A 2. táblázat a közvetlen becsapódás-vizsgálatokat végző rendszerek néhány jellemző adatát tartalmazza [2,3].

2. Táblázat

Közvetlen detekciót alkalmazó mérőrendszerek

Közvetlen detekciót alkalmazó eszközök	Detektált objektumméret	Mérés magassága
LDEF	0.01 – 1 mm	330 – 480 km
Shuttle	0.1 – 1 mm	300 – 400 km
MIR	10 – 100 μm	170 – 300 km
Hubble Space Telesc.-Solar Arrey	0.01 – 1 mm	586 – 614 km

5.3. Mérések kiértékelése és analízis modellek

A különböző mérési eredmények alapján matematikai modellek segítségével (Space Debris evolution, production, self-production modell; prediction and analysis modell), illetve interpolációs eljárásokkal lehet az adott pályamagasságra jellemző adatokat meghatározni. Az analízis eredményeként kapott adatok jó közelítéssel írják le az objektumok és objektum-csoportok mozgását, sebességét stb.

A mérési eredmények és a modellek alapján létre hoztak számos, az űrszemét pályamagassága szerinti

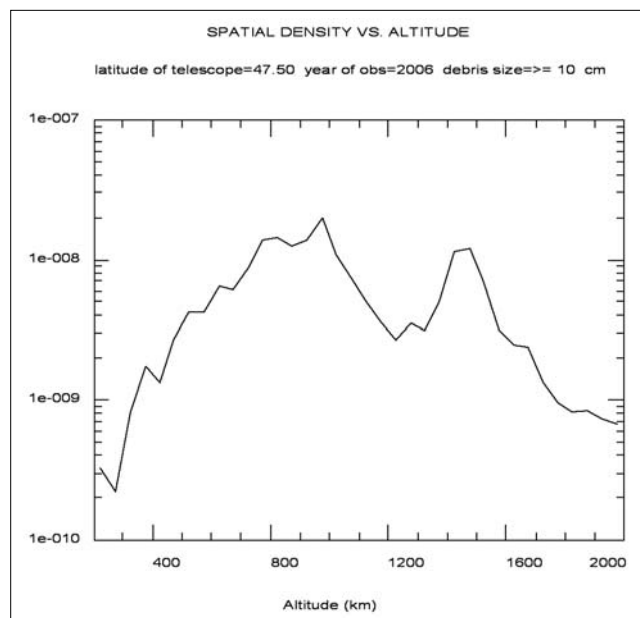
eloszlását számoló programokat, többek között ilyen az ebben a cikkben alkalmazott ORDEM2000 (NASA) is (hasonló programok: MASTER99 (ESA), IDES (DERA), SDM (CNUCE), SDPA (Nazarenko)).

Általában jellemző, hogy a modell programok két jellemzőt számolnak, az egyik a különböző pályamagasságokhoz és objektumátmérőkhöz tartozó térfogati sűrűség (SD), a másik a négyzetméterre vetített áthaladási szám (CSF). Általában csak LEO pályás adatokat kezelnek, 100 km-es pontossággal 200-2000 km-es magasság között.

Az analízis programok, hasonlóan az ORDEM2000-hez csak bizonyos objektum-átmérőről adnak leírást, ezek a legjellemzőbb méretek (pl.: 10 μm, 100 μm, 1 mm, 1 cm, 10 cm, 1 m). A nagy átmérőjű, 10 cm és 1 m-es objektumok statisztikus tulajdonságai a katalógusokban tárolt korábbi adatok alapján generálhatók. A kis átmérőjű objektumok a detektoros mérések alapján jellemezhetőek, a centiméteres nagyságrend pedig radar elven mérhető.

A komoly gondot a két típus határán lévő objektumok jelentik (~1 mm). Nehéz a közvetlen detekciós mérés ilyen átmérőn, hiszen számságuk nem elegendő a sűrűségméréshez, viszont annál sokkal kisebbek, hogy lokációs elven mérhetőek legyenek. Ezt az átmeneti méretet közelítő eljárással lehet leírni. Általában a 100 μm-es és az 1 cm-es mérési eredményekből, interpolációval határozzák meg, melyet a Goldston Radar 3 mm-es, LEO pályás, mérési eredményeivel tudtak alátámasztani.

3. ábra  
10 cm-es objektumok eloszlása LEO pályán



A 3. ábra mutatja a 10 cm-es átmérőjű objektumok térfogategységre eső sűrűségét a magasság függvényében (Kalkulált diagram, NASA ORDEM2000 modell-program segítségével).

Általában jellemző, hogy 800 és 900 km között, valamint 1500 km-es magasságban a különböző objektumok előfordulási valószínűsége jóval meghaladja a töb-

bi LEO pályás magasság hasonló adatait. Ha a kalkuláció során a vizsgált pálya inklinációját változtatjuk, akkor ez azt eredményezi, hogy azonos pályamagasság mellett az inklinációs szög emelkedésével az előfordulási valószínűség egyenes arányban nő. Az érték  $98^\circ$ -os inklinációnál kulminál.

Ennek az a magyarázata, hogy a távérzékelők, valamint a rövid élettartamú (néhány hét, esetleg hónap) mérőholdak ezen inklinációt részesítik előnyben [6,7,9].

## 6. Megoldási lehetőségek

Belátható, hogy szükség van az űrben lévő, már nem használt mesterséges objektumok számának csökkentésére. Erre több mód is adódik.

- Az 1. ábráról látható, hogy a pályákat terhelő szemét nagy része kiöregedett műhold. Aktív pályakarbantartással ezen objektumoktól meg lehetne szabadítani a műholdpályákat.

- Radikálisan javítana a jelenlegi helyzetet, ha a műholdak felbocsátása során alkalmazott hordozórakéták hatásfoka javulna. Ha az össztömeg-hasznosterher arányt tekintjük, akkor a jelenleg alkalmazott hordozórakéták hatásfoka kis szórással 0,9-1,5% körül ingadozik. Sajnos e fokozatoknak csak egy része semmisül meg a légkörbe való visszazuhanás során, a többi fokozat űrszemétként végzi, alacsony pályán keringve a Föld körül.

Mindenképpen olyan megoldási lehetőségekre lenne szükség, melynek segítségével a hordozórakétáktól származó hatalmas, pályára állítás utáni tömeg megszűnne, vagy minimálisra csökkenne.

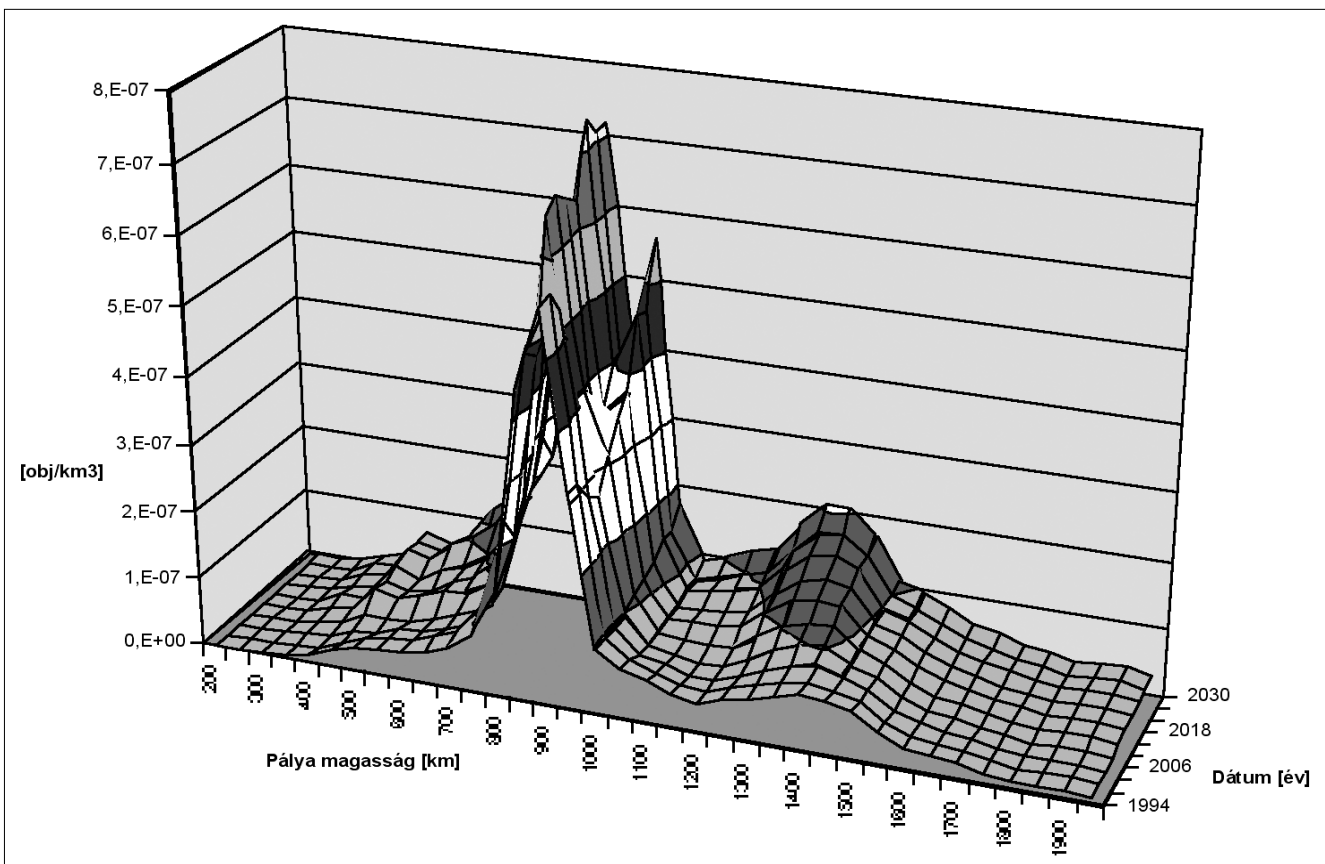
A 4. ábra az 1 cm-es objektumok térfogati sűrűség-változását mutatja 1994-2030 között. A becslést az ORDEM2000 programmal végeztem, mely az SSN katalógus, a Haystack Radar és az LDEF mérési eredményeire és adataira épül. A program MLE eljárást alkalmazva EVOLVE modell segítségével becsli a jövőre vonatkozó SD értékeket. Határozott növekedés látható, mind a 800-900 km-es, mind pedig az 1500 km-es pályamagasságnál.

### 6.1. Űrlift (Space Elevator)

Egyre többet foglalkoznak a rakétákat kiváltó, a pályára állítás idejét lerövidítő (GEO pálya elérése kb. 36-40 óra, űrlifttel csak 7,5!), biztonságos pályaelérési lehetőséggel, az űrlift megalkotásával. Talán meglepő, de az űrlift, mint űreszköz egy 1960-ban publikált cikkben szerepelt először, szerzője az orosz Yuri Artsutanov volt.

