

A „Tetszőleges alakú, üresközzel és földi állomáson mérhető elektromágneses jelek terjedésének és gerjesztésének vizsgálata” c. kutatási témában a 2002-2005 teljes pályázati időtartam alatt elért eredmények összefoglalása:

A tetszőleges, valóban nem monokromatikus gerjesztések (**ultra wide band**, azaz UWB, impulzusok) által létrehozott elektromágneses jelek terjedésének az eddigi (monokromatikus elméleti alapokra épített) modelleket kiváltó leírása elengedhetetlen számos mért, anomalisztikus e.m. jelenség magyarázatához és így nagy jelentősége van mind a földfelszíni szeizmikus aktivitás és VLF-jelenségek (zajszerű jelek; anomalisztikus, whistler-jellegű események stb.) esetleges kapcsolatának feltárásában, mind a Föld és magaslégkör (valamint más bolygók) elektromágneses viszonyainak jobb megismerésében, jelenségeinek interpretációjában. A pályázat keretein belül egyrészt alapvetően új elméleti modelleket fejlesztettünk ki, másrészt a kifejlesztett modellek alkalmazásával nyert eredmények és a mérési adatbázis összehasonlításával alapvetően módosult a Föld környezetében, magaslégkörében tapasztalt fizikai jelenségekről kialakult hullámterjedési kép, számos ponton áttörést eredményezve e jelenségek leírásában.

A kutatás eredményei:

1. Sikerült megoldani a tetszőleges alakú (impulzus, UWB) gerjesztés által létrehozott e.m. jel terjedésének pontos leírását tetszőlegesen erős inhomogenitást tartalmazó közegben (pl. előmágnesezett, anizotróp plazmában). A kapott zárt alakú megoldás bizonyítottan elkerüli a korábbi elméleti modellek rejtett ellentmondásait (pl. Stokes-egyenlet, Airy-függvényekkel történő leírás), a kialakuló terjedő jel fizikai koncepciójában tér el a korábbi interpretációktól. Sikeresen demonstráltuk, hogy alapvetően hibás az összes eddig ismert és használt inhomogén terjedési koncepció, amennyiben a terjedő jel szerkezetét és kialakulását eleve hibás módon feltételezi, és így ellentmondásra vezet a korrekt levezetés során, az u.n. W.K.B.közelítést kivéve. Ezzel egyidejűleg igazoltuk, hogy az új modell (amely kimondja, hogy az inhomogenitás jelenléte miatt kizárólag a terjedő és reflektált jelrészek egyidejű eredő összege adhatja a Maxwell-egyenletek megoldását, különválasztani őket semmilyen módon nem lehet) fizikai koncepciója a kizárólagosan helyes, konzisztens és ellentmondásoktól mentes megközelítés, és a kapott megoldás első (0.) közelítésben visszavezet a korábbi, u.n. nem csatolt W.K.B megoldásra, ám azon messze túlmutat. Ez a hullámterjedésben áttörést jelentő új eredmény, amely általánosan felhasználható a tématerületől eltérő, más hullámterjedési reflexiós feladatok megoldásában is.

Sikeresen megoldottuk továbbá a vákuummal, valamint előmágnesezett homogén, hideg plazmával kitöltött, négyzög keresztmetszetű hullámvezetőben terjedő, tetszőleges alakú tranzienst jellel gerjesztett UWB jelek leírását. A modell rugalmassága miatt alkalmas a műholdas és földi mérésekhez történő illesztésre (a paraméterek tág határok között változtathatóak).

