

"A szeizmikus eseményeket kísérő elektromágneses jelenségek vizsgálata"
témakörben a 2002-2005 teljes beszámolási időszakban a következők történtek:

A szeizmikus eseményeket kísérő e.m. jelenségek vizsgálata a szeizmikus események előrejelezhetőségének remélt megoldása érdekében alapvető fontosságú. E célt a pályázatban is leírt módon zajszerű illetve diszkrét, rendhagyó alakú ULF-VLF (és esetleg HF) jelek valamint felszíni hő-infra tranziensek azonosításával és keletkezési mechanizmusuk tisztázásával lehet elérni. A kutatási célkitűzésben a szeizmikus eseményekkel kapcsolatba hozható e.m. jelenségek, azaz **zajszerű** e.m. jelenségek és kilövelések, **rendhagyó** alakú e.m. jelek, **anomalisztikus** whistler-jellegű jelek, **trimp**i jeleken lokális ionoszféra torzulások és műholdas távérzékeléssel kereshető, felszíni, **hő-infra tranziensek** keresése és keletkezésük, kialakulásuk megértése volt a feladat. Az elvégzett munka és eredményei három csoportba rendezhetők, s túlmutatnak az eredeti célkitűzéseken. A kitűzött cél elérése érdekében a négy éves kutatás során a következőket végeztük el:

1) *Új kép az ULF-VLF jelcsaládról a Föld (és más bolygók) körül:*

A vizsgálandó jelenségek a hő-infra tranziensek kivételével alapvetően az ULF-VLF tartományba eső e.m. jelek. E vizsgálatok egyik kiindulása egy különleges agram (India) VLF regisztrátum elemzése volt, amelyen az igen összetett whistler jelcsoportot egy sajátos alakú precursor jelcsoport előzi meg. Az elemzéshez, amelynél mind a pontos UWB jelreflexió, mind a pontos vezetett UWB jelek leírását alkalmazni kellett, az F037603 OTKA keretében kifejlesztett elméleti modelleket (UWB jelek reflexiója inhomogén közegekben, UWB jelek terjedése egyszerű közeggel illetve előmágnesezett plazmával kitöltött hullámvezetőkben) használtuk fel a mérések első interpretációjában, sikerrel. (E modelleket a műholdas mérések eredményei értelmezésénél is felhasználtuk, felhasználjuk.) A kiterjedtebb vizsgálatokhoz – kiderült – időben folyamatos jelregisztrálásra, a jelek automatikus felismerésére és értékelésére van szükség. Nem elegendő sem a szűrőpróbaszerű illetve periódikus, nem folytonos mérés, sem az eseti jelfeldolgozás és értelmezés.

Azt már a korábbiakból tudtuk, hogy pusztán földi mérésekkel a feladat nem oldható meg. Ezért – lásd a pályázatban leírt feladatokat – feltétlenül műholdas (illetve űrszondás) mérésekre van szükség. A kifejlesztett e.m. hullámelemző műszer (a SAS család) alkalmas a műholdas és űrszondás mérések elvégzésére, a startjuk azonban e pályázat ciklusidejéből kicsúszott. A SAS2 alapváltozata a Kompas és Vulkan orosz-magyar műholdak alapműszere lett. A 2001. decemberi start után azonban a Kompas-1 műholdat nem sikerült bekapcsolni. A Kompas-2 startját többször elhalasztották, legutóbb 2005. közepén azért, mert az ugyanolyan típusú hordozórakéta az első napvitorlás startja során hibásan működött, s a kivizsgálás lezártáig újabb startot nem engedélyeztek. (A startengedély már újra él, s a tervezett startidő most 2006. májusa.) A SAS3 az ISS fedélzetén az Obsztanovka-1 kísérlet részeként működik majd, a startot 2007-re tervezik. Azonban szerencsésen startolt 2004 nyarán a francia Demeter műhold, amelynek adatértékelésébe csoportunkat a műhold kalibrálása után a CNES meghívta, s így abban 2005 eleje óta részt veszünk.