Működési elvét tekintve az űrlift, hasonló fizikával írható le mint a fejünk felett pörgetett, hosszabb madzagra erősített kő. A kötéltre ható húzóerőt úgy lehet előidézni (ez tartja feszesen a kötelet), hogy a kötélt végpontja 100.000 km-es magasságban van. Ám nem a pályamagassághoz tartozó standard (1,9 km/s) tangenciális sebességgel kering (hiszen ebben az esetben

4. ábra 1 cm-es objektumok térfogati sűrűség aránya a magasság függvényében; 1994-2030 (modellezett adatok, OREM2000, NASA)



nem hat rá erő), hanem a 24 órás keringési időhöz tartozó, jóval nagyobb, 7,72 km/s sebességgel. Ennek hatására jelentős húzóerőt fog kifejteni az ellenpont a kötéle.

Természetesen jelenleg még rengeteg alapvető probléma adódik a lifttel. Anyagát tekintve a lift felvonóköttele, pontosabban váza (a kötélen ugyanis nem mozog függőleges irányban, ahogy a normál lift kötele) karbonnano-szálakból épülne fel. Az első becslések, illetve számítások alapján arra a következtetésre jutottak, hogy körülbelül 1 méteres szálakból lehetne előállítani a lift alapját képező kötélszerkezetet. Jelenleg a különböző amerikai és európai kutatóintézetekben alig több, mint néhány centiméteres hosszúságú szálakat tudnak készíteni.

Az űrszemét csökkentésére a későbbiekben alkalmazandó űrlift szerkezetét, hasonlóan a többi aktív űreszközhez, veszélyezteti a bolygópályákon lévő kontrollálatlan objektumok mozgása. Frontális ütközés esetén a kötélen szerkezetét átszakíthatja az objektum, mellyel végzetes balesetet eredményezhet.

Az űrszemét szempontjából a legterheltebb pályamagasság az 500-1700 km-es (LEO) pályamagasság. A LEO és MEO pályák objektumai (nem csupán a kontrollálatlan holdak) komolyan veszélyeztetik a lift szerkezetét. A probléma abból adódik, hogy a lift e magasságokra eső részeinek tangenciális sebessége messze elmarad az ott keringő objektumok sebességétől. Természetes, hiszen a lift minden elemének keringési ideje 24 óra, míg az itt keringő objektumok átlag 100-150 perc alatt (naponta nem egyszer, hanem 15-16-szor) megkerülik a Földet. A sebességkülönbség ezzel arányos.

Am meg kell említeni, hogy a kötélen teljes hosszában tízévente várható nagyjából öt alkalommal 10 cm-nél nagyobb becsapódás és egy alkalommal méteres objektummal való ütközés [4]. Ezen ütközések szerkezetileg károsíthatják a kábelt, esetleg el is szakíthatják, bár szakítószilárdsága igen nagy, már anyagából adódóan is.

Magasabb régiókban (MEO) a szemét mennyisége drasztikusan csökken. A helyzet a GEO pályán a legjobb, hiszen az egységek tangenciális sebessége azonos. Ettől magasabb pályákon (100.000 km-ig) a szemét gyakorlatilag csak elenyésző mennyiségben fordul elő [4].

## 6.2. Biztonsági kérdések

Vizsgáljuk meg az űrlift 500-1700 km-es magasságát. Itt a lift kötélinek felülete összességében alig 0,2 km<sup>2</sup>. A nagy hosszúság ellenére (1200 km) kicsi a felület, ugyanis az erre a szakaszra eső tervezett átlagos szélesség csupán 15-20 cm. Ha erre a magasságra az évenkénti becsapódások számát kalkuláljuk, akkor azt kapjuk, hogy körülbelül 100-150 db, centiméteresnél nagyobb objektum fogja eltalálni a kötélnet ezt a szakaszát. Természetesen ezeknek a legnagyobb része centiméteres nagyságrendű test lesz (~90 db), melyek nem okozhatnak komoly szerkezeti hibát (kalkulált adatok, NASA ORDEM2000).

## 7. Összefoglalás

A cikkben összefoglaltam az űrszemét létrejöttének lehetséges módjait, a környezetre, az aktív eszközökre, gyakorolt hatásait, valamint egy megoldási lehetőséget a felbocsátásból származó szemét mennyiségének csökkentésére (űrlift).

## Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni dr. Gödör Évának a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék adjunktusának a cikk megírásában nyújtott segítségéért.

## Irodalom

- [1] Almár Iván:  
Csúcsforgalom a geostacionárius pályán, Híradástechnika, 2004. május
- [2] Liou, Matney, Anz-Meador, Kessler, Jansen, Theall:  
The New NASA Orbital Debris Engineering Model, ORDEM2000
- [3] [http://www.spacecoretech.org/coretech2001/Proceedings/28\\_NOV\\_WED/TRACK\\_1/SE\\_and\\_D\\_I/pdfs/OrbitalDebrisSizeEstimation.pdf](http://www.spacecoretech.org/coretech2001/Proceedings/28_NOV_WED/TRACK_1/SE_and_D_I/pdfs/OrbitalDebrisSizeEstimation.pdf)
- [4] B. C. Edwards:  
The Space Elevator, 2003 ISBN:0-9746517-1-0, pp.34–35, 107–119.
- [5] Prof. Dr. W. Flury:  
Bedarf und Bedeutung für die europäische Raumfahrt, ESA/ESCO, Darmstadt April 30, 2004.
- [6] G. Ruiz, L. Leushacke, J. Rosebrock:  
Algorithm for multi-beam receiver data analysis, 4th European Conference on Space Debris, April 18-20, 2005.
- [7] J. Rosebrock, M. Oswald:  
Proof upgrade for bi/multistatic radar observation, 4th European Conference on Space Debris, April 18-20, 2005.
- [8] IADC Observation Campaigns,  
43rd Session of UNCOUOS S&T SC, Februar 2006.
- [9] Nickolay N. Smirnov:  
Space Debris 2000, ISBN:0-145-27907-0, pp.3–33.

# A Rosetta leszállóegységének szoftver szimulátora

TRÓZNAI GÁBOR, BAKSA ATTILA, SÓDOR BÁLINT

SGF Kft. (Space and Ground Facilities Ltd.)  
troznaig@freemail.hu, baksa.attila@syncnet.hu, soba@freemail.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** Rosetta, leszállóegység, űrkutatás, szoftver, szimulátor, XML, C++, transputer

A leszállóegység szoftver szimulátora (LSS) a Rosetta űstökös kutató űrszonda Philae nevű felszíni kutatóegységének földi szimulációját végzi. A szimulátor hardvere öt személyi számítógépből és a gyors válaszidőt biztosító üzenetkezelő kártyákból áll. A leszállóegység berendezéseinek viselkedése egy XML szintaxisú szimulációs nyelv segítségével írható le. Az LSS rendszer tervezésekor a rugalmasság volt a fő szempont. A megvalósított megoldások más hasonló komplex rendszerek működésének szimulációjára is adaptálhatók.

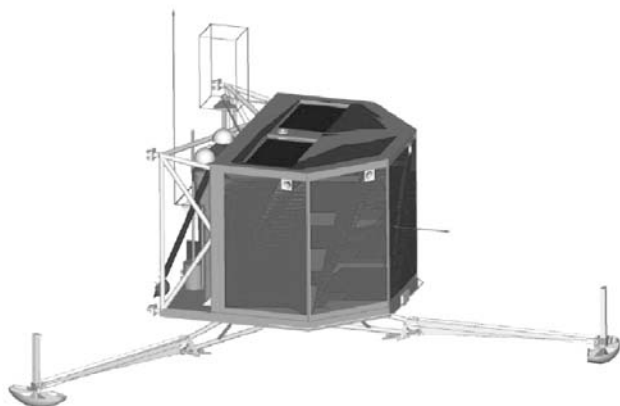
## 1. Bevezetés

Korábbi Híradástechnika-cikkekben [1,2] már részletesen ismertetésre került a Rosetta leszállóegységének, a Philae-nek a felépítése és feladatai. Jelen cikkünkben csak a szimulátorrendszer bemutatásához szükséges háttérinformációként foglaljuk össze röviden a küldetést. A Rosetta küldetés egy űstökös kutatását tűzi ki célul. A leszállóegység feladata az űstökös felszíni tanulmányozása lesz.

A minél alaposabb mérések elvégzéséhez nyolc tudományos műszert és hét szolgálati alrendszert integráltak a kis méretű kutatóegységbe. A vezérlést egyedi fejlesztésű beágyazott fedélzeti számítógép végzi, amely sokfeladatos operációs rendszerrel és nyolc feladatvégző taszkkal ütemezi a leszállóegység feladatait. A leszállóegység küldetése két fázisra osztható. Az elsődleges küldetés egy rövid, néhány napos ciklus, amikor a leszállás után a lehető legrészletesebb mérések elvégzése a cél, a fő telepek kimerüléséig. Ezt követi a másodlagos küldetés, amelynek során a napelemekre hagyatkozva, alacsonyabb intenzitással, de hónapokon keresztül végzett mérésekkel a Naphoz közelebbi űstökösön végbemenő folyamatok elemzése a cél.

1. ábra

A Rosetta leszállóegysége, a Philae



## 2. Feladatok

A Rosetta űrszonda összetettsége és rendkívül hosszú életútja miatt szükség van egy olyan rendszerre, amely lehetővé teszi a következő feladatok ellátását a Rosetta több mint 10 éves küldetése alatt:

- Kezelőszemélyzet tréningje;
- Üzemeltetési forgatókönyvek ellenőrzése;
- Hosszú időtartamú tesztek;
- Terhelési tesztek;
- Adatforgalmi tesztek;
- Parancs szekvenciák futtatása és tesztelése;
- A fedélzeti számítógép szoftverének tesztelése főként a valódi leszállóegységen kivitelezhetetlen, nem nominális szituációkban;
- Űrszondáról rögzített események reprodukálása.

A fenti feladatok ellátásához az űrszonda földi szimulációjának alapvetően szoftveres úton történő megvalósítása kínálja legmegfelelőbb eszközt. Az SGF Kft. a németországi Deutsche Forschunganstalt für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) megrendelésére fejlesztette ki a Rosetta Lander Software Simulator-t (LSS-t).

## 3. Az LSS környezete

A Philae fedélzetén elhelyezett berendezések a leszállóegység központi számítógépével (Command and Data Management System – CDMS) állnak kapcsolatban. A CDMS a Rosetta űrszonda fedélzeti számítógépével (On-board Data Handling System – OBDH) tartja a kapcsolatot, az űrszonda elektromos illesztő egységén (Electrical Separation System – ESS) keresztül. A kapcsolattartás két úton történik, az űrutazás alatt az űrszonda és a leszállóegység közötti kábelon, a szétválás után pedig rádió kapcsolat révén valósul meg. Az orbiter viszonylag nagyteljesítményű rádiórendszeren keresztül kommunikál a földi rádiótelepkezőkhöz kapcsolódó irányító központtal (Ground Segment), amely a Rosetta űrszonda számítógép szimulátorán át (Space-

craft Interface Simulator – SIS) jut el a Philae irányító központjába (Lander Control Centre System – LCCS). Az adatátvitel a Rosetta Common Packetized Protocol (RPRO) formátuma szerint történik. Az LCCS a Philae fedélzetéről fogadja a tudományos adatokat és kezdeményezi a parancskiadást.

