

INTERMAGNET: globális geomágneses rendszer¹

GEOMÁGNESES-AERONÓMIAI KÖZÖSSÉG²

GEOMAGNETIC-AERONOMIC GROUP: INTERMAGNET: a global geomagnetic network

A tanulmány első része a geomágneses tevékenység leírásának fejlődését ismerteti, utalva a mindenkori felhasználási lehetőségekre. Kitér az aeronómiai hálózatok szerepére is. A második rész az INTERMAGNET és más mai együttműködési szervezetek adatszolgáltatásával foglalkozik. A harmadik rész magyar kutatók (MTA GGKI és ELGI) olyan eredményeit ismerteti, amelyek geomágneses hálózati adatokon alapulnak.

1. A geomágneses hálózatok létrejötte, szerepe

A geomágnesség történetének kiemelkedő időszaka volt a 17. század eleje, sőt a tudományterület kezdetét is számlíthatjuk ettől az időtől: 1600-ban jelent meg GILBERT könyve, az első, a geomágnességgel foglalkozó könyv *A Föld mint mágnes* címmel. 1616-ban vette észre GELLIBRAND, hogy az egyik geomágneses elem, a deklináció, időben változik. Végül, de ezektől szinte függetlenül, GALILEI felfedezte a napfoltokat, amelyek később a rövidebb periódusú geomágneses változások egyik, sőt talán legfontosabb forrásának bizonyultak.

A 17. század második felében az érdeklődés lanyhult ezek iránt a jelenségek iránt. Egyrészt a harmincéves háború pusztításai általában is csökkentették a tudomány iránti érdeklődést, másrészt pedig ekkor következett be a Maunder-minimum, amikor vagy fél évszázadon át alig látszott napfolt. Ennek az időszaknak és az ugyanakkor bekövetkezett „kis jégkorszaknak” a kapcsolatát a mai napig is vizsgálják.

1719-ben rendkívül erős sarki fény jelent meg Európa nagy része felett, óriási riadalmat okozva. Nem tudjuk pontosan, mikor és hogyan vetődött fel a sarki fény és a geomágneses változások közötti kapcsolat lehetősége. Viszont az 1730-as években a svéd CELSIUS és angol kol-légája egyidejű geomágneses méréseket végzett Uppsala és Greenwich között — ez tekinthető az első geomágneses hálózatnak. Percenként olvasták le a mágnesű helyzetét, hiszen más regisztrálási lehetőség nem volt. Ennek tudható be, hogy Greenwichben a vihar sokkal nagyobbak látszott, mint Uppsalában, mert a déltájban adódott legnagyobb kitérés idején a svéd észlelő elment ebédelni. Ennek ellené-re ez a mérés mutatta meg, hogy nem elszigetelt, helyi jelenségről van szó. Emellett CELSIUS már a vihar és a sarki fény kapcsolatára is gondolt méréseik nyomán.

Érdemes megemlíteni a selmecbányai születésű HELL Miksát, aki Nagyszombat és Bécs között szervezett a jezsuita rendházakban egyidejű sarkifény-megfigyeléseket azok magasságának meghatározására. A kapott érték messze felülmúlta a légkör akkor feltételezett vastagságát. Később, észak-norvégiai csillagászati célú útja alatt sok sarki fényt figyelt meg, de sajnos, mágnesűje elromolhatott a viszony-

tagságos út alatt, mert nem talált kapcsolatot a mágneses viharokkal.

Az 1800 körüli években ismét nagy volt az érdeklődés a geomágnesség iránt. Alexander von HUMBOLDT dél-amerikai expedíciója során végzett ugyan mágneses összehasonlító méréseket, de csak a mágnesű lengésidejét mérte, így megfelelő módszer híján nem tudta meghatározni a mágnesű abszolút értékét. Ezért hazatérte után megkérte barátját, GAUSS-t, alkosson erre módszert. Az eredmény az eltérítési kísérlet, a Gauss-féle főhelyzetek lettek. GAUSS érdeklődése a geomágnesség iránt vezetett a gömbfüggvények alkalmazásához is.

HUMBOLDT előtt Dél-Amerikában, Brazíliában egy SZENTMÁRTONYI nevű magyar jezsuita misszionárius végzett elsőként geomágneses méréseket.

GAUSS tevékenységének köszönhető az első geomágneses szervezet, a *Göttinger Magnetischer Verein* 1834-es megalapítása is. Ebben fiatal munkatársa, tanítványa, WEBER volt segítségére. Világszerte sok mágneses obszervatórium kapcsolódott be a mérésekbe, természetesen még mindig a mágnesű helyzetének percnkénti leolvasása útján. A siker elsősorban annak volt köszönhető, hogy az angol birodalom és a cári Oroszország is csatlakozott. A budai csillagda is részt vett a megfigyelésekben. Egyetlen, máig is felül nem múlt esetre kell hivatkoznom: 1861-ben az indiai Alibag obszervatóriumában 1600 nT-s vihart észleltek, amelyhez mérhető azóta sem tapasztaltak. Ugyanebben az időben észlelt Balfour STEWART a Na-pon fehér flert, majd rögtön mágneses változást is. A geomágneses tevékenység, a naptevékenység és a sarki fény kapcsolatát hosszú adatsorok révén mutatták ki, mert mindegyikben megjelent a 11 éves napciklus (és a Nap 27 napos körülfordulási ideje).

A Göttingeni Egyesület után a második nagy vállalkozás az 1882–83-as sarki év volt. Az Osztrák–Magyar Monarchia részeként mi is részt vettünk ebben, pontosabban a PAYER és WEYPRECHT vezette sarki expedíciónak magyar orvosa volt. A mérések a sarki területekre összpontosultak, mivel ekkor már ismert volt, hogy a sarkifény-övben sokkal nagyobbak a geomágneses változások. A viszonylag sok sarki állomás lehetővé tette a mágneses viharok és a sarki fény eloszlásának, morfológiájának alaposabb megismerését.

Mindeddig a geomágneses tevékenység iránti érdeklődés inkább tudományos kíváncsiság, mint gyakorlati jelentőségű kutatás volt. A hosszú távíróvezetékek, elsősorban a transzatlanti kábelek lefektetésével azonban megjelentek az első, bár zavarónak aligha nevezhető furcsa jelenségek, így tápfeszültség nélkül is működött a távíró geomágneses

¹ Előadta az MTA Földtudományi Osztályának közgyűlési rendezvényén 2005 májusában Verő József és Wesztergom Viktor.

² A Közösség további tagjai: az MTA GGKI-ban Bencze P., Bór J., Koppán A., Lemperger I., Márcz F., Martini D., Prodán T., Sántori G., Szendrői J., Wallner Á., Zieger B., az ELGI-ben

viharok alatt. Magyarországon FRÖLICH Izidor É–D és K–Ny (Brassó–Sopron) között mérte folyamatosan a spon-tán feszültséget.

Ebben az időben már megjelent a fotografikus regisztrálás, evvel a folyamatos mérés sokkal egyszerűbbé vált, de egyes esetekben még itt-ott alkalmazták a szemmel való leolvasást is.

Egyre gyakoribbak lettek az alkalmi összemérések. Így a holland VAN BEMMELEN a 20. század elején Batavia, a mai Dzsakarta és a Peking melletti Zi-ka-wei adatai alapján állapította meg, hogy a pulzációk nem töltött felhők mozgása, tehát meteorológiai okok miatt jönnek létre, hanem nagy területen egyszerre jelentkeznek. ANGENHEISTER München és az akkor német gyarmat Szamoa szigetén, Apiában végzett mérésekkel kimutatta, hogy az éjszakai pulzációk (P_2) a két féltekén egyszerre lépnek fel.