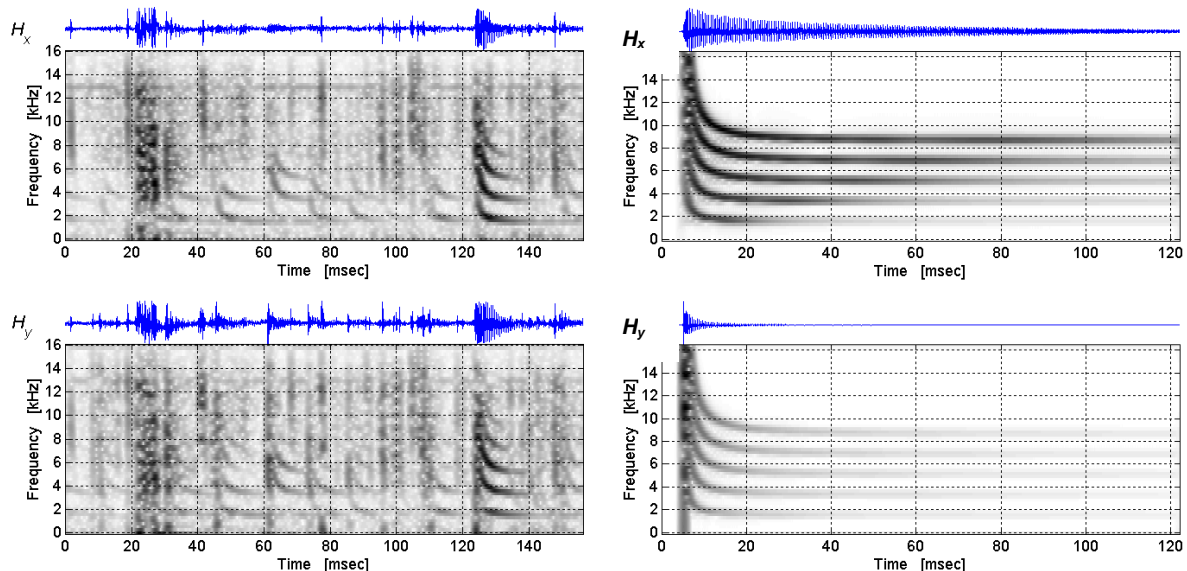
A kifejlesztett elméleti modellekkel – a T037611 OTKA pályázattal szoros együttműködésben – számos műholdas adatsoron talált anomalisztikus jelenség azonosítását és interpretálását végeztük el.

Itt kell kitérnünk a pályázat előzetes munkatervéhez képest a 4 év alatt – rajtunk kívülálló okokból és az űrkutatásban jól ismert, szokványosnak mondható módon – bekövetkezett változásokra. A Kompas és Vulkan (korábban Precursor, mely a Vulkan sorozat első tagjává vált) programban sajnálatos csúszás állt be. Mivel a Kompas-1 műhoddal a pályára állás után megszakadt a kapcsolat, a Kompas-2 startelőkészítése megkezdődött, ám a hordozórakéta hibáinak kivizsgálása még jelenleg is tart, így a start várható időpontjaként jelenleg 2006. májusa ismert. Fontos eredmény azonban, hogy a SAS2 a teljes sorozat alapműszerévé vált. Az ELTE-csoportunk által installált és üzemeltetett földi műhold-vevő állomása az adatok vételére (AVHRR, FengYun, Modis, SAS) felkészült és jelenleg is stabilan üzemel.

Szerencsére az így kialakult sajnálatos csúszás ellenére a földi és műholdas adatok feldolgozása és az elméleti modellek eredményeivel történő összevetése mégis jól, sőt gyorsuló ütemben folyik, mivel a CNES felkérésére meghívott kutatóhelyként 2005 óta részt veszünk a Demeter műhold adatainak feldolgozásában. (E mindössze 130 kg-os mikroműhold kísérletének kiemelt célja a földi plazma-környezet alsó régiója, az ionoszféra zavarainak globális monitorozása, kiemelten is a szeizmikus és vulkáni aktivitáshoz köthető jelek detektálása.)

E munka során számos, eddig ismeretlen, anomalisztikus jelenséget azonosítottunk a kutatási téma keretein belül elért elméleti eredményekre támaszkodva. Részben ehhez, részben a később részletezendő űridőjárás vizsgálatokhoz és a T037611 OTKA kutatáshoz kapcsolódóan 2005 végén Ph.D. értekezés született a témában (Steinbach Péter).

A vákuummal kitöltött csőtápvonalban kialakuló vezetett jel terjedési modelljét sikerrel alkalmaztuk a Föld-ionoszféra hullámvezetőben a villámok által gerjesztett szferixek egy részénél regisztrált móduskép (az u.n. tweek-ek) leírására (1. ábra).