Az LSS szerkezetének tükröznie kell ezt a kommunikációs láncot és a megfelelő szinteken hiteles illesztéseket (interfész) kell biztosítani, amely a következő elemekből áll:

1. Philae fedélzeti berendezések szoftveres szimulációja
2. Philae fedélzeti számítógép (CDMS)
3. Rosetta ESS szoftver szimulációja
4. Rosetta OBDM kommunikációs interfész szimulációja

#### 4. Az LSS felépítése

A szoftver szimulátor egy elosztott intelligenciájú, több számítógépből álló hálózat együttese. A különböző berendezések szimulációját négy számítógép végzi, valamint egy ötödik központi számítógép szolgál a szimulációk összefogására és a keletkezett adatok tárolására. A különböző berendezések alacsony szintű, nagy sebességű szimulációját egyedi fejlesztésű hardver elemek, valós idejű üzenetkezelők (Real-Time Message Handlers) végzik, amelyek soros RS-232 portokon kapcsolódnak a számítógépekhez. Az LSS-ben a leszállógység fedélzeti számítógépét (CDMS) a valós idejű sok-

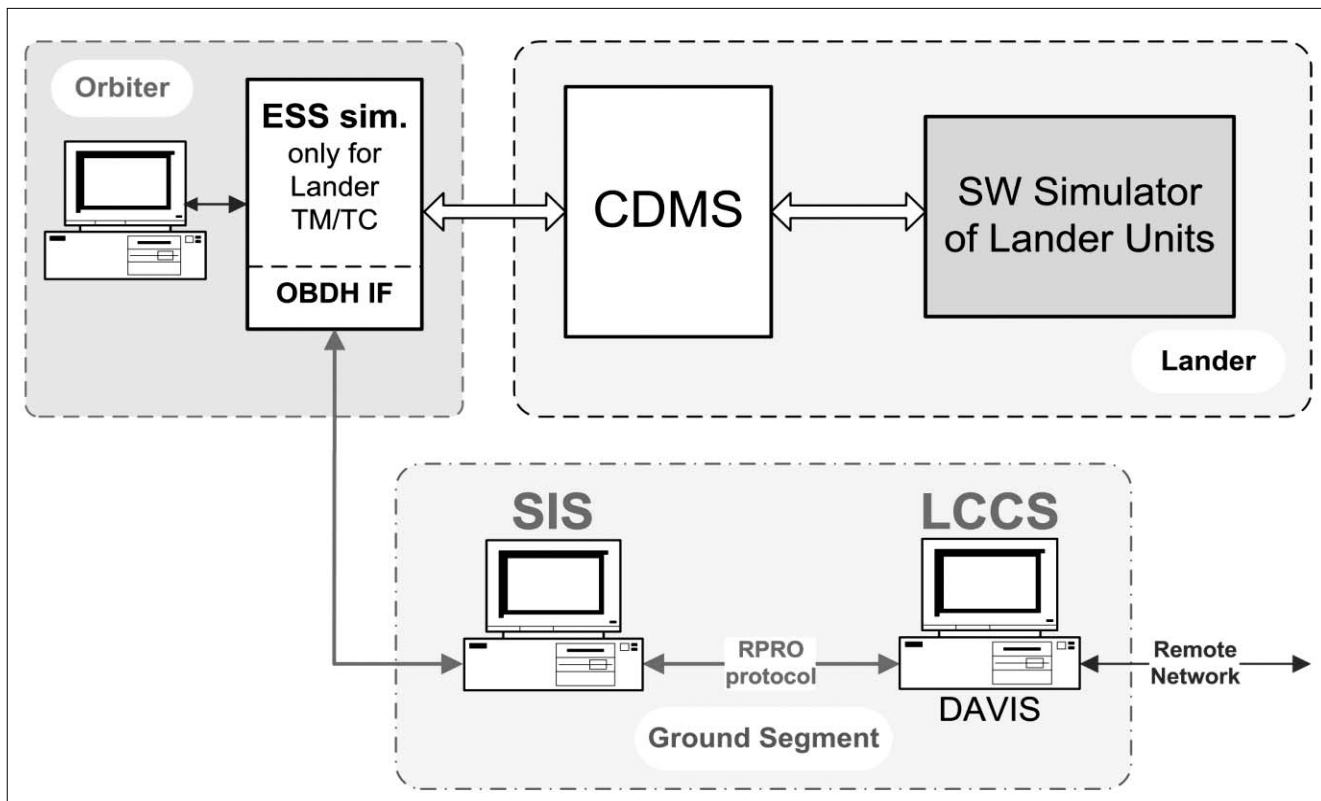
feladatos operációs rendszere miatt, a tényleges reakció idejét, egzakt szimulációját szinte lehetetlen megvalósítani, ezért egy valódi példányt tartalmaz a rendszer. A szimulációs számítógépek Ethernet TCP/IP hálózaton kapcsolatban állnak egymással, valamint a külvilággal.

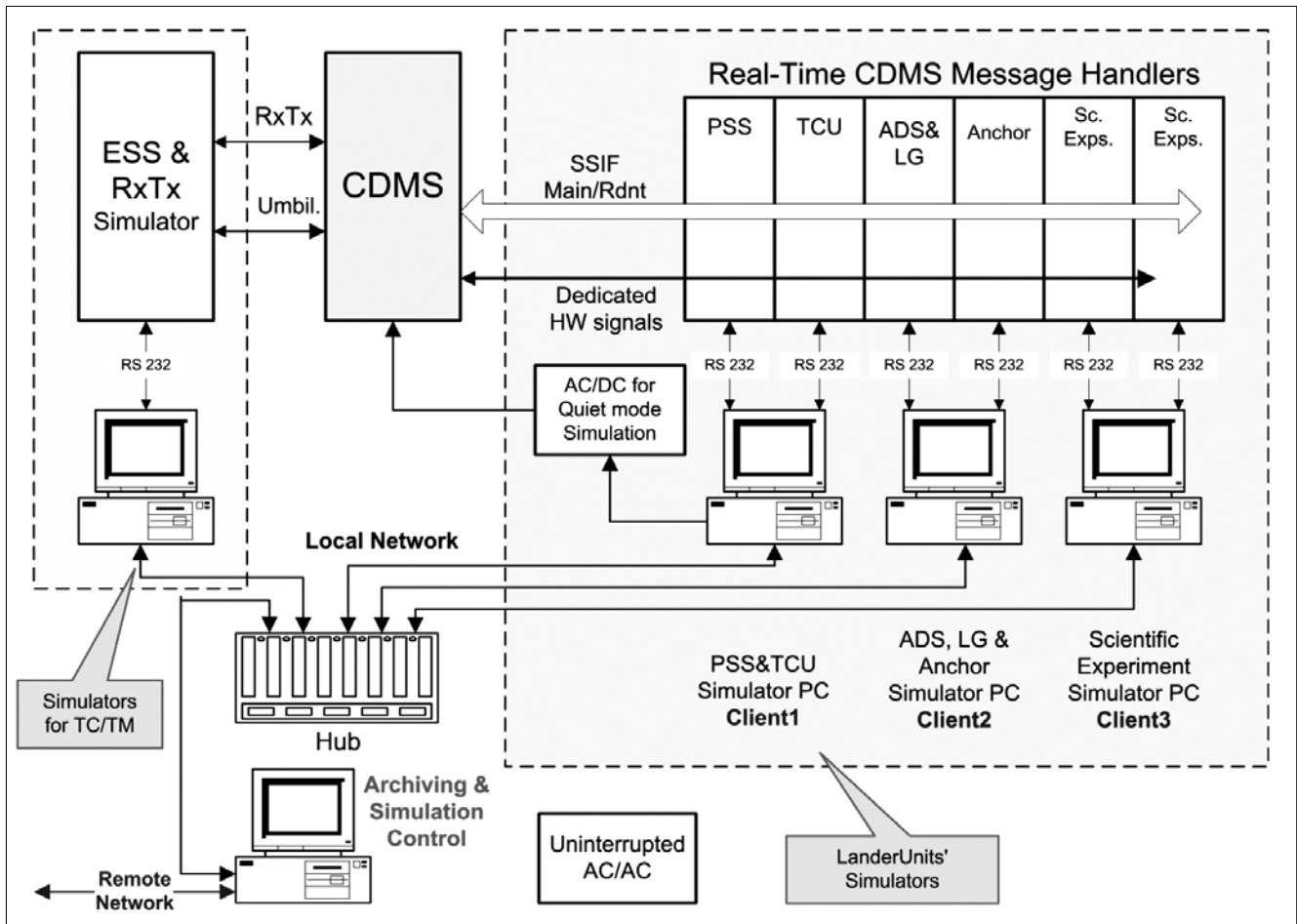
#### 5. Hardver elemek

A Valós Idejű Üzenetkezelő (Real-Time Message Handlers, RIU) kártyák az SGF Kft. által a kilencvenes évek közepén kifejlesztett beágyazott processzort tartalmazó jelszintű szimulátor, amely több célra alkalmazható IBM PC kártya méretű elektronika. A kártya egy transzputerre épül, maga a megnevezés a *transistor* és *computer* szavak kombinációja, az angliai Inmos cég fejlesztette ki a nyolcvanas évek végén. Egy processzoron belüli párhuzamos processzállásra igen alkalmas architektúrával és az ezt támogató utasítás készlettel, valamint a processzorok összekapcsolását biztosító nagysebességű négy darab soros adatátviteli csatornával rendelkezik mind 16 bites, mind 32 bites processzor változatra. Ez utóbbi tulajdonsága révén nagyszámú processzor összekapcsolását könnyen meg lehetett valósítani. Tulajdonképpen ez a RISC processzor tekinthető a párhuzamos processzállás első igazi megjelenítőjének. Programozása a párhuzamos processzállást igen fejlett szinten támogató OCCAM vagy C nyelven történhet.

Sajnos a megannyi előnyös tulajdonsága ellenére az Intel processzorcsalád tömeges elterjedése halálra ítélte. A beágyazott processzoros szimulátor kártya RS-232

2. ábra A szoftver szimulátor környezete





3. ábra Az LSS felépítése

szabványú soros felületen keresztül csatlakozik a vezérlő és adatfolyam megjelenítő számítógéphez. A kártyán elhelyezett memória mindkét irányú adatforgalom számára átmeneti tárolást biztosít, és lehetővé teszi az előre feltöltött szimulált adatfolyam valószerű reakcióját.

4. ábra A Valószerű Üzenetkezelő kártyák



## 6. Szoftver elemek

A szimulációs rendszer PC-ken futó szoftver elemei két csoportba sorolhatók:

1. A leszállógység fedélzeti berendezéseinek szimulációja
2. Speciális feladatokat ellátó szoftverek

### A leszállógység fedélzeti berendezéseinek szimulációja

A leszállógység fedélzeti berendezéseinek szimulációját egy-egy Általános Műszer Modellező modul végzi, a Valós Idejű Üzenetkezelő kártyák segítségével. Ezek a modulok csoportokban is futtathatók, így egy PC-n futó szimulációs szoftver egyszerre több fedélzeti egység szimulációját is végezheti egyidejűleg.