Az 1914–18-as világháború és az azt követő zavaros viszonyok nem kedveztek a nagy hálózatok létesítésének. Viszont volt két olyan rokon terület, amelyen éppen ekkoriban komoly fejlődés játszódott le.

A Nap extrém ultraibolya- és röntgensugárzásának a légkör felső részével való kölcsönhatása 90–150 km közötti magasságban töltött részecskéket tartalmazó tartományt, az ionoszférát hozza létre. Ebben a dinamóhatás kelti a napról napra ismétlődő napi geomágneses változást. A felső légkörben folyó áramokra már GAUSS és Balfour STEWART is gondolt. A rádióhullámok felfedezésével, illetve MARCONI 1901-es transzatlanti rádióösszeköttetésével fejlődni kezdett ez az elképzelés. Már 1902-ben KENNELLY és HEAVISIDE feltételezte az ionoszféra létét. A rádióhullámok erről a rétegről visszaverődnek. Ennek alapján 1912–14 között Lee DE FOREST és FULLER a San Franciscó-i Fedora távközlési cég keretében a visszavert hullám terjedési idejéből meghatározta az ionoszféra magasságát. Ezek a mérések nem váltak közismertté, így az ionoszféra szondázásának kezdeményezőiként BREIT és TUVE (1923), illetve APPLETON és BARMEN (1925) szerepel a köztudatban. BREIT és TUVE berendezése a harmincas években terjedt el, létrejöttek az ionoszféra-állomások. A legtöbb, mintegy 400, a Nemzetközi Geofizikai Év alatt működött egy világhálózat keretében. Magyarországon 1957-től indultak el ilyen mérések az Országos Meteorológiai Intézet keretében, ma a méréseket az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet nagycenki obszervatóriuma folytatja.

A másik ilyen rokonterület a légköri elektromosság, elsősorban a légköri elektromos potenciálgradiens mérése, amelyet akkoriban teljesen meteorológiai jelenségnek vélték. Ezen a téren az első méréseket a 18. század második felében a Mont Blanc megmászója, a francia SAUSSURE végezte. Folyamatos mérésre 1861-től Kew-ben került sor, THOMSON (Lord KELVIN) kezdeményezésére. A húszas években a Carnegie Intézet hajói végigmérték a világ óceánjait, világidőben megadott mérési időpontokat használva, s így megkapták a globális napi átlagos menetet, amelyet ma is használnak. Az extraterresztrikus hatások kimutatására később került sor. A légköri elektromos paraméterek mérése is Nagycenken folyik a hatvanas évek elejétől.

A harmincas években, a kevés eredményt hozó 1932–33-as második sarki év után több tekintetben is jelentősen átalakult a geomágneses mérések módszere és szerepe. Három irányban is szükséges volt az adatgyűjtés.

Az első terület a szekuláris változás nyomon követése. Ehhez hosszú adatsorokra van szükség, akár évszázadokra visszamenően, másrészt pedig stabilis abszolút értékre. A legrövidebb ismert szekuláris jellegű változás a jerk, 2–3 évig tart és néhány nT nagyságú — ez jelzi azonosításának nehézségét.

A második terület némileg öncélú, ezek a geomágneses obszervatóriumok évkönyveiben megjelenő órás értékek. Bár felhasználásuknak vannak lehetőségei mind a szekuláris változás, mind a geomágneses tevékenység esetében, mégis szerepük az obszervatóriumok működésének bizonyítása. Természetesen azért vannak olyan paraméterek, mint például a köráram erősségét jellemző Dst, amely viszont éppen ezekből kapható meg.

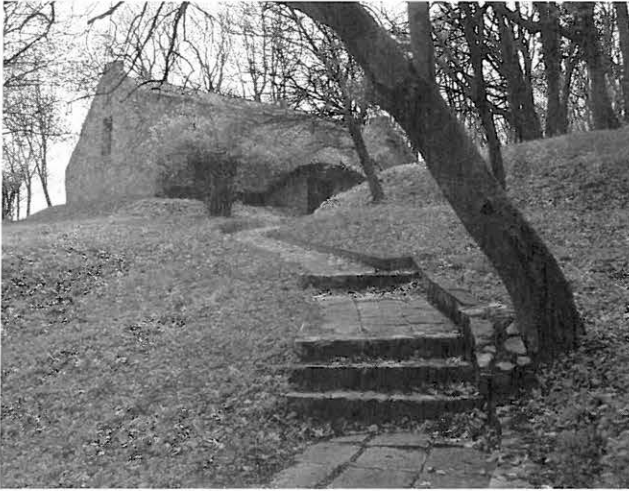
A harmadik terület a geomágneses tevékenység. Ezt a geomágneses évkönyvek részben egyes jelenségek (vihar, fler hatás, pulzációk, impulzusok) adatainak megadásával oldják meg, másrészt pedig geomágneses indexek meghatározása révén. A mai geomágneses indexek zöme éppen a harmincas években alakult ki.

Az első elterjedt napi tevékenységi indexet CHREE gondolta ki a 20. század elején. Minden részt vevő obszervatórium az egyes napok zavartságát 0, 1 és 2 indexszel jellemezte, ezeket átlagolva kaptak egy „planetáris” indexet, 0,1 pontossággal. Az egyes állomások a megadott időközön belüli maximális és minimális érték közötti különbség alapján határozzák meg az indexet. A nehézség elsősorban kis tevékenység esetén jelentkezik, mert a szabályos napi járás nem lenne szabad elvileg figyelembe venni, kiküszöbölése viszont nehéz, különösen automatizált meghatározás esetén. A német BARTELS fejlesztette tovább ezt a módszert, egyrészt 3 órára csökkentette a meghatározás időközét, részletes szabályokat adott a napi járás hatásának csökkentésére, a skálát 0–9 közé tágította, megszabva az egyes indexek határát az állomás (geomágneses) szélességétől függően. A lépték nagyjából logaritmikus lett. Az így kapott helyi K indexeket a Nemzetközi Geomágneses és Aeronómiai Asszociáció (IAGA) szervezésében gyűjtik a részt vevő obszervatóriumoktól, majd megbízásából számolják — ma Franciaországban — a „planetáris” K_p indexeket, amelyek hivatva vannak a tevékenység helyi időtől függő napi változásának és a két félteke közötti esetleges aszimmetriának a kiküszöbölésére. A K_p index 0o, 0+, 1-, 1o...8+, 9-, 9o értéket vehet fel. Belőlük közel exponenciális invertálással származnak az A_p és más hasonló indexek.

Sok kísérlet történt ezeknek az indexeknek a pontosítására, így az északi és déli féltekére MAYAUD külön indexeket javasolt és számított. A legnagyobb problémát mégis egyes obszervatóriumok áthelyezése, vagy éppen megszűnése okozza. Ezt indokolhatja a hely elektromágneses zavartságának növekedése, vagy politikai változások. Afrikában a gyarmati hatalmak létesítette obszervatóriumok szinte kivétel nélkül megszűntek. A sarkifény-övezetbeli tevékenységet leíró AE index 6, egyforma távolságra eső állomása közül az egykori szovjet állomások fenntartása csak nemzetközi segély révén sikerült (hogy a személyzet „sarki pótlékát” ki lehessen fizetni).

Érdeemes evvel kapcsolatban a magyar geomágneses obszervatóriumokról szót ejteni. A 19. század vége felé KONKOLY-THEGE ógyallai csillagvizsgálójában indultak meg és folytak az első világháború végéig a mérések. A Felvidék

visszacsatolása után újra megindult a munka, majd ezt a szlovákok folytatták a Hurbanovo nevet kapott állomáson. Az 50-es évek elején BARTA György létesített az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) keretében Budakeszin ideiglenes, majd Tihanyban végleges obszervatóriumot (1. ábra). Eltérő programmal KÁNTÁS Károly, illetve az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete (GGKI) 1957-ben létesített Nagycenkén egy második mérőhelyet (2. ábra). Mindkét obszervatórium ma is működik.