A Demeter adatok értékelésének fő célja értelemszerűen a rendhagyó jelek keresése. Ennek váratlan és nagyon fontos eredménye volt az eddigi (2005. évi) vizsgálatok során *öt új, eddig fel nem ismert jelenség azonosítása*, amelyeket egyrészt vizsgálunk, másrészt publikálásukat megkezdtük. Ezek rendre: az ún. "tüskés" whistler (interpretációját lásd később), az ún. "fecskefarkú" whistler, az ún. "X"-típusú whistler (interpretációs lehetőségét lásd később), a ferde terjedésű whistler-

csoport (interpretációját lásd később és PhD része az F037603 keretében), valamint a földfelszín mentén kialakult, vezetett e.m. móduscsoport anomalisztikus terjedési jelenségei és a móduson belüli sajátosan terjedő jelcsoport azonosítása. – Az első szisztematikus e.m. felmérést végző műhold, a Demeter adataiban az igen sok, eddig fel nem ismert jelenség azonosítása annak bizonyítéka, hogy a Föld és a többi bolygó e.m. környezetét – az eddigi feltételezésekkel ellentétben – még nem ismerjük a kellő mélységben, e mérések és a kapcsolódó e.m. hullámterjedési vizsgálatok végzése kiemelkedően fontos, s mind a fizikai-hullámterjedési, mind a geofizikai-planetológiai ismereteink távol állnak a teljességtől.

A fenti eredmények egyik következményeként sikerült bekapcsolódnunk az ESA-JAXA BepiColombo MMO PWI kísérletbe a Merkúr vizsgálatára, vezető javaslattevőként veszünk részt a Venus Entry Probe lehetséges ESA misszió előkészítő munkáiban, valamint az ISS-re tehetünk önálló javaslatokat a SURE ESA felhívás keretében.

A sok, ma még rendhagyónak (anomalisztikusnak) minősülő jelenség következtében különösen fontossá váltak a Maxwell-egyenletek egzakt megoldásai, amely modelleket részben az F037603, részben a jelen T037611 pályázatok keretében fejlesztettünk ki érdemi vezető pozíciót érve el e téren nemzetközi vonatkozásban. A kifejlesztett modellek fő csoportjai: a tetszőleges alakú (ultra széles sávú, UWB) jelek terjedése tetszőleges közegekben és disztribúciók jelenlétében; egzakt és alapvetően új megoldás az inhomogén közegekben terjedésre monochromatikus és UWB jelek esetén; terjedés tetszőlegesen inhomogén távvezetéseken; UWB jelek terjedése egyszerű és nagy bonyolultságú közegekkel kitöltött tápvonalakon. A munka eredményeként teljesen új fizikai kép és leírási eljárás – az MIBM általános alkalmazása – alakult ki a hullámterjedési feladatok megoldására. Miután mind a földi magnetoszférában, mind és különösen a Vénusz légkörében a mozgó, inhomogén közegekben terjedés jelenségei kiemelkedően fontosak, amiknek számítására azonban eddig az ún. relativisztikus sugárkövetési korlátozott közelítő eljárásokon túl egyáltalán nem volt mód, megkezdtuk az MIBM alkalmazását a speciális relativitási elvvel együtt, sikerrel. Jelenleg az új módszer alkalmazási példáinak vizsgálatát kezdtük meg, valamint az általános relativitási elvre általánosítás lehetőségét keressük.

2) *Trimpi, whistler és távérzékelte adatok feldolgozási eljárásai:*

A kutatási időszakban igazolódott, hogy a cél eléréséhez elengedhetetlenül szükséges az ULF-VLF tartomány időben folytonos monitorozása. E nélkül a keresett jelenségek megismerése és nyomonkövetése lehetetlen. A szükséges eljárások a kutatási időszak kezdetén sehol a világon nem álltak rendelkezésre, ezért megkezdtuk kifejlesztésüket a célkitűzések szerinti megosztásban mind az F037603, mind a T037611 kutatás keretében.

AWDA, automatikus whistlerdetektor rendszer: A T037611 keretében (s a már korábban lezárt T034831-gyel is együttműködve) kezdetben megoldottuk az automata whistler detekciót – illetve műholdas, űrszondás vizsgálatokhoz az automatikus esemény (event) detekciót –, s megkezdtuk az alkalmazását, sikerrel. A munkát az automatikus whistler-értékelő rendszer kifejlesztésével folytattuk. Az így kialakított teljes rendszer (AWDA) sikeresen fut, igen nagy mennyiségű, sok százezer whistlert regisztrált, s megkezdődött ezek automatikus értékelése is. Az eddigi eredmények egyrészt megnyitották az utat a folyamatos ULF-VLF monitorozáshoz, másrészt az eddig kapott adatok is átformálják a légkörfizikai és hullámterjedési képünket, beleértve új magnetoszféra modell közeli megszületését is. Jelenleg a hazai