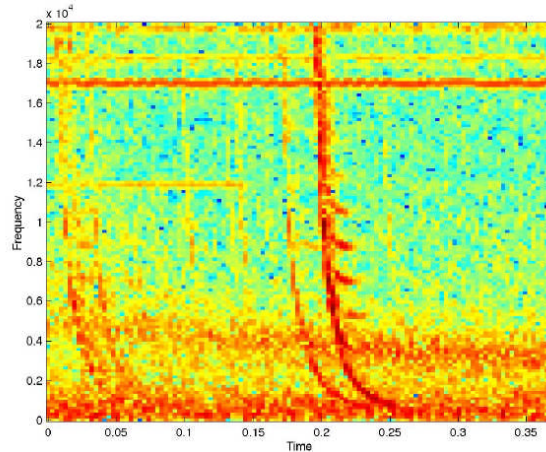


1. ábra

Modellünket alkalmazva pontosan reprodukálni tudjuk a hullámképet, az átjárt hullámvezetőben a D-réteg magasságát, a megtett távolságot, és a mért jel beesési irányáról is

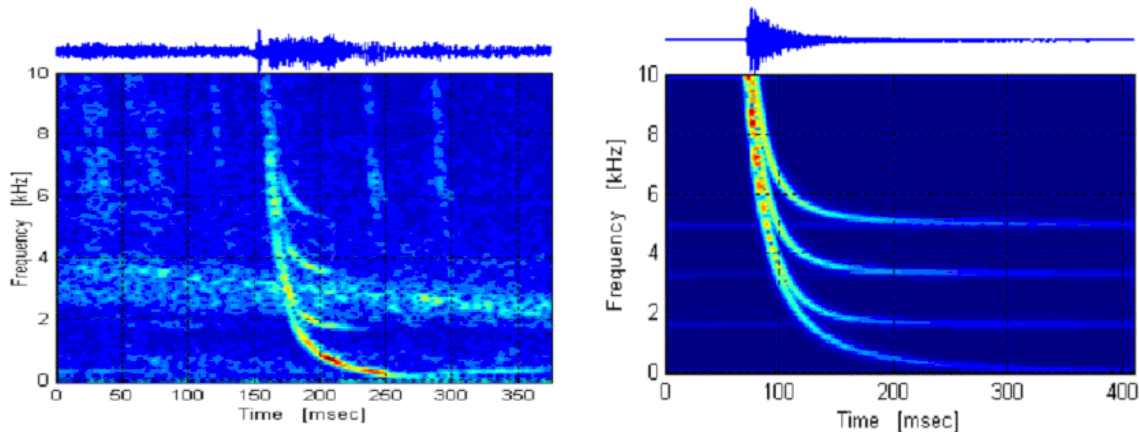
információt kapunk. Tekintettel a modell rugalmasságára, a gerjesztő jelalak változtatásával a regisztrátumot gerjesztő jelre is nyerhető információ.

Ugyancsak a vezetett terjedés modelljének alkalmazásával sikerült leírni egy, számos Demeter-regisztrátumon talált töredék-whistler típust, az u.n. „szálkás” whistlert („spiky whistler”, SpW) (2. ábra).



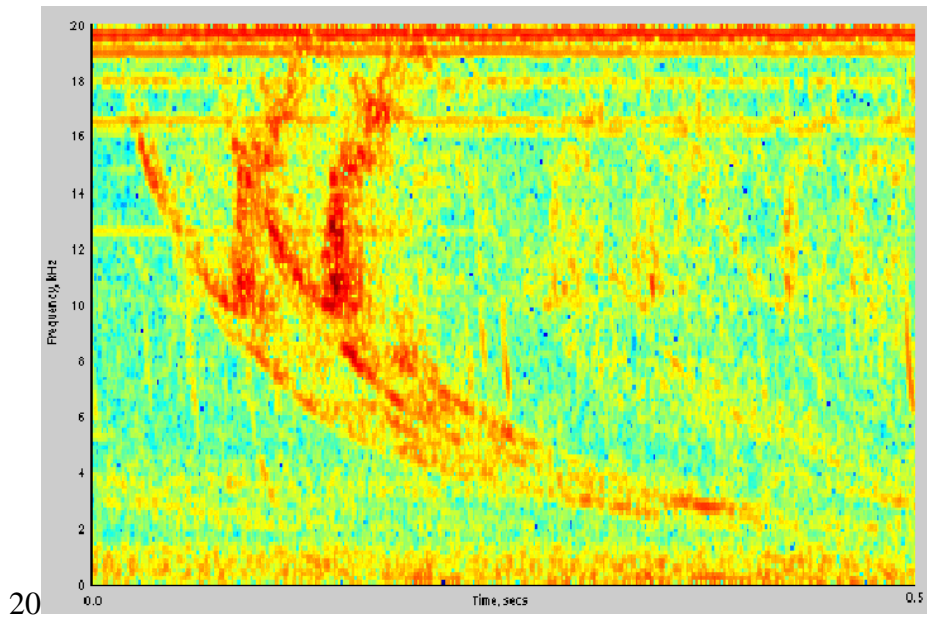
2. ábra

Sikerült bizonyítanunk, hogy ezen whistler-típus gerjesztő jele a fentebb említett tweek, mely u.n. CG (cloud to ground) villám által gerjesztve érdemi távolságot tett meg a Föld-ionoszféra hullámvezetőben, mint vezetett jel (3. ábra).