1. ábra. ELGI Geofizikai Obszervatórium, Tihany



2. ábra. MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium, Nagycenk

Az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Év (NGÉ) során jelentősen nőtt az obszervatóriumi hálózat. Előzőleg 50-re tehető számuk, a csúcserték a NGÉ alatt 150 körül volt. Sajnos, a tényleges szám nehezen állapítható meg, mert gyakran az elvileg létező obszervatóriumból semmiféle adatot nem lehet kapni. Az NGÉ ideiglenes állomásai közül nagyon sok az északi, és mint újdonság, jó néhány a déli sarkvidéken települt. Ennek volt eredménye, hogy a sarkfény-övezetbeli geomágneses tevékenységre jellemző AE index adatsora nagymértékben tökéletesedett, s ennek segítségével tisztázni lehetett a szubviharok keletkezésének, lefolyásának több kérdését is. A negyvenes-ötvenes

években amúgy is nőtt az érdeklődés a geomágneses változások iránt. A Schlumberger cég megindította a tellurikus módszerrel végzett földtani kuta-tásokat. Madagaszkáron és Venezuelában dolgozó csoport-jaik mérési anyaga lehetővé tette egyes jelenségek nagy távolságban való azonosítását. Ennek a kutatásnak irányítója a magyar KUNETZ Géza volt. Hasonló összemérést végzett Peking és Sopron között 1955-ben ÁDÁM Antal. Ezekkel a kis hálózatokkal szét lehetett választani a globális és a helyi időtől függő hatásokat, ami elsősorban a pulzációk kutatásában jelentett előrelépést.

A másik, új eredményekhez vezető terület a földrengések előrejelzése volt. Nem mintha meg lehetett volna oldani ezt a problémát, de az 1947-es pusztító ashabadi földrengés után a Szovjetunió Közép-Ázsiában több állomást létesített, s ezek munkatársai közül nőtt ki V. A. TROICKAJA, aki egyebek között felvetette a pulzációk világszerte egyidejűleg való megjelenésének ötletét. Bár ez csak részben bizonyult helyesnek, de erjedést indított el ezen a kutatási területen.

A hatvanas évektől kezdve alapos változás következett be a geomágneses kutatásokban. Megjelentek az üreszközök, ezekhez azonban részletes földi mérésekre is szükség van, mert a mesterséges holdak egyszerre jeleznek időbeli és térbeli változásokat, emiatt a csatlakozó földi állomáshálózat szerepe megnőtt. A mesterséges bolygók pedig a bolygóközi tér paramétereit adják meg, ezek alapján lehet azok felszíni hatását kimutatni. Ugyanekkor az elektromágneses zavartság fokozódása, a zavartság új formáinak megjelenése alaposan csökkentette a működő geomágneses obszervatóriumok számát: ma hivatalosan is 100-nál kevesebb létezik, ténylegesen még kevesebb.

A megfelelően nagy időfelbontású, zavarmentes regisztrátumok iránti igény szükségszerűen vezetett el egy geomágneses obszervatóriumi világhálózat kialakulásához. Ez a hálózat, az INTERMAGNET, hosszú vajúdas után az 1990-es években jött létre.

2. Az INTERMAGNET és más mai hálózatok

A mai globális geomágneses hálózat, az INTERMAGNET kialakulása a különböző geomágneses indexek, elsősorban a K_p és az AE meghatározásához használt és az illetékes nemzetközi szervezet, az IAGA által egybefogott obszervatóriumok kezdeményezésére indult meg akkor, amikor a digitális regisztrálás kezdett általánossá és így a regisztrátumok könnyen sokszorosíthatóvá válni. Az indexek meghatározására azonban az INTERMAGNET-től függetlenül megmaradt a régebbi szervezet.

A hálózatnak minél nagyobb térbeli és időbeli lefedést kellene biztosítania. A geomágneses változások spektruma rendkívül széles, millió éves periódusoktól MHz-es, sőt GHz-es frekvenciákig terjed, sőt a szűkebb értelemben vett „obszervatóriumi” adatok spektruma is több száz évtől (szekuláris változás) néhány Hz-ig (gyöngypulzációk, légköri kisülések) tart, még akkor is, ha nem soroljuk ide az olyan nagyfrekvenciás jeleket, mint a whistlerok. Természetesen egyfajta mintavételi távolsággal nem fogható át ez a spektrum, az INTERMAGNET csak a néhány perctől évekig-évtizedekig terjedő periódustartományt fogja át, más frekvenciatartományokban külön hálózatokra van szükség.

Ehhez még hozzá kell tennünk, hogy az időben visszafelé való meghosszabbításra állandó törekvések vannak, egyrészt régi magnetogramok digitalizálásával, másrészt egyéb módszerekkel, így régebben meghatározott tevékenységi indexek felhasználásával igyekeznek minél hosszabb idősorokat létrehozni. Erre vonatkozó példát be fogunk mutatni.

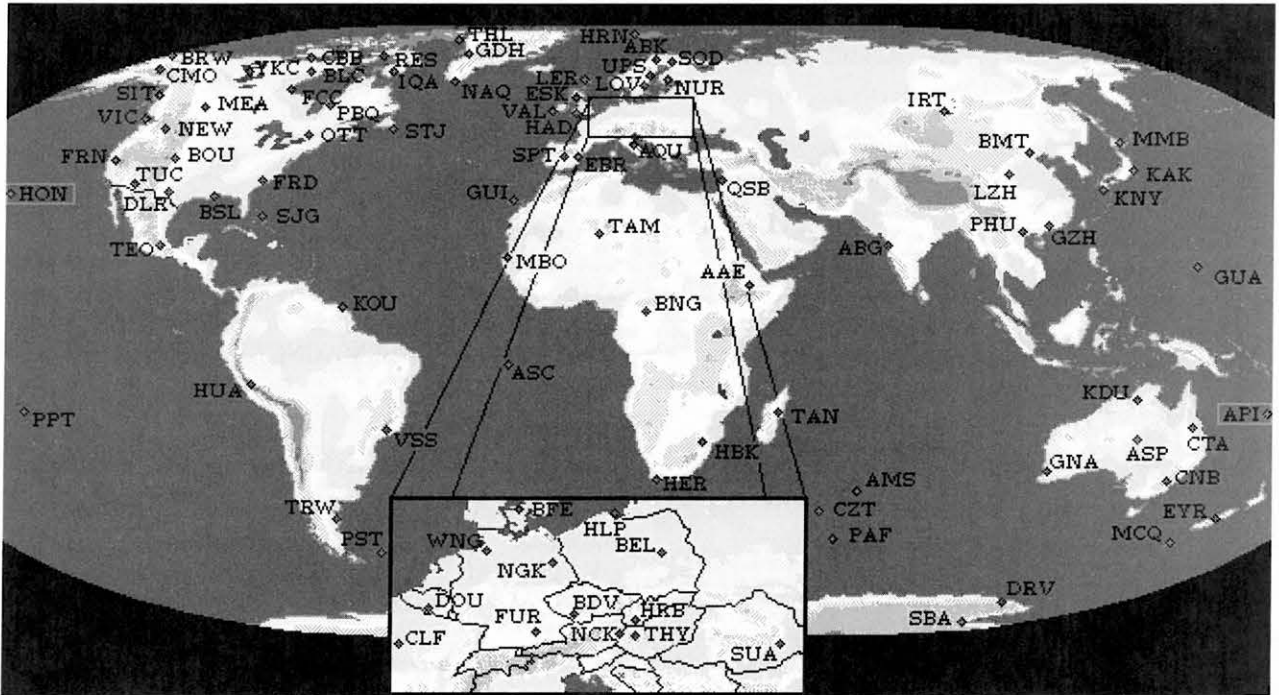
A térbeli átfogásnál más probléma van. Itt a szekuláris változás megfelelő pontosságú leírásához nem elegendő az obszervatóriumi hálózat sűrűsége, nagyobb számú szekuláris pontra van szükség az abszolút érték nagy pontosságú meghatározása mellett. Erre a célra tehát külön hálózat szükséges, amelynek biztosítania kell, hogy a geomágneses tér izovonalai ne szakadjanak meg az államhatároknál.