A csoportosítás szabadon változtatható, általában az adott rendszer határozza meg a képzett csoportokat. Több nagy számításigényű szimulációt nem célszerű azonos PC-n futtatni. Ez alapján a jelen rendszerben a következő csoportok lettek kialakítva:



## 1. PC:

- Energiaellátó alrendszer (Power SubSystem-PSS)
- Hőmérséklet Szabályzó alrendszer (Thermal Control Unit-TCU)

## 2. PC:

- Leszállást vezérlő alrendszer (Active Descent System-ADS)
- Leszálló lábak (Landing Gear-LG)
- Rögzítő horgony (Anchor)
- Felszíni Mintavevő és fúró rendszer (SD2)

## 3. PC:

- Tudományos műszerek (APX, CIVA/ROLIS, CONSERT, COSAC, MUPUS, PTOLEMY, ROMAP, SESAME)

A fedélzeti berendezések viselkedésének leírását egy erre a célra kialakított XML szintaxis alapú szimulációs nyelv teszi lehetővé. Minden tudományos berendezés és szolgálati alrendszer számára önálló szimulációs leírás készíthető, amelyeket az Általános Műszer Modellező modul értelmez és futtat. Minden berendezési modell önálló szálban, saját időrendben és egymástól függetlenül hajtja végre a szimulációs fájlban definiáltakat.

A szimulációs fájl lehetővé teszi a fedélzeti műszerek valós működési üzemmódjainak és az üzemmódok állapot átmeneteinek leírását. A szimulációt végző modulok csoportosítása és paramétereik szintén egy XML alapú konfigurációs fájlban írhatók le. Ezek segítségével a szoftver forráskódjának változtatása nélkül rugalmasan változtatható a szimulációk összeállítása, beleértve azt is például, hogy melyik PC mely fedélzeti egységek szimulációját futtassa. A szimulációs leíró fájlok az XML szintaktikán felül természetesen egy erre a célra kifejlesztett leíró nyelv szintaktikáját is követik, amelyet a szimulátor modul szintaktikai ellenőrzés után értelmez és futtat. Ennek megfelelően, ha egy új egység kerül a rendszerbe, akkor elegendő annak viselkedését a szimulációs leíró nyelven definiálni, amelynek elsajátítása nem igényel komoly fejlesztői ismereteket.

A fejlesztők számára egy további lehetőség új egységeknek a rendszerbe illesztésére egy programozói felület (Application Programming Interface API), amely lehetővé teszi, hogy a rendkívül speciális egységeket – amelyek működése a script nyelven csak bonyolultan írható le – C++ nyelven implementálják, és az API segítségével könnyedén beillesztik a rendszerbe tetemes programozó munkát megtakarítva ezzel. Ez a módszer azonban már komolyabb programozói ismereteket igényel. A jelenlegi szimulációs rendszerben egy ilyen modul fut, az ESS-Bridge (ESS és SIS Simulator). Ez a modul nem használja az általános megközelítésben használatos XML leíró nyelvet. A feladata, hogy modellezze az ESS működését, amely biztosítja a leszállóegység központi számítógépe (CDMS) és az űrszonda fedélzeti számítógépének földi szimulátora (OBDS és SIS) közötti Kérdés-Válasz jellegű (RTS protocol) kommunikációt mind vezetékessé, mind rádió (Rx/Tx) kapcsolaton keresztül.

**Speciális feladatokat ellátó rendszerelemek**

A második csoportba tartoznak azok a szoftver modulok, amelyek nem berendezések modellezését végzik, hanem az LSS valamilyen speciális feladatát látják el.

**LSS Szerver**

A szimulációs rendszer TCP/IP szegmensének központi eleme az LSS szerver. A rendszer minden szoftver modulja a szerveren keresztül tartja a kapcsolatot más modulokkal.

A szerver főbb feladatai:

- kommunikációs kapcsolat biztosítása a rendszer moduljai között,
- központi adattárolás megvalósítása (Server Data Pool).

Az TCP/IP hálózaton történő kommunikáció egy speciálisan a rendszerre tervezett LSS Data Interchange Protocol (LSDIP) segítségével történik. A protokoll változó méretű adatcsomagokat használ, melyek neve Protocol Control and Data Packet (PCDP).

Ezek egy rögzített méretű fejlécből és egy változó méretű adatrészből állnak. A fejléc tartalmazza többek között a címzett és a feladó modul kódját, azt az információt, hogy a feladó vár-e megerősítést a csomagban kért műveletről, a csomag típusát és altípusát, a csomagra jellemző speciális paramétereket és a csomag adatszegmensének méretét. Az esetlegesen keletkezett átviteli hibák felismerését egy ellenőrző összeg segíti a csomag végén. A modulok a küldeni kívánt adatokat, üzeneteket tehát ilyen PCDP csomagokban továbbítják. A szerver feladatai közé tartozik, hogy kezelje és naplózza a bejelentkezett modulok által nyitott kommunikációs csatornákat és az azokon folyó adatforgalmat.

A Server Data Pool egy központi adatbázis, amely az összes olyan adatot tárolja, amelyekre a moduloknak szükségük lehet a szimuláció során. Ebbe az adatbázisba minden modul szabadon írhat, vagy olvashat PCDP-k segítségével. Az adattartalom változását a szerver nyomon követi és értesítést küldhet azon modulok számára, amelyek változás-figyelési kérést regisztráltak az adott adatterületre.

Az adatbázis szerkezete dinamikusan változtatható akár a szimulációk futása közben is. Az adatbázis szerkezetének kezelését a Simulation Data Pool Presentation/Editor (SDPPE) nevű szoftver végzi.

**Simulation Data Pool Presentation/Editor (SDPPE)**

Segítségével egyszerűen össze lehet állítani az adatbázis szerkezetét, meg lehet adni, hogy melyik mező milyen kezdeti értékkel legyen feltöltve, vagy hogy milyen inicializáló fájlból olvassa ki a kezdeti értékeket a program. Ennek megfelelően egy adott pillanatban elmenthető a teljes szimuláció állapota, és egy későbbi újraindítás után ott lehet folytatni a szimulációt, ahol abbamaradt. A Data Pool bármely részébe be lehet tekinteni, és a megfelelő mezőknek manuálisan értéket lehet adni.

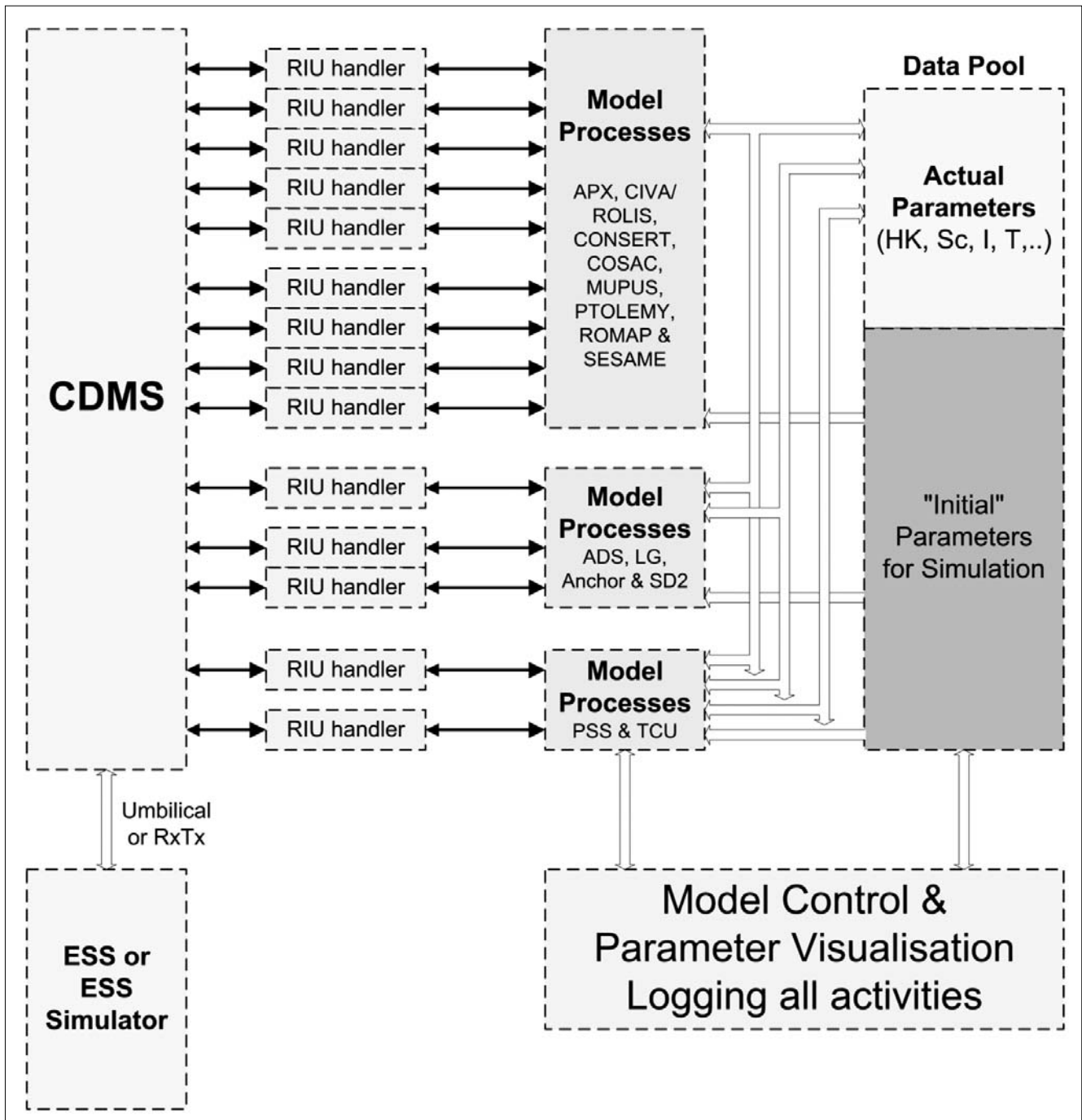
A szerver is ad lehetőséget a Data Pool mezőinek megjelenítésére, és folyamatos nyomon követésére, ám az adatok közvetlen editálását ezzel a modullal lehet elvégezni. Ezek mellett a szimuláció vezérlése is megoldható ebből a modultól (leállítás/felfüggesztés/indítás/adatok zárolása stb.). A Data Poolban tárolt adatok egysége a „word” (2 byte). Ezek a szavak nyers (raw) adatok. Általános esetben a raw szó többféle adatot is tárolhat. Például a különböző bitekhez különböző jelentések társulhatnak. Előfordul például, hogy az űreszközön a rendelkezésre álló adatterület maximális kihasználása érdekében például a szó utolsó nyolc bitje egy hőmérséklet értéket tárol, a következő kettő egy 4

állapotú jel értékét, a többi bit pedig 2 állapotú jeleket. Ekkor a hőmérséklet jelet úgy kapjuk, hogy a jelhez rendelt maszkot alkalmazzuk a raw adatra, majd a kapott értéket behelyettesítjük egy a jelhez rendelt matematikai (általában lineáris) kalibrációs egyenletbe, melynek megoldása a valódi hőmérséklet érték. Ennek kódolását és dekódolását több modul is végzi, ahol szükség van a valós adatok megjelenítésére, kiértékelésére, vagy előállítására.

**CDMS Memory Tool IF (CMTIF)**

A CMTIF feladata, hogy a hozzá érkező kéréseknek megfelelően írási és olvasási műveleteket hajtson vég-

5. ábra A szoftverelemek belső kapcsolatai



re a CDMS memóriájában. Ezt úgy valósítja meg, hogy képes egy Valós Idejű Üzenetkezelő kártyán keresztül közvetlen üzenetváltásra a CDMS belső memóriakezelő moduljával. A kérések érkehetnek a hálózaton bármely LSS modultól, melyek eredményét a CMTIF visszaküldi a hálózaton a kérést indító felé. Hasonló műveletek elvégzésére lehetőséget ad a program felhasználói felülete is.