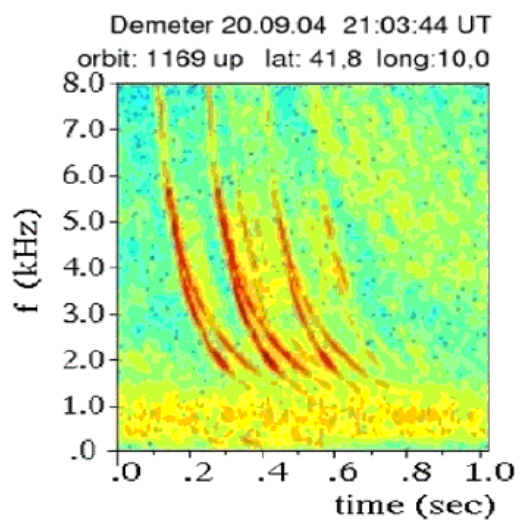


3. ábra

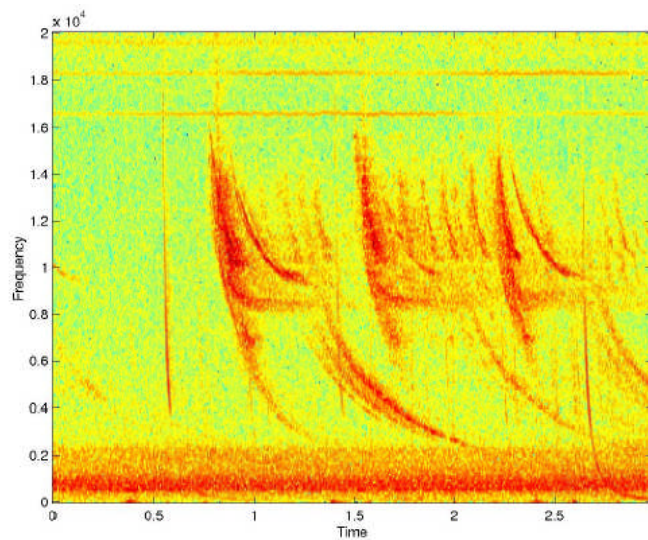
További váratlan felfedezést jelentett a Demeter adatok feldolgozása során az u.n. „fecskefarkú” (STW) (4. ábra), az „X”-típusú (5. ábra), a ferde terjedést mutató whistler-csoportok (7. ábra), valamint a vezetett és ferde terjedés jeleit egyidejűleg tartalmazó jelcsoportok (6. ábra) azonosítása.