Az INTERMAGNET név hivatalos teljes alakja International Real-time geoMAGnetic observatory Network. A részt vevő országok állomásai közelítőleg real-time geomágneses adatokat szolgáltatnak vagy geostacionárius holdak vagy Geomagnetic Information Nodes (GINs) útján, számítógépes kapcsolattal. Európában Edinburgh és Párizs szerepel GIN-ként. Az adatok a három geomágneses komponens és a legtöbb helyen a totális tér

perces értékei, 0,1 nT pontossággal. Követelmény a bázison független műszerekkel való pontos követése. A végleges, a részt vevő intézmények által számított, tehát nem a real-time adatok 1991 óta évente CD-ROM-on is megjelennek, és ezt minden résztvevő megkapja. A CD-ROM a teljes jogú INTERMAGNET állomások mellett azoknak az állomásoknak az adatait is tartalmazza, amelyek teljesítik az INTERMAGNET kritériumait, de nincs real-time (szatellitese vagy számítógépes) kapcsolatuk egyik GIN-nel sem. 2003-ban 36 ország 89 obszervatóriumának adatai szerepelnek a CD-ROM-on (3. és 4. ábra), a 2004-es még nem jelent meg. A geomágneses adatok mellett rövid ismertetés, az obszervatóriumok listája és fontosabb adatai is megtalálhatók rajta, a példa a két magyar állomás (5. ábra) közül a nagyecenkieket (6. ábra) mutatja.

A CD-ROM-ról letölthető perces adatokból kirajzolt napjárás a legzavartabb 2002-es nap, október 4-e esetében látható a 7. ábrán. A négy állomás Nagycenk, az előzőekben már említett Apia, a braziliai Vassouras, és a közép-afrikai Bangui.

Az Operations Committee magyar tagja HEGYMEGI László (ELGI).



3. ábra. Az INTERMAGNET állomáshálózata, 2003

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------|
| ✧ Algéria | ✧ India | ✧ Nyugat-Szamoa |
| ✧ Anglia | ✧ Írország | ✧ Olaszország |
| ✧ Argentína | ✧ Japán | ✧ Oroszország |
| ✧ Ausztrália | ✧ Kanada | ✧ Peru |
| ✧ Belgium | ✧ Kína | ✧ Románia |
| ✧ Brazília | ✧ Közép-afrikai Közt. | ✧ Spanyolország |
| ✧ Cseh Köztársaság | ✧ Lengyelország | ✧ Svédország |
| ✧ Dánia | ✧ Libanon | ✧ Szenegál |
| ✧ Dél-afrikai Közt. | ✧ Madagaszkár | ✧ Szlovákia |
| ✧ Etiópia | ✧ Magyarország | ✧ Új-Zéland |
| ✧ Finnország | ✧ Mexikó | ✧ USA |
| ✧ Franciaország | ✧ Németország | ✧ Vietnam |

4. ábra. Az INTERMAGNET-ben részt vevő országok



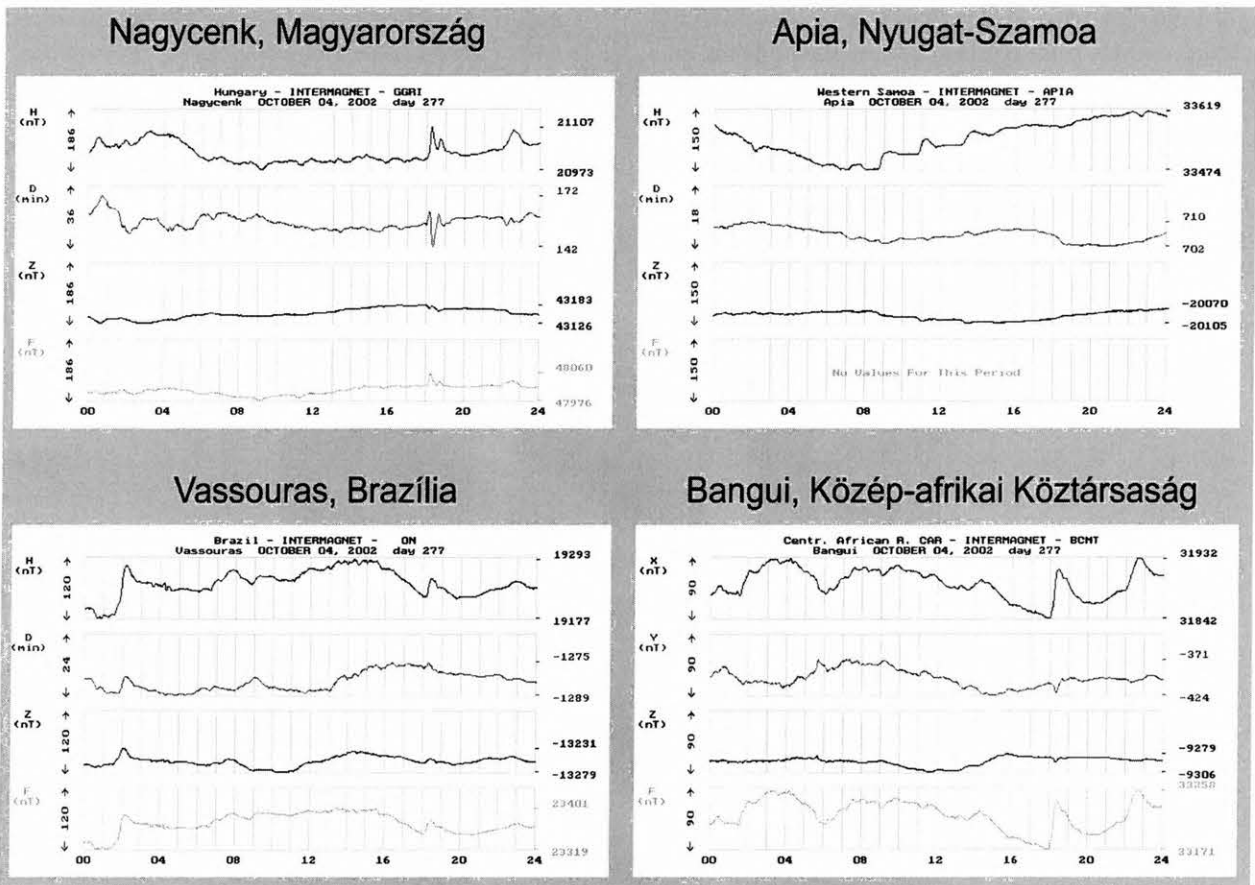
5. ábra. A magyar INTERMAGNET állomások

- STATION ID: NCK
- LOCATION: Sopron, Hungary
- ORGANIZATION: Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences
- CO-LATITUDE: 42 deg 22 min
- LONGITUDE: 16 deg 43 min E
- ELEVATION: 153 m
- ABSOLUTE INSTRUMENTS: DI Fluxgate (DMI type) on Zeiss 020A theodolite, GSM 19 Overhauser proton magnetometer
- RECORDING VARIOMETER: ARGOS System from GBS
- ORIENTATION: XYZF
- DYNAMIC RANGE: +2000 nT
- RESOLUTION: 0.1 nT
- SAMPLING RATE: 5 s
- FILTER TYPE: Gaussian, INTERMAGNET Standard
- BACK-UP VARIOMETER: Torsion Photoelectric Magnetometer, Type PSM-8711
- K-NUMBERS: FMI method
- K-9 LIMIT: 350 nT
- GINS: Edinburgh, Paris
- SATELLITE: METEOSAT
- OBSERVER: ÁKOS WALLNER
- CONTACT: Viktor Wesztergom and Bertalan Zieger