(kárpátmedencei) mérőhelyeken kívül e rendszer fut Új-Zélandon, a geofizikai szempontból kiemelten fontos Antarktiszon, a Kárpát-medence mágneses konjugált területén Dél-Afrikában és Krétán, s várható a rendszer telepítése Kamcsatkán (különösen földrengéses terület), a Kaukázusban és Indiában. Az eljárásnak jelenleg nincs riválisa. – Az űrbeli (műholdas és űrszondás) kísérletekben a jelenség-detektort telepítettük a startra váró Kompas-2 műhold SAS2 műszerébe, továbbá minden következő űrkísérletünkbe, a Vulkán-műholdakra, az ISS Obszhanovka misszióiba, a BepiColombo MMO Merkúr-szondára, s szerves részét alkotja a további űrkísérletekre vonatkozó javaslatainknak is. A teljesen francia (CNES) építésű Demeter műhold fedélzeti rendszerében természetesen nincs esemény illetve whistler detektor, de a földre leküldött adatai teljes feldolgozása során 2006-ban már tudjuk alkalmazni ezt a rendszert.

A keskenysávú VLF jelek folyamatos mérését és teljes feldolgozását is csak automata trimp detektorral lehet megoldani, amelyet az F037603 kutatás keretében fejlesztettek ki sikeresen, s az alkalmazását megkezdték, és egyben ez egy 2005 végén beadott PhD értekezés fontos része.

A harmadik fontos terület a műholdas távérzékelte adatok folyamatos feldolgozása vizsgálatra kijelölt területekről. A már mind az L, mind az X sávban szolgálatukban működő ELTE rádiós műholdmegfigyelő állomás – amelynek létrehozásában mind a T037611, mind az F037603 kutatás külön engedéllyel kisebb részt vállalt – egyrészt mintegy 30%-kal megnöveli a Kompas-2 és majd ezt követő, SAS-sal felszerelt műholdak űr-föld adatátviteli kapacitását, vételi idejét, míg másrészt a NOAA HRPT, FengYun CHRPT és Terra és Aqua MODIS adatok folyamatos vételével az Atlanti óceán – Közép-Kelet – Északi Sarkkör – Szahara közepe terület vizsgálatát biztosítja, benne az EU teljes területével. E teljes vételi területre esik a mindig nyugodt szeizmikus referencia, azaz a Nagy Orosz Síkság, továbbá a szeizmikusan aktív Kaukázus, a Közel-Kelet és Görögország, valamint az AlpeseKárpátok határterület. Ez egybeesik a terület ULF-VLF vizsgálatokra kiválasztott részeivel mind a Demeter, mind a SAS2 mérések esetében. A felszíni hő-infra tranziensek keresése kutatási részirány esetében is az derült ki, hogy a klasszikus távérzékelési adatfeldolgozási eljárások a teljesértékű, folyamatos monitorozást nem teszik lehetővé. Ezért a kutatást két irányban folytattuk: a hagyományos adatfeldolgozási eljárások fejlesztésével eseti hő-infra tranzienseket kerestünk illetve vizsgáltunk meg; illetve teljesen automatikus eljárások kifejlesztését kezdtük meg. Ennek részeként az F037603 keretében sikerült megoldani alapszinten a műholdas távérzékelte adatok automatikus georeferálását, ennek mind történelmi térképekre, mind archív műholdas adatokra, mind aktuális műholdas adatokra alkalmazását. A T037611 keretében az automatikus esemény-keresés, esemény-azonosítás megoldását tűztük ki célul, amely munka az első eredmények birtokában jelenleg is intenzíven folyik. Ugyanakkor eseti felszíni hő-infra tranzienseket azonosítottunk és elemeztünk, beleértve az egyértelmű azonosítás feltételeinek vizsgálatát. Egyidejűleg tökéletesítettük a felszínvizsgálati eljárásokat, s ennek egyik részéből a beszámolási időszakban sikeres PhD védés is történt.