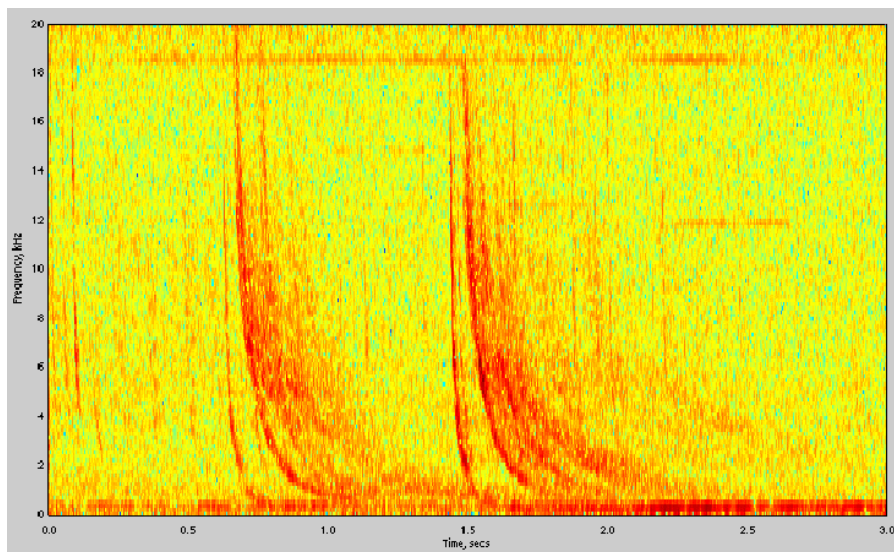
4. ábra



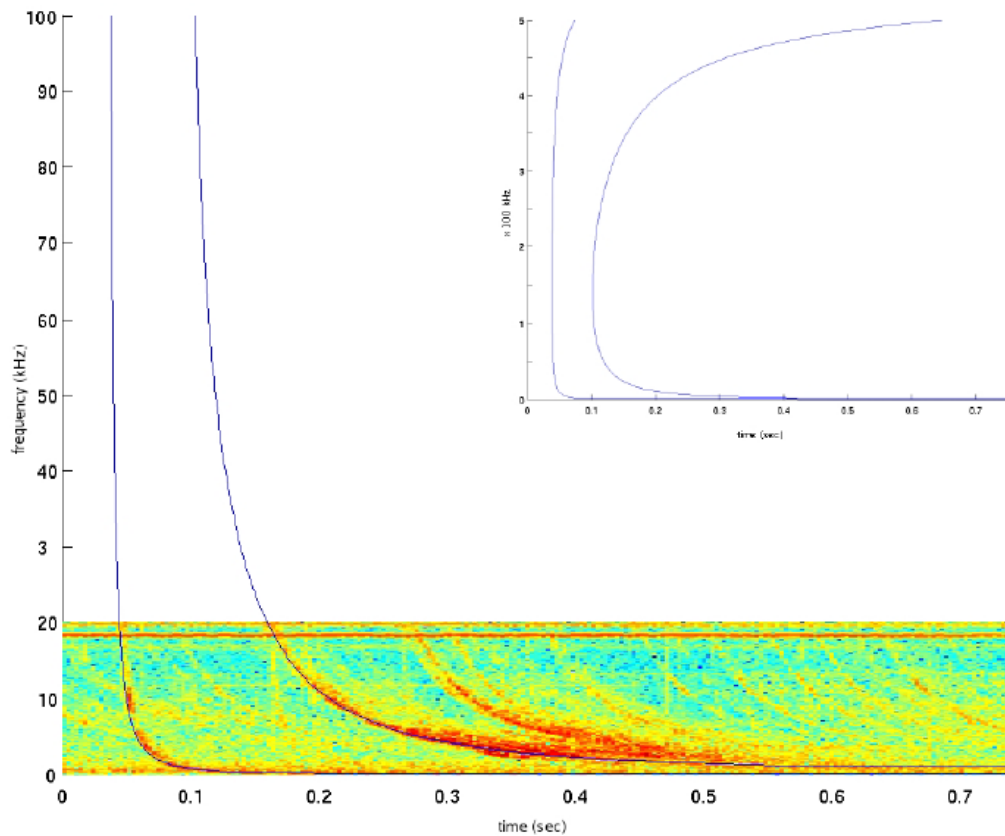
5. ábra



6. ábra

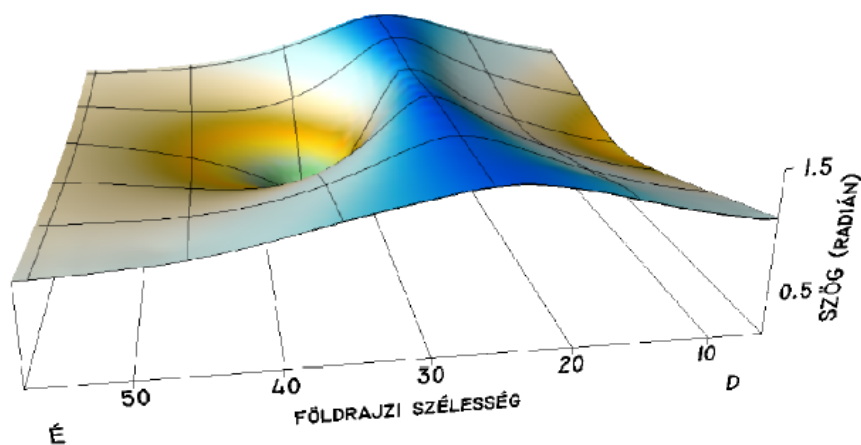


7. ábra



8. ábra

Ezeket az anomalisztikus jeleket csoportunk azonosította a világon elsőként és eddig egyedül, és a kutatás során (részben az F 037603, részben pedig a T037611 OTKA téma keretében) több száz regisztrátum azonosítását, klasszifikálását és részletes analizálását végeztük el. A ferde terjedést mutató jelcsoportok vizsgálata a whistlerek kilépésének és terjedésének egészen új mechanizmusát tárta fel (8. és 9. ábra). Ezek az együttesen, párban feltűnő, de eltérő diszperziójú jelek relatíve nagy számban fordulnak elő a Demeter-adatsorokban. Sikerült igazolnunk a jelek közös eredetét a gerjesztés azonosságának bizonyításával. Továbbá, az általunk kidolgozott, UWB-gerjesztésű jelek előmágnesezett plazmában, az erővonalától eltérő irányú, ferde terjedése egzaktul, zárt alakban, a Maxwell-egyenletekből közvetlenül levezetett megoldásának segítségével leírtuk e jelcsoportok keletkezési mechanizmusát is, meghatározva a whistlerek valószínűsíthető belépési pontjait (9. ábra). A kidolgozott eljárással tehát műholdas regisztrátumok alapján meghatározható a töredék-whistlereknél a műhold pozíciójához viszonyítva az ionoszférába történő belépés helye, jól illeszkedve a megfigyelésekhez, azonban eltérve a korábbi elméleti elképzelésektől. További eredmény, hogy ilyen jelcsoportokat sikerült azonosítani archív Interkozmosz adatokon is.



9. ábra

2. Az ULF-VLF jelenségek és a szeizmikus aktivitás esetleges kapcsolatának feltárására irányuló kutatásunkban sarkalatos jelentőségű a Demeter-programba történt bekapcsolódásunk, tekintettel arra, hogy ez a kísérlet kifejezetten a vulkáni és szeizmikus eredetű jelek feltárását tűzte ki célul. A munka során világossá vált, hogy – mivel a világon eddig