6. ábra. A nagyceki obszervatórium adatai az INTERMAGNET CD-jén

A szekuláris változás követésére az INTERMAGNET viszonylag kis számú állomásával nem alkalmas. Erre most szerveződik egy, a szekuláris pontokat (repeat stations) is

magában foglaló együttműködés, a European Geomagnetic Station Network, a potsdami GFZ égisze alatt. Ez az európai szervezet 2003-ban alakult meg, 2003–04-ben koordinált ismétlődő méréseket végeztek, ezek már előzetes feldolgozáson estek át. A méréseket a jövőben 2 évenként akarják megismételni. Ebben az együttműködésben 20 európai ország vesz részt, Magyarországot az ELGI képviseli. Egyes speciális feladatokra, elsősorban a nagyobb frekvenciás (10–100 mHz-es, 10–100 s-os) változások vizsgálatára az INTERMAGNET adatai a perces mintavételi közmiatt sem alkalmasak. Ezért szerveződnek egyes feladatokra többé-kevésbé alkalmi hálózatok, így egy meridionális közép-európai láncot többször szerveztünk meg, de a CHAMP mesterséges hold adatainak értelmezéséhez is létrejött egy olasz–osztrák–magyar lánc. Ezekon kívül a tihanyi obszervatórium is több hálózatban vett részt, egyebek között amerikai együttműködésben.



A még nagyobb frekvenciák esetében a helyzet tovább nehezedik, ennek ellenére pl. a Schumann-rezonanciák (8–20 Hz) és más légköri kisülések észlelésére is léteznek kisebb-nagyobb hálózatok, pl. magyar–amerikai–izraeli–japán szervezésben. Még nagyobb, kHz-es jelek, pl. whistlerek esetében az ELTE űrkutató csoportja által időszakosan végzett dániai mérések, illetve a dél-afrikai együttműködés említhető.

3. A geomágneses hálózati adatok felhasználása

A geomágneses hálózatok kialakulásával kapcsolatban már szó esett több felhasználási területről. Először a hajózásban

használták iránymeghatározásra, majd inkább tudományos, mint gyakorlati kérdéseket vizsgáltak, így a geomágneses tevékenység morfológiáját és ennek okát, a tevékenység kapcsolatát a sarki fénnel és a naptevékenységgel. Ahogy megjelentek az egyre nagyobb (vezetékek), érzékenyebb (elektronikai eszközök) és magasabban járó (mesterséges holdak) technikai eszközök, úgy szaporodtak a geomágneses eredetű működési zavarok és nőtt az igény a megfelelő adatok és előrejelzésük iránt.

Jellemző példa az adatsor hosszúságának fontosságára a legnagyobb, közepes szélességen észlelt geomágneses vihar nagysága. A nagyceki obszervatóriumban 50 év alatt a legnagyobb vihar 6–700 nT-s volt. 2003 novemberében

az emlékezetes sarki fényt létrehozó vihar majdnem 50%-kal múlta ezt felül (900 nT). A történetileg ismert, mért legnagyobb vihar a már említett, az 1860-as években Alibagban (India) észlelt 1600 nT-s vihar volt. TSURUTAMI számításai szerint az előfordulható legnagyobb vihar 2500 nT amplitúdójú.

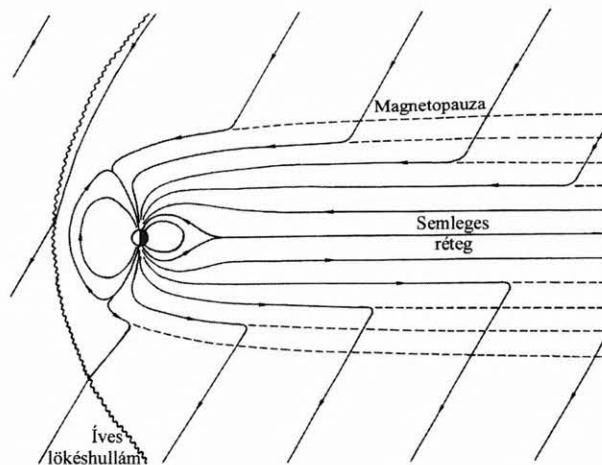
Adatokat igényel a természetes elektromágneses térrel dolgozó geofizikai-földtani kutatás, sőt, mint lehetőség iránt, az orvostudomány is érdeklődik a geomágneses adatok felől. A globális hálózatok kialakulásával a két eltérő irány, a geomágneses főtér szekuláris változása és a geomágneses tevékenység nyomon követése eléggé elkülönült.

A bemutatandó eredmények mind magyar kutatóktól származnak, létrehozásukban azonban külföldi kollégáknak is volt szerepük. Először a hosszú periódusú — szekuláris, belső eredetű változás meghatározására mutatunk be néhány példát.

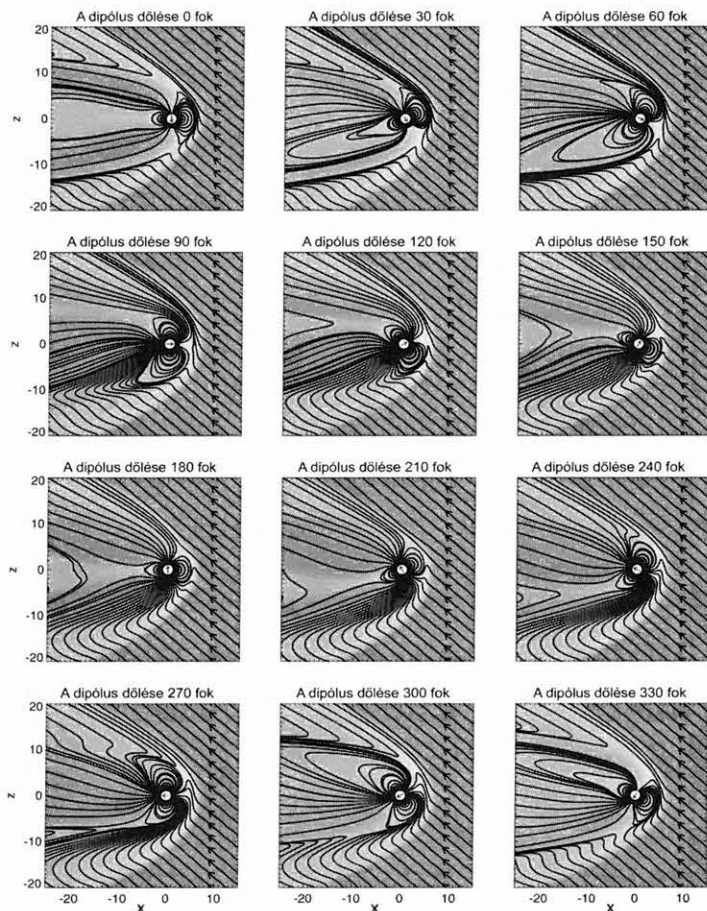
A mai geomágneses tér úgy alakítja ki a Föld magnetoszféráját, ahogyan a 8. ábra mutatja az erővonalak segítségével. Más belső tér, első közelítésben dipólus értelemszerűen más magnetoszférát hoz létre.