### CDMS Memory Decoder (LDEME)

A CDMS memóriatartalmának megjelenítését szolgáló kifinomultabb eszköz a CMTIF-fel szorosan együttműködő LDEME (CDMS Memory Decoder). Ez a modul kizárólag TCP/IP kapcsolaton keresztül tartja a kapcsolatot a CMTIF modullal, és a tőle visszakapott adatokat a tartalomnak megfelelően dekódolva jeleníti meg. Így a CDMS memóriatartalma könnyen áttekinthető és értelmezhető. A kommunikáció itt is a szerveren keresztül történik.

Jelenleg ez az egyetlen szituáció, amely igényli a szerverben implementált rugalmas timeout kezelést. A CDMS reakcióideje ugyanis meglehetősen lassú lehet, hiszen fő feladata nem az, hogy kiszolgálja az LDEME és a CMTIF kéréseit. A szerverben megadható ugyan, hogy egy adott modul válaszára mennyi legyen a várakozási idő, ám az LDEME kéréseire adott válaszban szereplő adatmennyiség igen tág határok között mozoghat. Nyilvánvaló, hogy nagyobb adatmennyiség több időt vehet igénybe, így be kellett vezetni egy dinamikus timeout kezelést is a szerverben a fix timeout mellé. Ezzel lehetőség van egyes modulokra a fix timeout érték helyett megadni egy adatmennyiségtől függő timeout értéket. Ekkor a szerver ellenőrzi, hogy a feladó modul mekkora adatot kért a címzettől és ennek megfelelően állítja be arra a csomagra a timeout értékét. Ez a helyzet az LDEME által a CMTIF-től kért adatok esetében is, ugyanis a CMTIF megvárja, még a CDMS megadja a kért választ, és csak ezt követően küldi vissza az LDEME modulnak.

### Grafikus adatmegjelenítő (GraphIT)

E modul feladata, hogy grafikus formában, felhasználóbarát módon jelenítse meg a Data Pool aktuális értékeit. Képes ábrázolni az időben változó Data Pool részeket és grafikon formájában, valós időben rajzolni. A felhasználó összeállíthat különböző grafikonokból csoportokat, melyeket egy ábrában akar kirajzolni látni. Szabadon megadható, hogy a Data Pool melyik részét szeretnénk kirajzoltatni, és milyen formában dekódolni. Vannak ugyanis modulok, melyek lebegőpontos értékeket tárolnak a Data Poolban, így ezek legalább 2 szót foglalnak el, ezért egy ilyen grafikon egy pontjának kirajzolásához mindkét szót le kell kérdezni, dekódolni (esetleg kalibrációs egyenletet alkalmazni rá), majd kirajzolni. A Data Pool tárolhat szöveges adatokat is, amelyek időbeli változását követni tudja ez a modul. Az összeállított grafikon kombinációkat külön ablakokban lehet megjeleníteni, és a teljes konfigurációt fájlba lementeni illetve fájlból visszatölteni.

A grafikonokhoz kétféle frissítési mód rendelhető. Beállítható, hogy a grafikon csak akkor frissüljön, ha a megjelenített adat megváltozott a szerver adatbázisban, vagy periodikusan frissüljön egy beállítható periódus szerint. A megjelenített adatok további feldolgozás céljából fájlba is rögzíthetők, amit aztán más táblázatkezelő vagy adatfeldolgozó programba importálni lehet. Lehetőség van továbbá a Data Pool egy részének kijelölése helyett előre definiált Parameter Object (PO) listából választani. Egy ilyen előre definiált PO, amely például egy hőmérséklet értéket definiál, tartalmazza többek között a hőmérséklet érték alapját képező nyers adat helyét a Data Pool-ban, a dekódolásához szükséges maszkot, és a kalibrálásához szükséges matematikai egyenletet is.

## 7. Összefoglalás

Az LSS rendszer tervezésekor a rugalmasság volt a fő szempont. Jelenlegi alkalmazása mellett más hasonlóan komplex rendszerek működésének szimulációjára is adaptálható. A moduláris felépítés lehetővé teszi, hogy egyszerre akár sok fejlesztő dolgozzon az egyes modulokon egymástól nagyrészt függetlenül. Egy nemzetközi környezetben folyó hosszú fejlesztés során, mint amilyen a Rosetta program is, ez komoly előnyt jelent.

Az XML alapú leíró nyelv lehetővé teszi különböző berendezések szimulációját, a szoftver forráskódjának változtatása nélkül. A leíró fájlok elkészítése nem igényel mély szoftverfejlesztői tudást a projekt későbbi szakaszába bevont operátoroktól sem. A speciális feladatot ellátó szoftverek nagy része pedig javarészt független attól a konkrét rendszertől, amelynek a szimulációját végezzük. Amennyiben szükséges olyan modul fejlesztése, amely túlmutat az XML leíró nyelv keretein, akkor a fejlesztők munkáját egy C++ API segíti, melynek segítségével tetszőleges új modul a rendszerbe illeszhető.

### Irodalom

- [1] Baksa Attila:  
Üreszközök fedélzeti autonómiájának kialakítása a naprendszer távoli objektumainak kutatásához. Híradástechnika, 2004/5. sz., pp.30–33.
- [2] Dr. Szalai Sándor, Balázs András:  
A Rosetta Lander központi vezérlő és adatgyűjtő számítógépe. Híradástechnika, 2004/5. sz., pp.34–36.

# Változóban a Föld-képünk

LICHTENBERGER JÁNOS, E. FERENCZ ORSOLYA

ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Űrkutató Csoport, spacerg@sas.elte.hu

BODNÁR LÁSZLÓ\*, FERENCZ CSABA#, STEINBACH PÉTER‡

\*BL-Electronics, Solymár

#MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport, ELTE Környezetfizikai Tanszékcsoport

‡MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport

Lektorált

**Kulcsszavak:** whistler, ionoszféra, hullámterjedés, úridőjárás

Az alacsony, poláris pályán keringő műholdak, mint például a francia DEMETER műhold, egyedülálló lehetőséget kínálnak a Föld ionoszférájának elektromágneses feltérképezésére, az ionoszférán keresztül a műholdig terjedő, úgynevezett töredék-whistlerek detektálásával és elemzésével. Az elemző módszerek a Maxwell-egyenleteknek előmágnesezett plazmában, impulzus gerjesztés esetén kialakuló UWB-megoldásain alapulnak, és az ionoszférikus hullámterjedési kép megújítását teszik lehetővé. A szélessávú földfelszíni és műholdas mérési adatbázis egyidejű elemzése számos, a whistlerek keletkezésére és terjedésére vonatkozó nyitott kérdés megválaszolását segíti elő, meghatározva az alsó ionoszféra szerepét a szubionoszférikus és plazmaszférikus impulzus-terjedés jelenségében.

## 1. Bevezetés

A Föld felső légköréről alkotott fizikai kép – környezetünk sok más eleméről szerzett ismerethez hasonlóan – az elmúlt száz évben gyökeresen megváltozott. A 19-20. század fordulójáig ballonos expedíciók méréseire alapozva a tudományos közfelfogás a meteorológiai jelenségeknek helyet adó légköri tartományok (troposzféra, sztratoszféra) felett üres világűrt tételezett fel. A század első évtizedeinek rádiós kísérletei – köztük is az első, G. Marconi transzatlanti jeltovábbítása 1901-ben – adtak kísérleti igazolást arra a már korábbi feltevésre, hogy a felső-légkörben, nagy magasságban az elektromos áramot is vezetni képes, szabad töltések tömege van jelen.

A földi környezetnek a mintegy 90 km és 800~1000 km magasságok közti tartománya, az *ionoszféra* bolygónk plazmakörnyezetének alsó régiója, jellegzetes átmeneti tartomány. Itt dominánsan a Nap elektromágneses, illetve részecske sugárzásainak ionizáló hatása hozza létre és tartja fenn a részleges ionizáltságot. Azonban a semleges légkör és a szilárd Föld elektromos folyamataival is szoros csatolást mutat. A Föld ionizált felsőlégköre (ionoszféra, magnetoszféra) fizikai folyamatairól – az egyre több űreszköz in-situ mérései ellenére – mindmáig döntően rádiós kísérletekkel, hullámterjedési vizsgálatokkal szerzünk ismeretet.

A földfelszínen vagy műhold fedélzetén rögzített, a felsőlégköri, ionoszférikus vagy magasabban lévő plazmában terjedő villamos jelek elemzésével lehetőségünk van pontosítani és új elemekkel bővíteni ismereteinket felsőlégköri környezetünkről, amely közeg kulcsszereplő a Naptól a Földre jutó energia közvetítésében.

## 2. Úridőjárás hatása a magaslégkörben

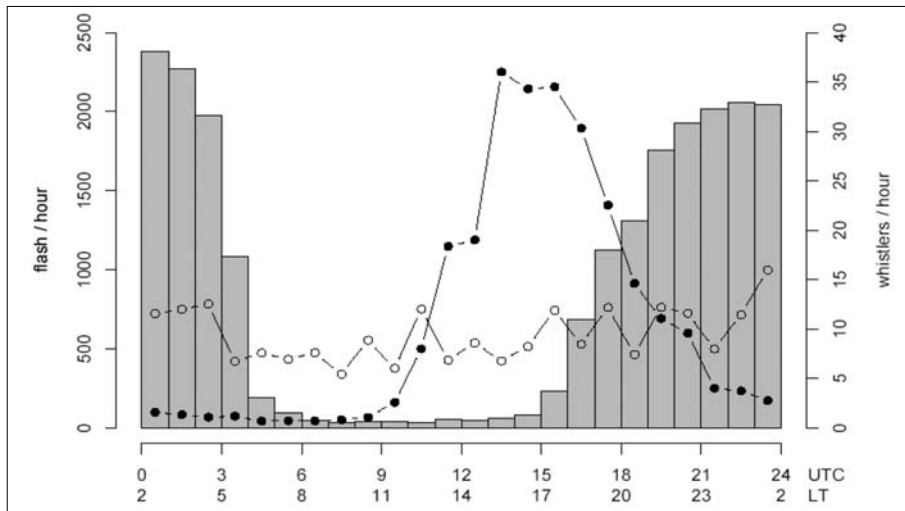
A Nap, ami egyfelől évmilliárdos skálán is meglepően egyenletes sugárzással biztosítja bolygónkon az élet

fennmaradását és fejlődését, folyamatosan változást mutató, dinamikus csillag. A Nap által az űrbe kisugárzott energia mértéke a reguláris (kváziperiodikus), tehát előre tervezhető változások mellett sokrétű, irreguláris jelleget is mutat az elektromágneses és a részecske-sugárzásban egyaránt. A Nap dinamikus, periodikus, kváziperiodikus és szabálytalan változásait *naptevékenységeknek* nevezzük. A Nap folyamatos elektromágneses sugárzása és részecskeárama (napszél) intenzív naptevékenységkor egy szinte minden jellemzőjében felerősödött sugárzásként éri Földünket [1].