sehol nem áll rendelkezésre – nagyon lényeges az ULF-VLF frekvenciatartományban a nagytömegű adatbázis és a minél folyamatosabb adatsorok létrehozása, így a földi és műholdas folyamatos monitorozás megoldása annak érdekében, hogy az azonosítani kívánt jelenségek nagy pontossággal felismerhetőek és a későbbiekben elméleti úton leírhatóak legyenek.

A földfelszíni, keskenysávú VLF-perturbációk figyelését az F037603 OTKA keretei között kifejlesztett automata trimpi-detektor teszi lehetővé. Magyarországi mérőhálózaton sikerrel alkalmazzuk (Tihany, Érd, Penc, Budapest).

E hiánypótló eljárás és rendszer lehetővé teszi a vizsgálatba bevonható földi események számának nagymértékű megnövelését, ami kiemelten fontos.

Műholdas mérési adatbázisunk létrehozásához egyrészt fontos lépcsőfokot jelent az általunk létrehozott, és mind az L-, mind az X-sávban stabilan üzemelő ELTE műholdmegfigyelő állomás (erre a célra az F037603 és a T037611 OTKA terhére külön engedéllyel átcsoportosítás is történt), melynek vételi területe az Atlanti óceán – Közép Kelet – Északi Sarkkör – Közép Szahara területére esik, magában foglalva mind szeizmikailag aktív, mind nyugodt (referencia) területeket is. Ez a vételi tartomány a Demeter- és a Kompass-Vulkan program mérései esetén egyaránt a kiválasztott megfigyelési térségbe esik. A vevő felkészült a SAS-műszer-család adatainak fogadására. Együttműködve a T037611 OTKA kutatással, bekapcsolódtunk a hőinfra-tranziensek vizsgálatába is. Mivel itt a klasszikus távérzékelési adatfeldolgozási módszerek csak eseti vizsgálatokat tesznek egyelőre lehetővé, szükséges egy teljesen automatikus eljárás kifejlesztése. Ennek első lépéseként az F037603 OTKA keretében alapszinten sikerült megoldani a műholdas távérzékelte adatok georeferálását (sikerrel alkalmazva mind aktuális, mind archív műholdas adatbázisra, továbbá történelmi térképekre is).