Nemrégiben ijesztgette a média és egy katasztrófafilm a közönséget a mágnesvér megszűnésének következményeivel. Erre az Ørsted dán mesterséges hold méréseiből levezetett télerőcsökkenés szolgáltatta az okot. A csökkenés előre jelezheti a mágnesvér polaritásváltását. Amikor a mágneses dipólus az egyenlítő síkjába fordul, akkor valóban nagyon szokatlan jelenségek lépnek fel a magnetoszférában, amelyeket a megismert morfológia alapján lehet

modellezni. Egy ilyen sorozatot mutat be a 9. ábra. A mágnesvér viselkedését a forgástengelytől egyre jobban eltérő dipólustengely esetén mutatják az egyes ábrák — igaz, a jelenleginél tízszer kisebb póluserősséggel —, végül a mágnesvér iránya ismét közeledik a forgástengelyhez, de ellentétes polaritással, tehát teljesen átfordul. Amikor a dipólus az egyenlítő síkjában van, energiabetáplálás nincs a napszéltől a magnetoszférába, mert nincs erővonal-átkötődés sem. Annyit kell ehhez tudnunk, hogy ilyen helyzet a Földön is előfordult, és más bolygókon is lehetséges.

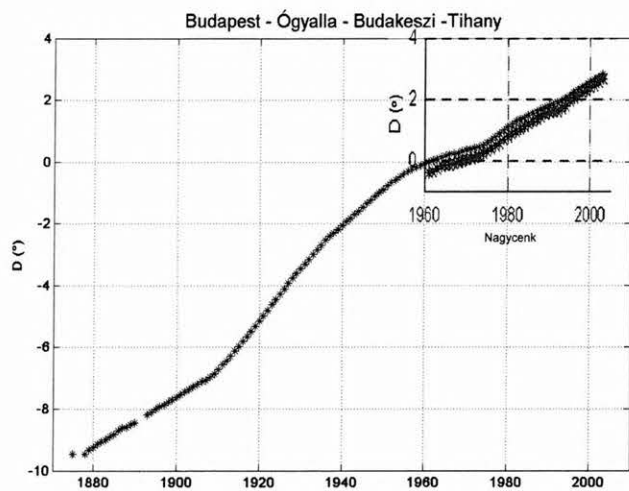


8. ábra. A magnetoszféra és a bolygóközi mágnesvér erővonalai és határfelületük

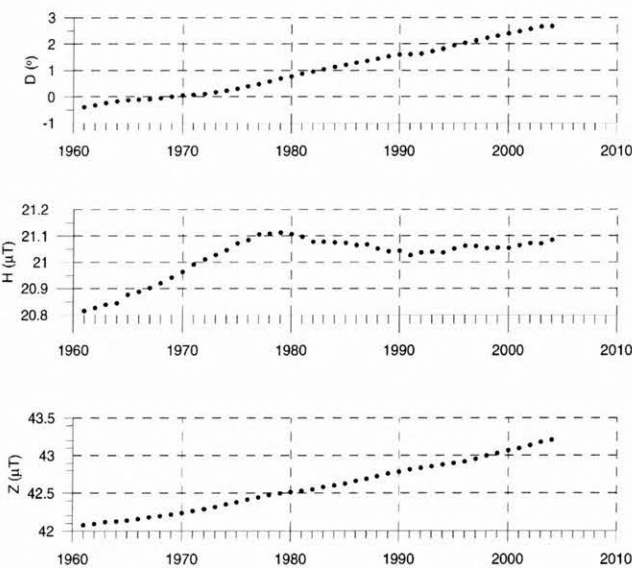


9. ábra. A magnetoszféra mágneses erővonalai különböző dőlésű dipólusok esetén

Magyarországon folyamatos adatsor a deklináció változásáról a 19. század utolsó negyede óta létezik, a többi elem adatsora rövidebb, hiányosabb. A deklináció változását bemutató 10. ábra több állomás adataiból van „összetolva”. Bár nem azonos sebességgel, de végig egy irányba mozgott a tér. Nagyon hasonló, bár kissé eltolt a szintén látható, megfelelő nagycenki görbe. A többi komponens változása (11. ábra) szabálytalanabb, a H komponensben a hatvanas évek közepén felismerhető egy jerk.



10. ábra. A geomágneses tér deklinációjának szekuláris változása

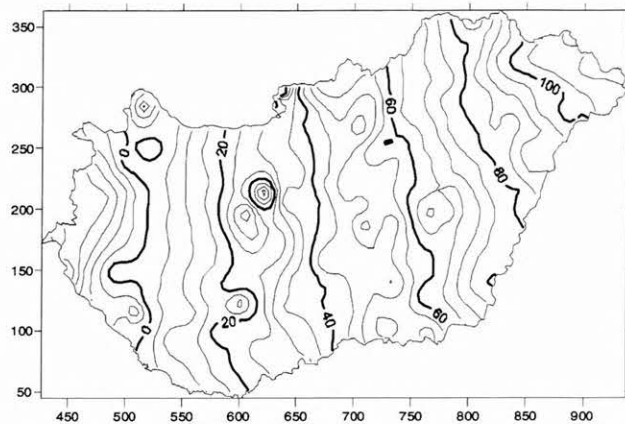


11. ábra. A három geomágneses komponens szekuláris változása, Nagycenk

A deklináció eloszlását bemutató térkép (12. ábra) szemlélteti, miért van szükség az egész Európát befedő együttműködésre. Ugyanis az izogon-vonalak a határokon megszakadnak, csak közös feldolgozás eredményezhet sima izogonokat. Ezt a célt is szolgálja a nemrég létrehozott európai együttműködés. Annyit kell még ehhez hozzátennünk, hogy a pillanatnyi deklinációkat ábrázoló térkép a változó szekuláris tér és a nagyjából állandónak tekinthető anomáliák összege.

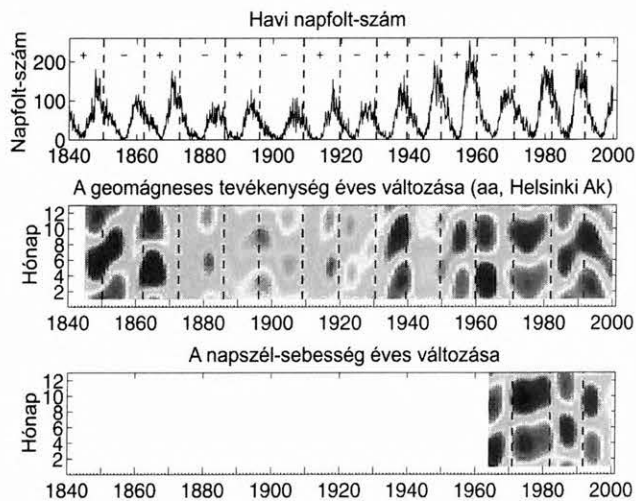
A belső eredetű, de a Föld mágneses viszonyait minden tekintetben alapvetően befolyásoló szekuláris változás mellett a külső eredetű, a napszél energiájából táplálkozó,

és rövidebb periódusú változások kutatása ma az űridőjárás, illetve űrérhajlat elnevezésű programok keretében folyik. A következőkben ismertetendő eredmények ezeknek a programoknak a keretében születtek.



