

# 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. űr kutatási 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 bioszféra, 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.

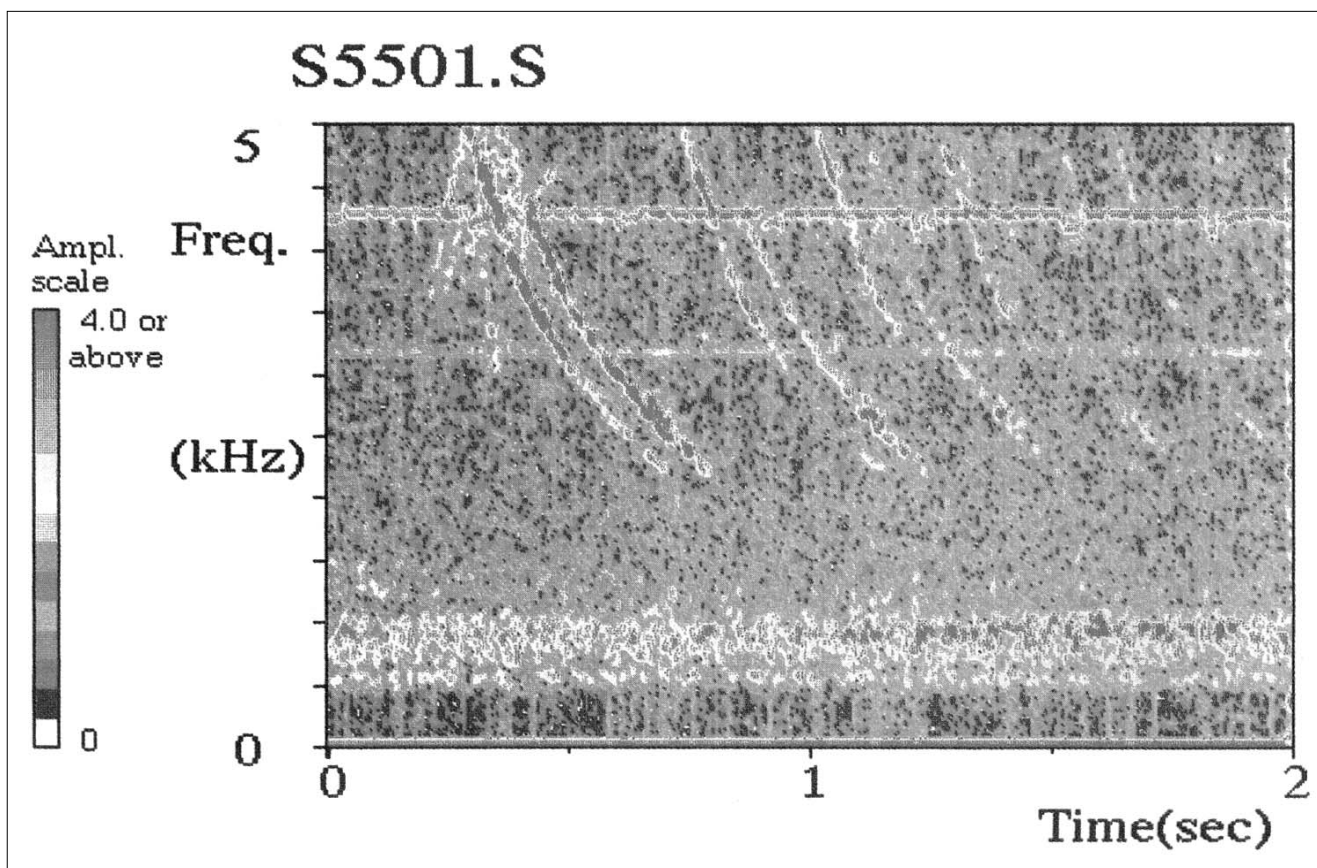
Légkörünk úgy működik, mint egy sávszűrő, amelyet az erős mágneses térrel is rendelkező bolygónk és a rajta lévő bioszféra tart fenn együtt. Így a biológiai ritmustartományba eső 10~30 MHz alatti jelek és a napkitörésekből a Földet elérő nagy részecskeáramlások

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.

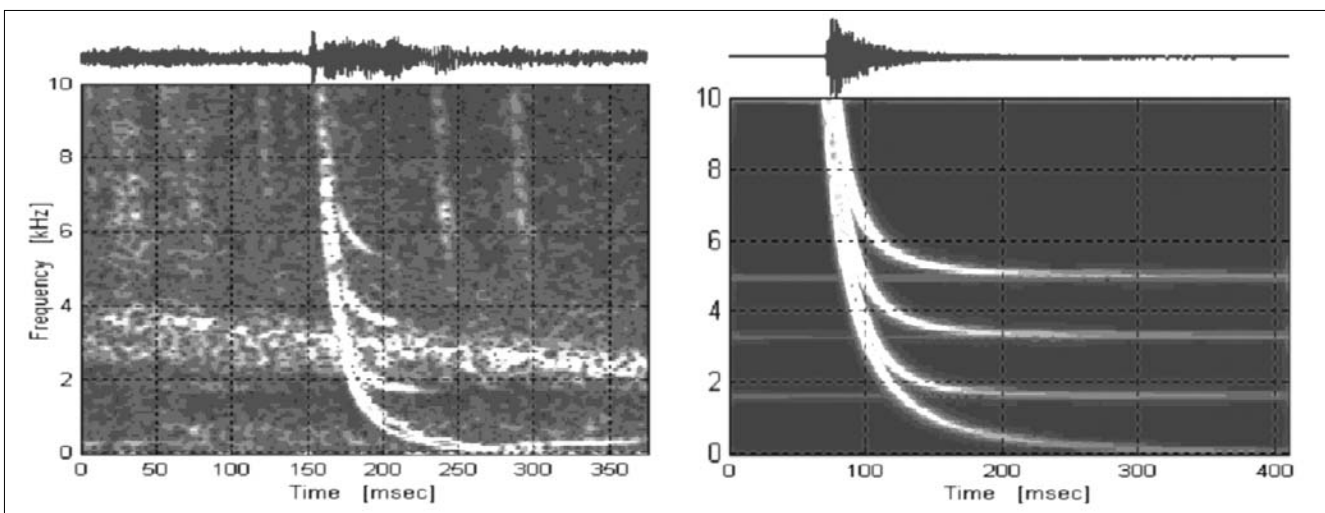
Más bolygók esetében a felmérések még esetlegesebbek. Ezekből azt tudjuk, hogy e bolygók is, mind a belsők, azaz a Merkúr, Vénusz és a Mars, mind a külső nagyok és holdjaik elektromágneses környezete is aktív és az égitestre jellemző. De csak szórványos mérési adataink vannak róluk. Még a Hold elektromágneses 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 zivartartevékenység, 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 mérés technika 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] Erhardtné Ferencz O. és Ferencz Cs.:  
Elektromágneses impulzusok terjedésének vizsgálata különböző közegekben;  
Híradástechnika, LIX., 2004/5, pp.18–24.