Nemzetközi együttműködéseink nagy mértékben alapoznak a nagyméretű adatbázis létrehozására. A korábban már említett Kompass-2-Vulkan program műhold-flottájának mind

a 17 repülőpéldányán fedélzeti műszer a SAS2. Továbbá, e program keretében az orosz fél kamcsatkai földi bázisán mért szeizmo-elektromos VLF mérési eredményeket adott át. Ezekkel, mint bemenő jelekkel az elméleti kutatást megkezdjük.

Műholdas adatokat kapunk a Demeter-program keretében a francia kutatóktól (M. Parrot csoportja), akik bizonyos speciális, zajszerű VLF-kilöveléseket vélnék a regisztrátumokon. E megfigyelések vizsgálatába és esetleges megerősítésébe is bekapcsolódtunk 2005-től (I. Demeter Guest Investigators Workshop, CNES, Paris, France, 2-4 May, 2005). Tekintettel az adatok frissességére, elméleti modelljeink adaptálását még csak megkezdjük.

3. Az interplanetáris környezet VLF- és plazma-vizsgálatai és az űridőjárási kutatások keretében fontos, nagy, nemzetközi együttműködésekben veszünk részt. A Demeter-kísérlet, mint az első rendszerezetten és specifikusan a Föld elektromágneses környezetét monitorozó mérés, sok új és váratlan regisztrátuma kapcsán vált nyilvánvalóvá, hogy a Föld és más bolygók elektromágneses viselkedése még nem kellően feltárt terület, ahol a pontos hullámtani kép még nem ismert minden tekintetben, viszont megkerülhetetlen és nélkülözhetetlen az interplanetáris és űridőjárási alapkutatásokban.

A SAS3 műszer az ISS fedélzetén az Obsztanovka-1 kísérlet részeként várhatóan 2007-től szolgáltat adatokat a Föld és plazmaszférája, valamint az ISS nagy űrobjektum elektromágneses környezetéről, jelenségeiről.

Az általunk kifejlesztett nagy pontosságú elméleti modellek és sikeres alkalmazásaik számos mért jelenség leírásában, jelentős szerepet játszottak abban, hogy részt veszünk az ESA-JAXA BepiColombo MMO PWI Merkúrhoz induló missziójában (a start várható időpontja 2012), továbbá, hogy vezető javaslattevőként részt veszünk az ESA Venus Entry Probe előkészítésében (ez a lehetséges küldetés a Vénuszra irányul), valamint a SURE ESA programban önálló javaslattevőként adhatunk tudományos kutatási és mérési ajánlatokat az ISS-re.

Továbbá, tekintettel arra, hogy az alsó ionoszféra átmeneti, megnövekedett ionizációjú régiói a semleges légkör elektromos háztartásával és a földi plazmakörnyezet fizikai folyamataival szoros csatolást mutató jelenségek, így ezek monitorozása az űridőjárási kutatások szempontjából is fontos feladat. E régiók igazoltan jól vizsgálhatók a keskenysávú VLF-perturbációk, trimpik segítségével. Éppen ezért, a felsőlégkör ionizációs folyamatainak, ezen belül is a Nap-Föld energiarendszer több űridőjárási jelenségének vizsgálatához is nélkülözhetetlen mérőföldkövet jelent az F037603 OTKA kutatás keretében kifejlesztett automata trimp-detektor, amely megnyitotta az utat e monitorozás folyamatos végzése előtt.

4. Összegzés:

A kutatás eredményei alapján elmondható, hogy a kitűzött kutatási célok (az időközben felmerült váratlan események és keret-átcsoportosítások ellenére) a várakozásainkon túlmenően teljesültek. Az eredmények egyrészt elméleti hullámterjedési, másrészt gyakorlati alkalmazási szempontból is alapvetően újak, több ponton áttörést jelentősek. A kutatás néhány ponton módosult, mivel a Kompas-2 és Vulkan programban

számottevő csúszás állt elő. Ezt a problémát azonban teljes mértékben orvosolta az a fejlemény, hogy csoportunk részt vesz a Demeter-program adatainak feldolgozásában és értékelésében. Így vált lehetségessé, hogy elérjük, sőt néhány ponton túlhaladjuk az eredeti célkitűzéseket, és ez által bekapcsolódhassunk az ESA-JAXA BepiColombo és más ESA-küldetések mérési, elméleti modellfejlesztési és adatfeldolgozási feladataiba.