Az olykor gyorsan változó arcát mutató Nap környezetünkre gyakorolt hatását az utóbbi években kezdtük csak jobban megismerni, intenzíven vizsgálni. Azt az igen összetett folyamatot, ami egy-egy naptevékenységet követően (az energia útját a Naptól a Földre követhetve) a bolygóközi térben, a földi mágneses térben, a felsőlégkörben (sugárzási övek, ionoszféra), a meteorológiai folyamatokban, végül pedig az élő és élettelen (például a civilizációs infrastruktúra) világban lezajlik, *űr-időjárásnak* nevezzük.

A földi ionoszféra állapota döntően az ionizáló hatás intenzitásától függ, így nem véletlen, hogy a naptevékenység lassú és gyors változásai – hasonlóan a teljes bioszféra működéséhez – egyaránt megmutatkoznak rajta, ebben az esetben az ionizáltság megváltozott mértékeként. Az átlagostól eltérő állapotú közeg a megváltozott terjedési tulajdonságokon keresztül a plazmát harántoló villamos jeleken is kimutatható.

A felsőlégkör modellezése és elektromágneses monitorozása hozzásegít például ahhoz, hogy – a Napot és a napszelet a bolygóközi térben megfigyelő űrszondák (pl. SOHO) által idejekorán adott jelzések alapján – egy-egy naptevékenységnek űr-időjárás hatását, annak lefutását és mértékét becsülni tudjuk, mielőtt az ténylegesen bekövetkezne. Az elektromágneses monitorozás egyik kulcsa a *whistlerek* és whistler-szerű jelenségek folyamatos észlelése és az adatok értékelése.



1. ábra  
Tihanyban (ELGI Obszervatórium) rögzített whistlerek és a mágneses konjugált dél-afrikai régióban a villámok gyakoriságának napszak szerinti változása. A whistlerek az oszlopdiaagram jelzi, a szárazföld (●) és a tenger (○) feletti villámokat külön görbe mutatja.

### 3. Az alsó-ionoszféra szerepe a whistler terjedésének kialakulásában

A whistlerek keltéséről, plazmában történő terjedéséről az elterjedt, általánosan ismert leírás a 60-as évek óta érdemben nem változott. E szerint – vázlatosan – a villámok keltette szélessávú elektromágneses impulzusok az ionoszférába léphetnek, majd azt harántolva a magnetoszférában (plazmában) terjednek. E jelek alacsony frekvenciás jelrészének, a whistlereknek időben változó frekvenciájú jelalakját az anizotróp földi plazmakörnyezetben terjedésük során a diszperzió okozza. A plazmaszférában terjedő VLF jel (whistler), több más alacsony frekvenciás plazmahullám mellett fontos szereplője a sugárzási övek energikus részecskéi és az alsóbb légkör közötti energia csatolásnak.

A korábbi évek whistler kutatásai érdemben feltáratlanul hagyták, hogy a villám típusa (CC: felhő-felhő, CG: felhő-föld, illetve IC: felhőn belüli) játszik-e szerepet a whistler gerjesztésben; milyen feltételek mellett tud (a földfelszín mentén gyakran nagy távolságra terjedő jel) az alsó-ionoszférába belépni; mi az ionoszférikus terjedés jellege (iránya); a magnetoszféra mely sajátossága teszi lehetővé, hogy whistlerek (felszíni észlelések szerint) földmágneses erővonal mentén visszajutnak a felszín környezetébe; van-e „szűrő” szerepe az ionoszférának a felfelé, illetve a felszín felé terjedő whistlerek esetében. Az egymást kiegészítő földi és műhold-fedélzeti mérések és a legújabb kutatások, jelfeldolgozási eljárások a fenti nyitott kérdések egy részére választ adnak.

### 4. Az automatikus whistler detektálás tanulságai

A whistler, földfelszínen vagy műholdon regisztrálva, tömegesen előforduló jelenség. Megbízható vizsgálatokban alapvető a nagy esetszámra támaszkodó statisztika, amelyet – a manuális feldolgozás kis határfoka miatt – egyedül az automatikus eseménydetektálás tud biztosítani. A világon egyedülálló AWDA jelfeldolgozó rendszer [2] alkalmazásával valóban folyamatos jelész-

lelést, jeldetektálást és feldolgozást lehet megvalósítani, azaz a korábbi évek esetszámánál több nagyságrenddel (!) nagyobb whistlert lehet elemezni, e mellett a whistlerek kigyűjtése is teljesebb – talán közel teljes – körű lett. Mágnesesen konjugált területek egyidejű villám- és whistleradatai alapján ismerjük a whistlerek napszak szerinti és éves gyakoriságát.

Abból, hogy a whistlerek időbeni gyakorisága nem tükrözi a villámokét (lásd az 1. ábrát) fontos következtetés, hogy a villám-kisülés szükséges, de bizonyosan nem elégséges feltétele whistlerek létrejöttének. A whistlerek keltéséről és terjedéséről teljesebb képet földi és fedélzeti regisztrátumok párhuzamos (szimultán), automatikus detektáláson alapuló elemzésével nyerhetünk. Ez ad a közeljövőben választ arra is, hogy az ionoszféra milyen szerepet játszik a whistler-jelenségkörben, s így az ionoszférában lezajló energiaátviteli folyamatokat is jobban megismerhetjük. Megrázó felismerés, hogy a villámszám növekedése nem eredményezi a whistlerek számának egyidejű növekedését.

### 5. Hullámterjedési jelenségek a DEMETER műhold felvételein

A francia tudományos program keretében fejlesztett és üzemeltetett DEMETER műhold a földi környezet monitorozásában új fejezetként tekinthető kis tömegű, úgynevezett mikroműholdak sorozatának egyik első tagja. Fedélzeti tudományos programját az elektromágneses tér komponenseinek széles frekvenciasávon rögzítése mellett aktív és passzív plazmafizikai kísérletek teszik teljesebbé (<http://demeter.cnrs-orleans.fr>). A műhold közel poláris pályahajlása és alacsony (ionoszférikus), közel állandó pályamagassága (kb. 710 km) elsőrangú eszközzé teszi a plazmakörnyezet alsó régióinak vizsgálatára. Az ionoszférát harántoló és műholdon rögzített, csak a troposzféra-műhold közötti úton terjedt, ún. „törredék-whistlerek” villámokéval összevethető gyakorisága és az ennél mintegy két nagyságrenddel ritkább, „egyugrású whistlerek” (a magnetoszférán át a konjugált területig jutott jelek) számában tapasztalható eltérés oka elsősorban a magnetoszférabeli terjedésben keresendő.

A DEMETER felvételeken detektált töredék-whistlerrek jelalakja nagy pontossággal reprodukálható az impulzusok anizotróp plazmában, mágneses térrel szöget bezáró terjedése esetére érvényes UWB hullámterjedési megoldással [3]. Az ionoszféra és a földmágneses tér rendelkezésre álló standard modelljei (IRI, IGRF) és a fedélzeti szélessávú regisztrátumok alapján a villám keltette impulzusok ionoszférában történő terjedésének térbeli jellegzetességéről először lehetett a pontos hullámterjedési megoldás alkalmazásával, a korábbi leírásoktól alapvetően eltérő képet alkotni. Azok az impulzusok, melyek jelentős utat megtéve több ezer km-t terjednek a földfelszín mentén, mielőtt belépnek a troposzférából a plazmaszférába (ekkor szférikusz a nevük) magukon hordozzák a vezetett terjedés módusképét [4]. Ezek a jelek sajátos, „szálkás” töredék-whistlerként jelentkeznek a műholdas adatokon (2/a. ábra). A DEMETER felvételein kimutatott jeltípus egyugrású whistlerreken mindmáig ismeretlen. A hullámterjedésről és a plazmaközegről ma alkotott fizikai kép szerint hasonlóan megválaszolatlan az a folyamat, amely egy, az ionoszféra alatt vezetett módusokban terjedő impulzusnak csak egyes módusait engedi terjedni az alsó ionoszférában, ahogyan ez a műholdas felvételeken gyakran megfigyelhető (2/b. ábra).

A DEMETER program elsődleges tudományos célkitűzése a földi szeizmikus aktivitás és a felsőlégköri (ionoszférában kutatott) fizikai folyamatok, kiemelten is az elektromosság között esetleg fennálló kapcsolat keresése, térképezése. E perspektivikus kutatási iránynak a nagyléptékű légköri és szilárd kéregbeli áramrendszerek léte, ezek mágneses terének csatolása és a zömében kristályos litoszféra vezetőképességének és mechanikai feszültségterének (csak töredékesen feltárt) összefüggése ad elvi alapot. Az eddig végzett kutatások sokrétű, indikáció szintű igazolását, megerősítését adták ezen alapvető fontosságú terület további, intenzív művelésének. A DEMETER műhold szélessávú mágneses felvételeinek átlagolt zajspektrumán rengési eseményekkel térben és időben korreláló anomalisztikus jelenségeket azonosítottak francia kutatók. Az operatív üzemének, élettartamának közepén működő hold által eddig gyűjtött in-

dikációk rengéshez köthető jellegét csak a következő időszak további adatainak kiterjedt vizsgálata verifikálhatja.

## 6. Összegzés

A Föld e fontos részének, a felsőlégkörnek a működéséről korábban kialakított képünk változni kezdett. Az új műholdas mérések adatainak egyre több eddig ismeretlen jelenséget találunk, aminek következtében a Földről és annak fizikai környezetéről kialakított képünk bizonyosan megváltozik. Döntő fontosságú tehát, hogy minél pontosabb elméleti modellek megalkotásával és részletesebb monitorozással kövessük nyomon az e régióban lezajló folyamatokat.

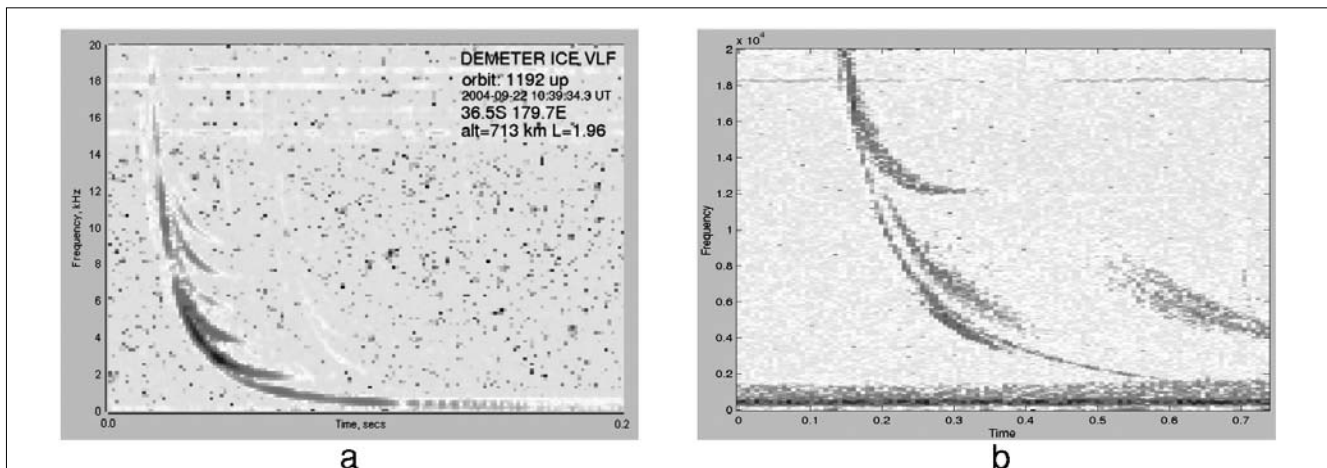
## Köszönetnyilvánítás

A bemutatott eredmények alapvetően a Magyar Űrkutatói Iroda (Informatikai és Hírközlési Minisztérium) támogatásával születtek meg, támogatva továbbá az MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport, valamint az MTA és a már lezárult OTKA T037611 és F037603 szerződések által.