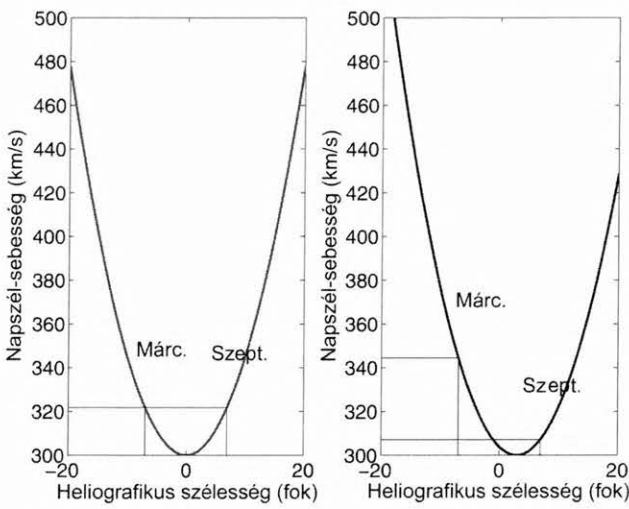
12. ábra. A deklináció izogon vonalai Magyarországon, 1966

Jellegzetes lehetőség a régi adatsorok felhasználásával elért eredményekre a geomágneses tevékenység egy éves periódusának fázisváltozása az aa, illetve a régi helsinki Ak napi indexek alapján (13. ábra). Az éves tevékenységi maximum helyzete minden naptevékenységi minimumkor márciusról szeptemberre, illetve ellentétesen ugrik. Ez a napszél sebességének a helioszferikus lepelnél ebben az időszakban meglévő mély minimumával van kapcsolatban. A minimum a 14. ábrán látható. A Nap helioszférája ekkor észak-déli aszimmetriát mutat, egyszer felfelé, a legközelebbi minimumkor lefelé (azonos mágneses polaritás irányában) tolik el, emiatt van fázisváltás. A matematikai műveletek (sávszűrés) miatt szétkenődik a hatás.



13. ábra. A napfolt-szám havi átlagai, valamint a geomágneses tevékenység és a napszél-sebesség éves hullámának fázisa

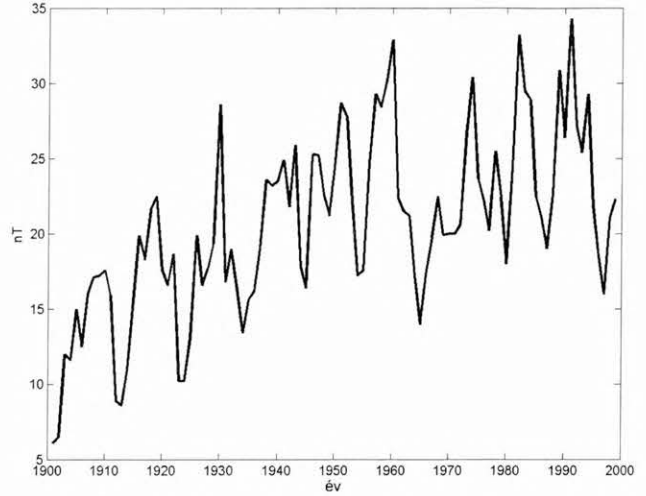
A Canberra (Ausztrália) és Hartland (Anglia) állomás adatai alapján meghatározott aa index folyamatosan nőtt az elmúlt évtizedekben (15. ábra). Ez javarészt magyarázható a naptevékenység növekedésével (ami a globális felmelegedés egyik oka lehet egyesek szerint). Ami viszont rejtélyes: bizonyos naptevékenységhez is egyre nagyobb geomágneses tevékenység tartozik. Ennek okát egyelőre nem ismerjük.



14. ábra. A napszél-sebesség függése az ekliptika síkjától való távolság függvényében szimmetrikus esetben és kissé eltolt minimum esetében

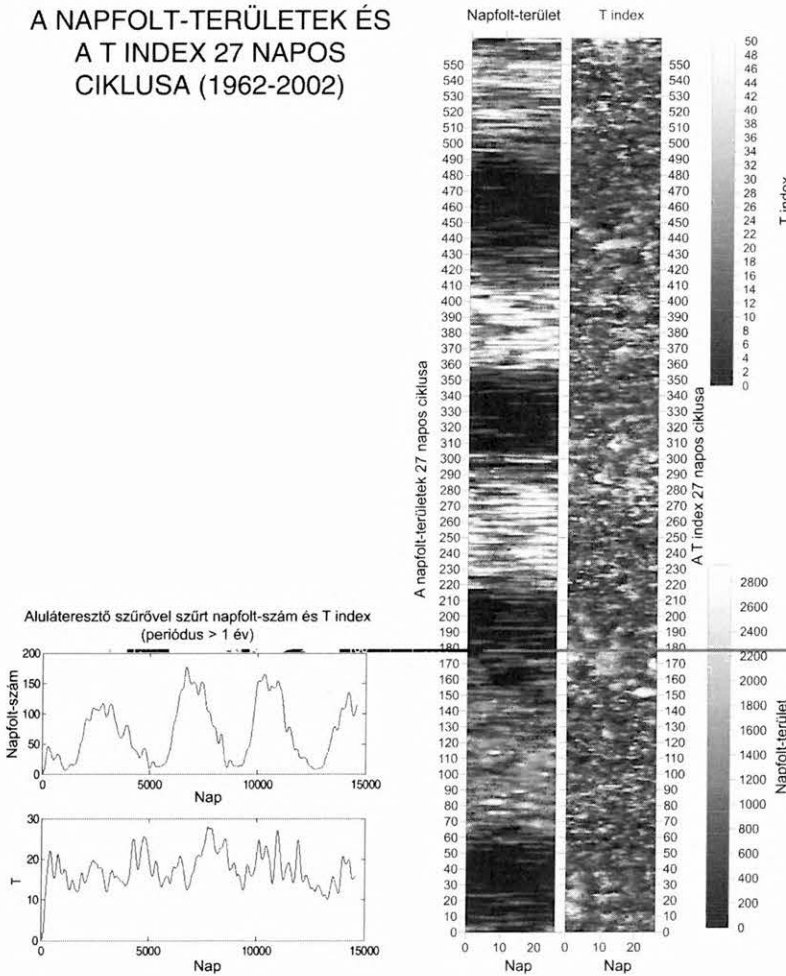
A geomágneses tevékenység (és a napfolt-terület) 27 napos, vagyis a Nap forgásidejével megegyező hosszúságú sorokba rendezett adatai segítik a geomágneses tevékenység előrejelzését. Ehhez tetszőleges index használható, a 16. ábrán a nagycenki geoelektromos index megfelelő ábrája látható. A tevékenységet szürke skála fejezi ki. Füg-

gőleges struktúrák, vagyis 27 nap elteltével visszatérő tevékenység 11 évenként, a naptevékenység csökkenő ágában jelenik meg, míg a hirtelen kezdetű, nagy geomágneses viharok a napmaximum idején fordulnak elő, és 27 nap után nem térnek vissza — ezek napkitörésekhez kötődnek. Az ilyen viharok elszigetelt pontként vagy rövid vízszintes vonalként jelennek meg.



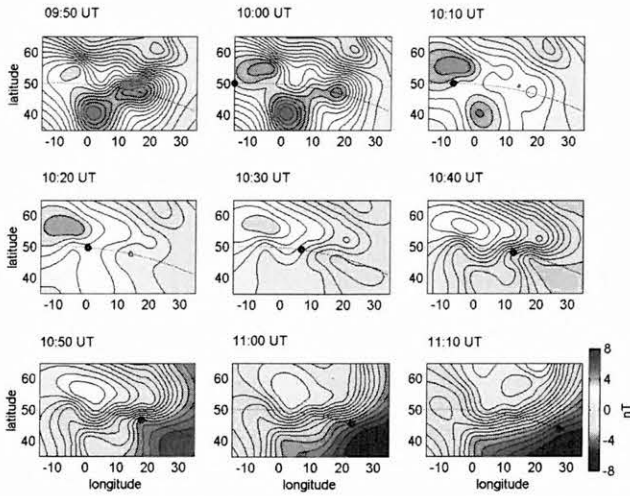
15. ábra. A geomágneses tevékenység növekedése az elmúlt században (aa index)

A NAPFOLT-TERÜLETEK ÉS A T INDEX 27 NAPOS CIKLUSA (1962-2002)



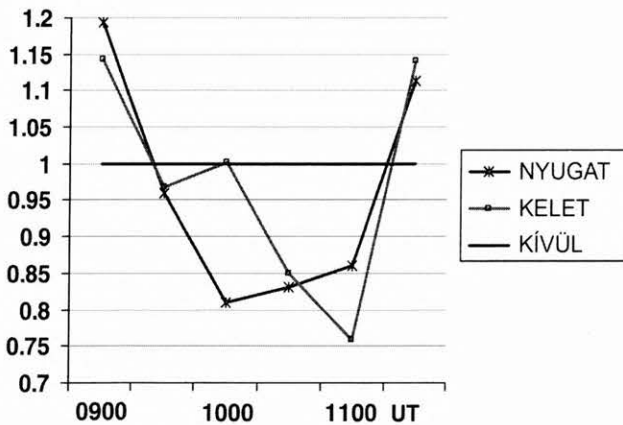
16. ábra. A napfolt-területek és a T index 27 napos ciklusa (1962–2002)

Az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás geomágneses hatását az ELGI vizsgálatai alapján mutatja a 17. ábráson. Az árnyék vonallal jelzett pályája mentén 10 percenként láthatók az anomália értékei. Ez az X-komponensbeli anomália hasonlóan mozdul el, mint a ponttal jelzett árnyék. A hatás meglétét nem mindenki fogadta el, komoly vita alakult ki felele.