3) *Műholdas (Demeter) ULF-VLF adatok értékelési eredményei:*

Az alapfeladat rendhagyó jellegű, esetleg eddig ismeretlen e.m. jelenségek azonosítása, s ha lehet, a keletkezési mechanizmusuk tisztázása volt. Az 1) pontban felsorolt új jelenségek közül négy esetben sikerült a jelenség azonosításán túlmenően a keletkezési mechanizmust is bizonyítani vagy valószínűsíteni, míg a többi esetben

folytatjuk az ezirányú vizsgálatokat. Ezen eredmények következtében azonban mindenképpen érdemben módosul a plazmaszférikus-ionoszférikus illetve földfelszín-műhold közötti természetes jelterjedésről alkotott képünk, s ez érinti mind a jelforrásokra, mind a terjedési út mentén fellépő hatásokra vonatkozó elképzeléseinket. A keletkezési mechanizmust az alábbi négy esetben tudtuk vagy teljesen tisztázni, vagy valószínűsíteni:

- A "tüskés" whistler (SpW): Ez esetben a jel fő vonulata az FFT képen egy szabályos, a troposzférából közvetlenül a műholdig terjedő whistler, amelyről frekvenciában egyenletes, szabályos osztásban jelszakaszok – "tüskék" – válnak le. Alkalmazva az F037603 elméleti modelljeit a következő keletkezési mechanizmust azonosítottuk. Egy keltő, felhő-földfelszín villám jele a Föld-ionoszféra hullámvezetőben terjed sok száz – ezer km-en át, majd – jelenleg még vizsgált módon – kilép e hullámvezetőből a kialakult vezetett UWB módusok együttese és terjed az ionoszférán át a magnetoszférába, így a műholdig is. Mivel az SpW-k aránya a régről ismert, klasszikus és az F037603 modelljei szerint felhő-felhő villámból keletkező jelekhez képest kicsi, a whistlerok zöme – a régi elképzelésekkel ellentétben (!) – nem felhő-föld, hanem felhő-felhő villámból keletkezik. Ugyanezt az eredményt kaptuk az AWDA-val végzett kárpátmedencei folyamatos whistler monitorozás és a forrást jelentő mágnesesen konjugált délafrikai területek villámadatai együttes értékelésével.

- Sajátos whistler jelcsoport: Úgy találtuk, hogy érdemben eltérő diszperziójú, de biztosan a troposzférából közvetlenül a műholdig terjedő whistler jelek szisztematikusan együtt fordulnak elő, ismétlődő, sajátos jelcsoportot alkotva. A korábbi és az F037603-ból rendelkezésre álló, a mágneses tér irányához képest ferde jelterjedést leíró modell sikeres alkalmazásával az F037603 keretében egy új modellel igazolták, hogy e jelcsoport minden eleme – a korábbi elképzelésektől gyökeresen eltérően (!) – ferde és nem longitudinális terjedés eredményeként jön létre. Ugyanilyen jelcsoportokat archív (Interkozmosz műholdas) adatokon is sikerült visszamenőleg azonosítani. A kicsatolási mechanizmust intenzíven kutatjuk. – Ugyanakkor a T037611-ben a Demeteren mért, szintén az ionoszférán át a műholdhoz érkező SpW-eket találtunk, amelyeken – eddig ismeretlen okból – nem minden vezetett UWB módus jut el a műholdhoz, viszont adott esetben van olyan magasabbrendű UWB módus, amelynél szintén szisztematikusan a fentebb az alapjelre leírt jelcsoport jellegű kísérőjel megjelenik, míg a többi magasabbrendű UWB módus esetében szisztematikusan nem jelenik meg. Eközben az alapjel fentebb leírt úgymond csoporttársai is megjelennek. E jelenség több alapvető terjedés-leírási kérdést vet fel, amelyek vizsgálatát éppen csak elkezdtük.

- Az ún. X-jelenség: A már említett ún. agrai regisztrátum whistlerei egy részén még e kutatás kezdeti szakaszában a finomszerkezet vizsgálat (illesztett szűrés) segítségével egyértelműen kimutattuk, hogy e jelek szisztematikusan két, egymást átmetsző illetve egymásból egy metszési ponton szétágazó jelerészből állnak. Kezdetől fogva nagy problémát jelentett, hogy e két jelerész egyikének alakja megfeleltethető egy klasszikus whistlernek, míg a másik, az FFT képen az előzőt átmetsző vagy abból leágazónak tűnő rész egyáltalán nem. Semmiféle whistler görbe, sem a Bernard-féle közelítő alak, sem az általunk levezetett, valamelyik, szintén szabadtéri terjedést feltételező pontos UWB alak nem volt ráilleszthető e jelerészre. A Demeter kísérlet egyik fontos eredménye, hogy a földi mérésekből az Agrában egyszer regisztrált példát kivéve teljesen ismeretlen jelforma ismételtén feltűnik a Demeter műhold adataiban. A probléma megoldásához az vezetett el, hogy szerencsésen az F037603 keretében a vizsgálatainkkal egyidejűleg megoldották az UWB jelek terjedésének