## Irodalom

- [1] Bencze P. (2004), A naptevékenység és a rádióhullámok terjedése, Híradástechnika, LIX., 2004/5, pp.2–17.
- [2] Lichtenberger, J., Cs. Ferencz, D. Hamar, P. Steinbach, L. Bodnár (2004), Automatic whistler detection and analyzing system, Geophys. Res. Abs., Vol.6, 01390.
- [3] Cs. Ferencz, O.E. Ferencz, D. Hamar, J. Lichtenberger (2001), Whistler Phenomena. Short impulse propagation, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.260.
- [4] E. Ferencz Orsolya, Ferencz Csaba (2004), Elektromágneses impulzusok terjedésének vizsgálata különböző közegekben, Híradástechnika, LIX., 2004/5, pp.18–24.

2. ábra Az ionoszféra alatti terjedés módusképének nyomát mutató „szálkás” töredék-whistlerrek a DEMETER műhold VLF felvételének két részletén. Nem ismerjük annak okát, hogy egyes módusok miért terjednek tovább, míg mások nem.



# 80 éves Tihanyi Kálmán töltéstárolás elvén alapuló televíziós szabadalma

SIPOS LÁSZLÓ

*Nyolcvan éve, hogy egy budapesti mérnök-fizikus rajzasztalán megfogant a televízió-kamera lelke, Tihanyi Kálmán forradalmi jelentőségű szabadalma a radioskop; mai közismert nevén az ikonoszkóp. A magyar feltaláló 1926. március 20-án kelt szabadalmi kérelmében részletesen leírta az általa javasolt töltéstárolás elvét megvalósító rendszert, így pár év múlva megszülethetett a 20. század egyik legnagyobb találmányaként jegyzett eszköz, mely lehetővé tette a televíziózás kivirágzását.*

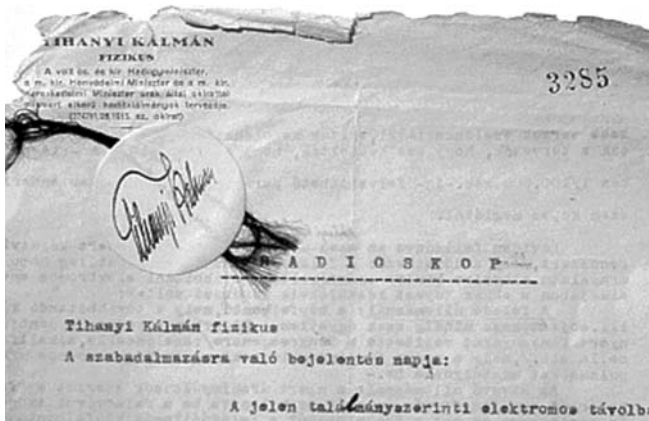
Tihanyi Kálmán 1897. április 28-án Üzbégen született, tanulmányait Pozsonyban és Budapesten végezte. Találmányai a távolbalátás technikai megvalósításában döntő szerepet játszottak. Az úgynevezett töltéstárolás bevezetésével és a televízió számos egyéb problémájának megoldásával lehetővé tette az akár természetes megvilágítás mellett is kiváló képminőség elérését és – az ugyancsak általa bevezetett katódsugár koncentrálásnak köszönhetően – a többszáz-soros képátvitel megvalósulását. Az 1926. évi „Radioskop” címen benyújtott szabadalmi kérelmében részletesen kifejtette a töltéstárolás elvi alapjait és az annak alkalmazásával kialakítható új televízió rendszert, beleértve annak színes változatát is. Elgondolásait tovább finomította; végleges megoldásait, két szabadalomra osztva 1928 nyarán jelentette be Németországban, illetve Magyarországon. Tihanyit a közzétételek után, 1930-ban kereste meg az RCA (Radio Corporation of America), és megvásárolta szabadalmait, majd az RCA orosz születésű mérnöke, Vladimir Kosma Zworykin 1933-ban egy konferencián ismertette az új nagyjelentőségű képbontót, a Tihanyi-féle töltéstárolási elven felépült ikonoszkópot.

Röviden a világ első szériagyártásra kerülő töltéstároló-típusú képbontó-csőről: az átvinni kívánt képet lencserendszer vetíti a szemcsés szerkezetű fotókatód-mozaikra, amely a csillámlemezen (később, ahogy ő javasolta, vezető üvegen) helyezkedik el. Ennek hátsó oldalát vezető fémbevonattal látják el (jellemző), amely a mozaikszemcsékkel elemi kondenzátorokat alkot. A fény hatására a mozaiklemezre vetített optikai kép különböző fényűrségeivel arányos töltéskép alakul ki a teljes letapogatási ciklus, 1/30 sec alatt. Ezt egy elektronsugár-nyaláb tapogatja le pontról pontra haladva, az első

megközelítésben 441 párhuzamos sorban, miközben az elemi kondenzátorokon a potenciálkülönbségeket megszünteti, azokat kisüti. A jellemezen így előálló elektromos töltésváltozás, a kisütési áram a jellemezhez csatlakozó ellenálláson létrehozza a képjelet. Tihanyi a képbontást, a korát messze megelőzve zseniálisan oldotta meg a mechanikai szerkezetek teljes kihagyásával, tisztán az elektronika eszközeivel. A közvetítendő jelenetről nem készített előzőleg filmet, hanem az élő képátvitel feltételeit teremtette meg a katódsugárcsőbe épített hárommillió fotócella-elemecskéből álló, mindössze 12x10 centiméter felületű mozaiklemezzel.

Tihanyi Kálmán nevéhez a televízió mellett számtalan más találmány is fűződik. Pilóta nélküli repülőgépek, tankok, torpedók vezérlő berendezésének, sőtétben is „látó” kamerájának kísérleti példányát az angol légügyi minisztérium részére dolgozta ki, majd az olasz haditengerészet igényeire adaptálta. Foglalkozott elektroakusztikával és ultrahang-technológiával, eljárást dolgozott ki magasnyomású akusztikus sugarak keltésére, főképp a kártékony rovarok irtására. Találmányain kívül megannyi apró praktikumot is alkotott. Igazi polihisztor volt, akit a természettudományos gondolkodás, a problémalátó képesség és alkotói igényesség jellemzett. Elgondolásai számos rokon területen, mint a mikroszkópia, jelentős fejlődéshez vezettek. Utolsó ismert bejelentése e témában egy lapos képernyős televízióra vonatkozott. Tizenkét évi távolléte alatt Németországban, Angliában, Olaszországban és Franciaországban élt és dolgozott. A háború kitörésekor hazatért, hogy immár kidolgozott találmányát, az akusztikai sugárvetítőt itthon fejlessze ki. Az ebből adódó komplikációk és németellenes fellépései miatt a megszállást követően letartóztatták, fogházba zárták. A háború befejezése után – 1947. február 26-án bekövetkezett hirtelen haláláig – az atomtámadás elleni védelemre vonatkozó javaslaton dolgozott.

A 80 éves korszakalkotó találmány jelentőségét jelzi, hogy 2001-ben az ENSZ oktatással, kultúrával, tudománnyal és kommunikációval foglalkozó szervezete, az UNESCO felvette Tihanyi Kálmán 1926. március 20-án leadott eredeti szabadalmi bejelentésének iratait a Világörökség program mellett működő Világ Emlékezte (Memory of the World) listájára, melynek célja, hogy létrehozzák a jelentősége miatt világörökségnek minősített dokumentációk gyűjteményét. A dokumentum bekerült a regiszterbe és megjelent az UNESCO internetes portálján, a [www.unesco.org/webworld](http://www.unesco.org/webworld) címén is.



## Korszerű ismeretterjesztés: Mindentudás Egyeteme könyvek

*A Mententudás Egyeteme, az MTA közreműködésével útjára indított nagyszabású előadássorozat a korszerű ismeretterjesztés legmerészebb hazai vállalkozása, egy követhető iskolapélda. Az alábbiakban a Kossuth Kiadó immár négy kötetes kiadványára és a hatékony kommunikáció összefüggéseire szeretném ráirányítani az olvasók figyelmét.*



**2002** szeptember 16-án a Magyar Tudományos Akadémia közreműködésével indult útjára az a nagyszabású televíziós előadássorozat, amely a korszerű ismeretterjesztés iskolapéldája. A Mententudás Egyeteme (ME) szervezőinek legfőbb célja, hogy az érdeklődő közönség számára is hozzáférhetővé tegyék korunk legmagasabb szintű tudományos ismereteit, a kortárs tudomány legfőbb dilemmáit.

Immáron a negyedik éve – szemeszterekre tagolva – hangzanak el a kiváló előadások, melyeket az Internet segítségével is követhetünk. A programok rendre hétfő este kezdődnek a BME új lágymányosi informatikai épületében – a 45 perces előadást az előadó és a közönség egyórás kötetlen eszmecsereje követi. Az élő programmal egyidőben megnyílik az új előadás mikrosite-ja a ME ([www.mindentudasegyeteme.hu](http://www.mindentudasegyeteme.hu)) weboldalán. Itt az elhangzottnál részletesebben, pótlólagos olvasmányokkal kibővítve, ábrák, mozgó és hangzó illusztrációk segítségével kellő nyugalommal tanulmányozhatjuk az anyagot, és hypertextes hivatkozásokat, annotált linkajánlatokat, részletes bibliográfiát is találunk. Már másnap az Interneten találjuk a helyszínen készített – a vitát is tartalmazó – hang- és videofájlokat, hogy az se maradjon le a látvány és az élő hang élményéről, aki nem tudott személyesen jelen lenni. Az előadókat önálló oldal mutatja be, a tudományos pályafutásától publikációin át a személyes vonatkozásokig. Ezzel egyidejűleg megnyílik meg az elhangzott előadás fóruma, ahol az előadói oldal is követi a topicok életét, és reagál a hozzá intézett kérdésekre.

Valamennyi előadásról és vitáról a Duna Televízió és a Magyar Rádió készít, majd sugároz vágott felvételeket. Hétfőeken is szerepel a ME a médiában: a Népszabadság hétfői melléklete az aktuális hét előadójával készít interjút, míg a Magyar Hírlap és a Magyar Nemzet az előadás rövidített, népszerűsítő változatát hozza szombati mellékletében.