17. ábra. Az 1999.08.11-i napfogyatkozás geomágneses hatása Európában (X)

Ugyanennek a napfogyatkozásnak a hatását a geomágneses pulzációkban is megtaláltuk. Megváltozott a polarizáció, és a holdárnyék területén mintegy felére csökkent az amplitúdó. Ezt 5 Japán, számos német, magyar és cseh állandó és ideiglenes állomás adatai alapján sikerült bizonyítani. Az állomásokat három csoportra osztottuk: az egyik az árnyékot lehetőleg kívülieké, itt az amplitúdót 1-nek vettük. Ehhez képest először a nyugati, majd az árnyék mozgásának megfelelően a keleti csoportban következett be csökkenés (18. ábra). Tudomásunk szerint ez az első eset, amikor sikerült a héjrezonanciának a magnetoszférikus részecskesűrűség csökkenése következtében való megszűnését kimutatni.



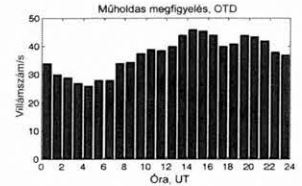
18. ábra. Az 1999.08.11-i napfogyatkozás hatása a pulzációkra. A "KÍVÜL" csoportra normált amplitúdók

Érdekes lehetőség a geomágneses pulzációk esetében a bolygóközi régióból származó hullámok azonosítása. Ezek a hullámok a bolygóközi tér földközeli részének pillanatnyi állapotát jellemzik. A több állomáson egyszerre mért jelek

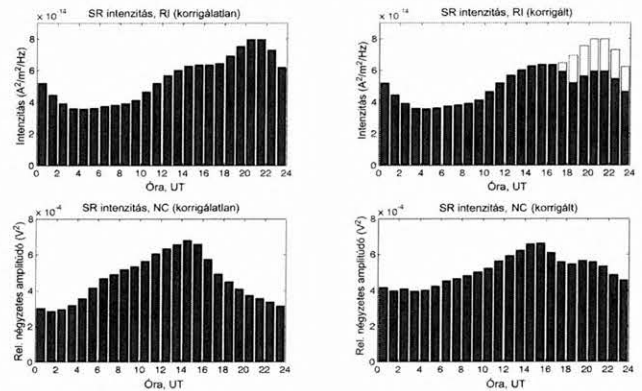
közös részének kiemelésével megkapjuk az ilyen eredetű jeleket. A nem egyező periódusú jelek viszont a Föld magnetoszférájában alakulnak ki a geomágneses erővonal— igaz, a jelenleginél tízszer kisebb póluserősséggel — rezonancia révén.

A már említett magyar–amerikai együttműködés keretében a nagyceki és a Rhode Island-i (USA) állomáson meghatároztuk a Schumann-rezonanciák első három harmonikusának energiáját a nap különböző szakaszaiban. Az éjszaka-nappal közötti aszimmetria kiküszöbölése után kapott napi menetek nagyon hasonlóak az OTD mesterséges holdon észlelt villámok számának napi menetével (19. ábra). A nagy csúcs az afrikai zivataroktól származik, az amerikai és ázsiai zivataroknak megfelelő csúcsok lényegesen kisebbek.

Az OTD műholdról megfigyelt villámaktivitás →

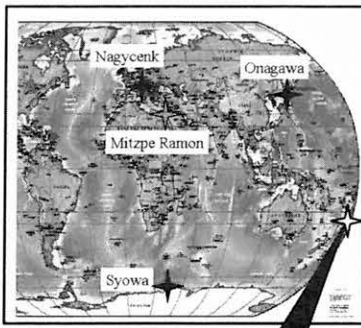


Villámaktivitás két távoli állomás (Nagyceki és Rhode Island, USA) Schumann-rezonancia mérései alapján



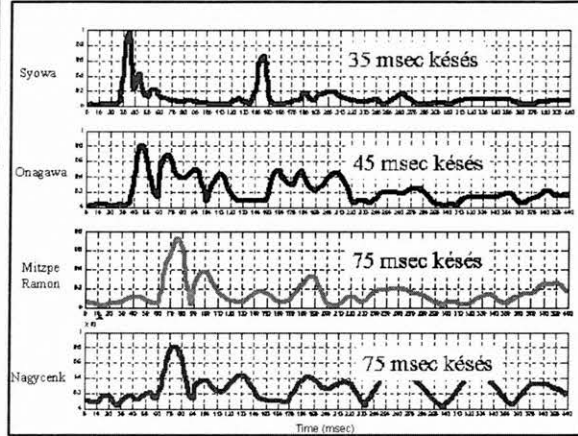
19. ábra

A Columbia űrrepülőgép STS 107-es útjára 2003. január 1. és február 1. között került sor. A legénység feladatai között felsőlégköri elektrooptikai jelenségek fényképezése is szerepelt. Hogy a jelenségekről minél több információt lehessen összegyűjteni, nemzetközi felszíni mérési kampányt szerveztek, amelyben az ELF frekvenciasávban (3–3000 Hz) észlelő mérőállomások vettek részt, közöttük a nagyceki obszervatórium is. A felsőlégköri optikai emissziók nagy intenzitású villámkisülésekhez (ELVES) köthetők, mivel megjelenésük a kisülést követő töltés-átrendező és relaxációs folyamatok eredménye. Felszíni ELF állomásokon a villámkisülés során kisugárzott nagy amplitúdójú EM hullámok észlelése lehetséges (20. ábra). A jel mágneses horizontális terének polarizációs síkja definiálja a forrás – megfigyelő irányt. Több állomásra meghatározva a forrás irányát, a kisülés földrajzi helye globális háromszögeléssel néhány száz km-es pontossággal megadható. A felszíni állomások idősorából akkor is meghatározható a forrás helye, ha felszíni fény-megfigyelés nincs, ilyen a bemutatott eset, amikor az emissziót a Csendes-óceán nyugati része felett találták meg. Mivel a magyar és az izraeli állomáson a vertikális elektromos



ELVES (Elf) a Columbia űrsiklóról fényképezve 2003. január 19. 09:05:23.940 UT

Elf-et kiváltó villámkisülés azonosított tranziens jelsorai ELF észlelőállomások horizontális mágneses idősoraiban



A horizontális mágneses tér abszolút értékének az idősoraiban az esemény bekövetkeztek és az esemény észlelésének időeltolódása a forrás-észlelő távolsággal arányos.

20. ábra

tér mérése is folyt, a kisülés helyét a Poynting-vektorral is meg lehetett határozni (kék görbék). Bár a bemutatott példák közvetlenül nem mindig kapcsos-

lódnak az INTERMAGNET-hez, a megbízható háttérrel ez és a többi, szigorúan szabályozott keretben működő állomáshálózat jelenti.