leírását előmágnesezett plazmával töltött hullámvezetőkben, csőtápvonalakban. Ugyanis az ilyen hullámvezetők egyik típusában, a két vezető felület között terjedő jeleknél kialakuló vezetett UWB jelek egyes módusainak FFT képe éppen a leírt jellegzetességet mutatja, s az is nyilvánvalóvá vált e modell segítségével, hogy az egyik, az alaplómódus valóban whistler-szerű képet mutat, míg a további módusok, így a mért példákban kialakult másik módus semmiféle klasszikus whistler jelleget nem mutat, nem is mutathat. Ezzel először sikerült azonosítani a felsőlégköri előmágnesezett plazmában kialakult vezetett hullám-módust, amely azonban a modell szerint az ionoszférát a földfelszín felől a műhold felé átharántoló inhomogenitások, azaz vezető felületek között kellett kialakuljon. Vagyis nem horizontális, hanem vertikális jellegű ionoszférikus inhomogenitások, struktúrák indikációját találtuk meg a Demeter adatokban. Mivel a whistlerek általában nem ilyen alakúak, komoly kérdés merül fel azzal a régi és ma általánosan elfogadott nézettel szemben, miszerint a whistlerek általában vezetett módon terjedt jelek lennének, hisz a mért alakjukat a szabadtéri terjedési modellek adják vissza, míg a vezetett kép másmilyen, s mint látjuk, ritkábban ugyan, de feltűnik. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy ugyanakkor az agraí, igen kis szélességen mért regisztrátum whistlerei sokkal nagyobb diszperziójúak, aminek oka szintén az ionoszféra inhomogén struktúrájában kereshető, mert más állomások nagyobb szélességeken ilyen jelalakot az elmúlt évtizedek alatt nem azonosítottak; mi sem a hazai állomásokon, eddig legalábbis nem. A jelenséget feltétlenül tovább kell vizsgálni.

- *Zajszerű jelek, kilövelések*: Elemzésük azért fontos, mert a szeizmikus jelforrások, azaz a táblamozgások miatt fellépő deformációk legnagyobb valószínűséggel zajszerű e.m. jeleket, kilöveléseket eredményezhetnek mai elképzeléseink szerint. A Demetert felbocsájtó és ezért adatfeldolgozási elsőbbséggel is rendelkező francia kollégák (M. Parrot és csoportja) találtak olyan speciális, zajszerű, VLF e.m. kilövelés típust, amelyiknél nem zárható ki a szeizmikus kapcsolat. E kapcsolat megléte, egyértelműsége és szisztematikussága még igazolandó, s ehhez további kiterjedt vizsgálatok szükségesek. E jelek keresésébe bekapcsolódtunk, s hasonló vizsgálatot tervezünk a Kompas-2 SAS2 műszerével is sikeres start és üzembeállítás esetén. Verifikált eredmény azonban csak később várható.

4) Összegzés:

Az eredeti célkitűzés helyesnek bizonyult. A tényleges kutatási lépések sorát a beszámolóból láthatóan a kutatás maga érdemben befolyásolta, de az eredeti feladat-tervtől nem térítette el. Kényszerű és kezdetben nagy nehézséget jelentő módosulást okozott a Kompas-2 és a Vulkán műholdak startjának nagymértékű késlekedése. Ezt azonban szerencsésen és a kutatás szempontjából teljesértékűen kompenzálta a Demeter műhold sikeres startja és az eredeti adatbázishoz a hozzáférésünk biztosítása.

Az elért eredmények érdemben módosították illetve módosítják a Földről, a Föld magaslégköréről alkotott képünket, továbbá alapvetően új módszertani és alkalmazási eredményeket hoztak az e.m. hullámterjedés (és általában a hullámterjedési elmélet) területén a fizikai képünk átalakulását is beleértve. Mindez beleillik az ESA "Plasma Universe" kutatási főirányába, lehetővé tette a bekapcsolódásunkat az ESA-JAXA BepiColombo Merkúr-misszió megvalósításába illetve más ESA missziók előkészítésébe mind a Naprendszer vizsgálata, mind a Föld és más bolygók összehasonlító kutatása terén.