A legkülönbözőbb tudományterületek – fizika, kémia, biológia, csillagászat, űrkutatás, orvostudomány, történettudomány, szociológia, informatika, művészettörténet – meghatározó személyiségei tartottak és tartanak (8. szemeszter: 2006. február 20. és május 29. között) előadásokat az adott szakterület jellemzőiről, az elméleti kutatások és a gyakorlati felhasználás összefüggéseiről. A kiváló magyar előadók megmutatták, hogy a 21. század

tudósaira nem jellemző az elefántcsont-toronyba való bezárkózás. Bebizonyították, hogy képesek nemzetközi színvonalon, mégis közérthető nyelven, mindenki számára hozzáférhetővé tenni saját tudományuk eredményeit. És a közönség is bizonyított: hétről hétre megtölti az előadótermet, százezrek nézik a tévéközvetítéseket, és olvassák a folyóiratokban, napilapokban megjelenő összefoglalókat, valamint milliók töltötték le az internetről az előadásokat.

A Kossuth Kiadó ([www.kossuth.hu](http://www.kossuth.hu)) eddig megjelent négy kiadványa, kötetenként mintegy 18 előadás gazdagon illusztrált, szerkesztett változatát tartalmazza. Joggal merül fel a kérdés: miért van szükség a hagyományos könyvre? „Pro captu lectoris habent sua fata libelli” – „a könyvek sorsa azon múlik, hogy olvasóik hogyan értik őket” –, kölcsönözte a könyvek bemutatója alkalmával adott válaszában a római grammatikus Terentius Maurus híres gondolatát Vizi E. Szilveszter, az MTA elnöke.

A Kossuth Kiadó nevében Kocsis András Sándor igazgató kiemelte: „A hazai és a nemzetközi könyvpiac is azt mutatja, hogy a TV és az Internet korában nem hogy vége nincs a Gutenberg-galaxisnak – amint azt jóskolták –, hanem az írott szó univerzuma egyenesen tágulni látszik.” A negyedik kötet megjelenését követően most három árért vásárolható meg a négy kötet. (Egyedi kiadványok interneten történő megrendelése esetén 20% a kedvezmény.)

Az ME előadásainak megjelenése könyv formájában valójában egy sokkal nagyobb tudásanyagot testesít meg. Ami kivételes ebben a könyvben, az – tartalmán, magas színvonalú tudományosságán túl – a hozzá tartozó páratlan webes háttér: ez a kiadvány arra való, hogy „egybeolvassuk” az Interneten található hatalmas, három és félezer oldalnyi kereshető anyaggal. Igazából így van értelme a Gutenberg-galaxis kitágulásáról beszélni: a könyvhöz virtuális értelemben hozzátartoznak például azok a nyilvános fórumok, interaktív alkalmazások is, amelyek a tudásközvetítés korábbi egyirányúsága helyett a kommunikáció sokirányúságát segítik elő. Szellemi vagyonunk hatékony gyarapítása érdekében, érdemes az elektronikus módon közölt anyagok mellett, a reprezentatív, értéknövelt tartalommal ellátott nyomdai kiadványok segítségével is követni a jelzett eseményt. Megéri!

S.L.



### **New ways to describe wave propagation**

*Keywords: wave propagation, modes, inhomogeneous*

The paper presents a theoretical contradiction originated from a fundamental misunderstanding regarding the assumed structure of the signal, which is widely accepted and applied up to now, but leads to false results. After the enlightening of this theoretical problem a new solving method will be presented, which gives opportunity to find new, exact and right solutions, avoids the former mistakes, and by the aid of which several measurements in space research can be successfully interpreted.

### **Effect of plasma environment on sensors and antennas of space devices**

*Keywords: space communication, antennas, plasma*

Antennas on board of satellites mounted either for communication, or plasma measurements are moving in a plasma produced by ionization in the Earth's environment. As a result, these antennas are surrounded by a plasma sheet with parameters differing from that of their environment. The thickness of the ion layer developing around antennas is also influenced by the presence of an electromagnetic field surrounding the antenna. After all, the thickness of this ion layer is proportional to the product of the antenna radius and an exponential function, the argument of which is the ratio of the dielectric constant to the antenna capacity. The thickness of the ion layer affecting parameters of the antenna is of the order of 15 cm.

### **Precise real-time satellite positioning: from the first DGPS solutions to EUPOS**

*Keywords: GNSS, EUPOS, real-time satellite positioning*

For high precision real-time satellite positioning on a large geographical area the establishment of a ground based augmentation system is currently the best solution. This infrastructure is based on a network of GNSS reference stations providing real-time corrections for the users. The paper reviews the recent developments in this field in Hungary. EUPOS is a regional network of reference stations under development with the participation of 14 Central and Eastern European countries. The main characteristics of EUPOS are summarized and the Hungarian EUPOS status is presented.

### **Data acquisition and control system for the PWC experiments of the International Space Station**

*Keywords: plasma, SGF, PC/104, real time Linux, LabWindows*

The „Obstanovka” (Plasma Wave Complex) measuring system is intended to work on the Russian Segment of the International Space Station. Its main goal is to investigate electromagnetic phenomena in the magnetosphere and the ionosphere, as well as the interaction between super-large space vehicle bodies and the ionosphere. Research workers of KFKI RMKI are participating in this experiment by developing a computer system for data acquisition and control. The system consists of three processors on each processor is running Linux based real-time, multitasking operating system. SGF Ltd. produces electrical ground support equipment, which consists of a low level simulator and a PC which is the graphical user interface.

### **PorTL – new and unique thermoluminescent dosimeter system**

*Keywords: environmental, portable and personal dosimeter*

A new and unique thermoluminescent dosimeter (TLD) system, named „PorTL” has been recently developed by the KFKI Atomic Energy Research Institute with the contribution of the BL Electronics for commercial use. The construction was based on their experience achieved by the „Pille” TLD system generations which were and are successfully applied on board spacecraft and space stations since 1980. The small, light, portable, and battery powered system of moderate price can be used for

laboratory, industrial, environmental and personal dosimetry. The principle of operation, technical description, functioning and technical parameters of the system are given in this paper.

### **Life in the neighbourhood of a star**

*Keywords: plasma research, wave propagation, SAS-equipment*

The paper presents an actual and important field of the space research, i.e. of the European, of the ESA research, which is therefore important for Hungary, too. The main question is the determination of the most important and special factors, which can guarantee the continuous existence of the life and of our civilization in the neighbourhood of a star, namely of the Sun. In the answering of this question is an important step the monitoring of the plasma environment and the understanding of the dynamics of it in the case of the Earth and of the Earth-like planets. Having the right answers we shall know more from the necessary steps to defend the life on Earth and the processes which are dangerous for the life.

### **An automated distributed-intelligence calibrating system for the Venus Express space mission**

*Keywords: PC/104, rt-linux, parallel threads*

The Venus Express is the first experiment of the European Space Agency to explore the Venus. An automated calibrating system was developed by the researcher of the KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics of the Hungarian Academy of Sciences. The data are measured and collected under a real-time operating system using PC/104 processor cards. The user interface program is realized under Windows XP on a laptop computer. The specialty is the high voltage insulation of the components.

### **Actual questions of space debris problem**

*Keywords: ORDEM2000, SSN Catalog, space elevator*

For 20 years the amount of different-sized uncontrolled objects which are on the satellite orbits has been increasing that it is really dangerous for satellites and measurement instruments on the orbits. This article deals with the space debris problem, the measurement methods of uncontrolled objects, detection and tracking methods (LDEF, LRIR, SSN Catalog), the collision probability and the reduction of space debris, the safety and trustiness of Space Elevator such as impact probability and which cases the high speed collision makes a disastrous structural failure for Space Elevator.

### **Software simulator for the Rosetta Lander**

*Keywords: Rosetta, space research, XML, C++, transputer*

The software simulator (LSS) was created for Ground simulation of the Rosetta Lander, Philae. The system consists of five personal computers and several Real-Time Message Handler cards. The simulation of the behavior of the on-board equipments is realized using XML syntax based simulation script language. During the design time of LSS the most important aspect was the high level of flexibility. The realized solutions are able to implement for simulation of other complex systems.

### **Changing of the Earth-view**

*Keywords: whistler, wave propagation, space weather*

Polar, low-Earth-orbit satellites provide unique opportunity to map ionospheric plasma processes by recording and analyzing fractional-hop whistlers, transversed the ionosphere. These analyses, based on real full-wave UWB solution of impulse propagation in plasmas and standard models of the plasma environment yield a new picture of ionospheric wave propagation. Contemporarily ground-based and on-board wideband measurements help to clarify several open question regarding to whistler generation, to subionospheric, plasmaspheric impulse propagation and to the role of the lower ionosphere in this phenomena.

# Contents

<i>SPACE RESEARCH AND TELECOMMUNICATIONS</i>	1
<b>Orsolya E. Ferencz, Csaba Ferencz</b> New ways to describe wave propagation	2
<b>Pál Bencze</b> Effect of plasma environment on sensors and antennas of space devices	7
<b>Tibor Borza, István Fejes, Tamás Horváth</b> Precise real-time satellite positioning: from the first DGPS solutions to EUPOS	12
<b>Kálmán Balajthy, Gábor Endrőczy, dr. János Nagy, István Horváth, Csaba Lipusz, dr. Sándor Szalai</b> Data acquisition and control system for the PWC experiments of the International Space Station	17
<b>István Apáthy, Sándor Deme, István Fehér, László Bodnár, Antal Csőke</b> PorTL – new and unique thermoluminescent dosimeter system	23
<b>Csaba Ferencz, Orsolya E. Ferencz, János Lichtenberger, Balázs Székely, Péter Steinbach, László Bodnár</b> Life in the neighborhood of a star	29
<b>Kálmán Balajthy, János Sulyán, Lajos Szalai, Bálint Sódor, Csaba Lipusz, dr. Sándor Szalai</b> An automated distributed-intelligence calibrating system for the Venus Express space mission	34
<b>Andrea Farkasvölgyi</b> Actual questions of space debris problem	39
<b>Gábor Tróznai, Attila Baksa, Bálint Sódor</b> Software simulator for the Rosetta Lander	45
<b>János Lichtenberger, László Bodnár, Orsolya E. Ferencz, Csaba Ferencz, Péter Steinbach</b> Changing of the Earth-view	51
<b>László Sipos</b> The memory of Kálmán Tihanyi's Patent Application "Radioskop" Book review: The ENCOMPASS-project (ENCyclopedic knOwledge Made a Popular ASSet)	54 55

---

## Szerkesztőség

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451, e-mail: info@hte.hu

## Hirdetési árak

1/1 (205x290 mm) 4C 120.000 Ft + áfa  
Borító 3 (205x290mm) 4 C 180.000 Ft + áfa  
Borító 4 (205x290mm) 4 C 240.000 Ft + áfa

## Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

Szabó A. Csaba, BME Híradástechnikai Tanszék  
Tel.: 463-3261, Fax: 463-3263  
e-mail: szabo@hit.bme.hu

## Előfizetés

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451  
e-mail: info@hte.hu

## 2006-os előfizetési díjak

*Közületi előfizetők részére:* bruttó 30.450 Ft/év  
*Hazai egyéni előfizetők részére:* bruttó 6.800 Ft/év  
*HTE egyén tagok részére:* bruttó 3.400 Ft/év

## Subscription rates for foreign subscribers:

12 issues 150 USD,  
single copies 15 USD

www.hte.hu

Felelős kiadó: NAGY PÉTER  
Lapmenedzser: Dankó András

---

HU ISSN 0018-2028

Layout: MATT DTP Bt. • Printed by: Regiszter Kft.