

Válasz Geresdi István, az MTA doktora opponensi véleményére

Megköszönöm Geresdi Istvánnak, az MTA doktorának „Schumann-rezonancia, mint globális változások jelzőrendszere” c. doktori munkám értékelését.

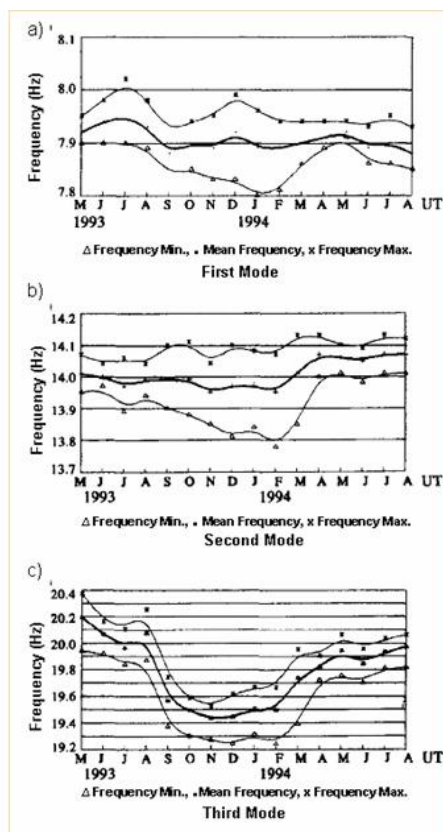
A disszertáció természetes forrásból, villámkisülésekből táplálkozó, speciális elektromágneses hullámjelenséggel, a Schumann-rezonanciákkal foglalkozik. A bevezető fejezetekben az alapismeretek összefoglalására, valamint mérések és adatfeldolgozás ismertetésére szorítkoztam. A forrás tulajdonságai, a terjedési viszonyok, és jelen esetben a forrás-észlelő geometria egyaránt befolyásolja az észlelés helyén a mért spektrális paraméterek értékeit. A villámkisülést, mint a jelenség forrását egy természetes rádió-antennának, vertikális elektromos dipólusnak tekintve, további apriori ismeretet magáról a villámok, zivatarok keletkezéséről a bevezetőben nem adtam, hogy kerüljem az itt felsorolt három tényező bármelyikének is a túlhangsúlyozását. Terjedelmi okok is korlátot szabtak a bevezető további bővítésére. A dolgozat logikáját és számomra a kutatási folyamat belső szépségét az adta, hogy elektromágneses hullámjelenség vizsgálatából globális léptékű, mértékű összefüggésekre bukkantam mind a forrás, mind a terjedési viszonyok, mind a forrás-észlelő geometria vonatkozásában. A tézisek száma árulja el, - kilencből hét - , hogy a legtöbb ismeret a forrásra, azaz a globális villámaktivitásra vonatkozóan nyerhető.

Köszönöm az óvatosságra intő megjegyzést a zivatarok és villámok szinonimaként történő használatával kapcsolatban. Átnéztem a dolgozatot a „villám” és „zivatar” szavakra történő kereséssel, hogy használtam-e értelemzavaróan azokat egy adott szöveggörnyezetben. Úgy gondolom, hogy nagyon kevés kivételtől eltekintve, amikor feltehetően a szóismétlést akartam elkerülni, korrekt módon alkalmaztam ezeket a kifejezéseket.

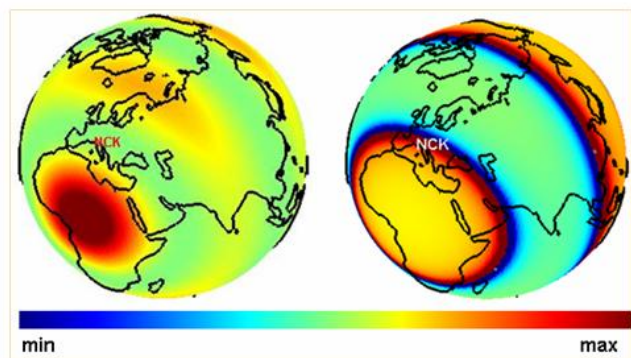
A következő kérdés a 6.1.4. ábrához kapcsolódik: Mi lehet a magyarázata annak, hogy míg az első két módus közel állandónak tekinthető a kétéves megfigyelési periódusban, addig ugyanez nem mondható el a harmadik módus esetében?

A nagyecenki megfigyelő mindig közel van az afrikai zivatarforráshoz (az afrikai zivatarregióban bekövetkező villámok sokasága) tartozó csomóvonallhoz az E_z térkomponens harmadik módusa esetén ($\sim 40^\circ$ szögtávolság a terjedési főkörön). A csomóvonal, mint a

rezonancia-térstruktúra része, együtt mozog a forrással. A csomóvonalaknál a frekvencia szingulárisan viselkedik, azaz a frekvencia hirtelen megnő vagy csökken a megfigyelőhelyen, attól függően, hogy a forrás milyen irányban mozog az észlelőhöz képest. A növekedés/csökkenés mértékét pedig a zivataros terület mérete határozza meg. A 6.1.4. ábra az afrikai zivatarforrás távolodását jelzi a nagyecenki észlelőtől 1993. augusztus/szeptember hónapban, azaz az észlelő a csomóvonal magasabb frekvenciájú oldaláról átkerül az alacsonyabb frekvenciájú oldalára, majd 1994. márciusában/áprilisában az afrikai zivatarregió északi irányba történő visszamigrálása során az észlelő ismét a csomóvonal magasabb frekvenciájú oldalára kerül. Az afrikai zivatarforrás meridionális észak-déli mozgásával összefüggő frekvenciaváltozást jól szemlélteti a dolgozatban, a 3.3 ábra jobb oldalán bemutatott egyszerű frekvencia-szimuláció.



6.1.4. ábra A vertikális elektromos térkomponens frekvencia minimumának és maximumának, valamint az átlagos frekvenciaszintnek a változása 1993. májusától 1994. augusztusáig a) az első b) a második c) a harmadik rezonancia-módus esetére (Sátori, 1996).



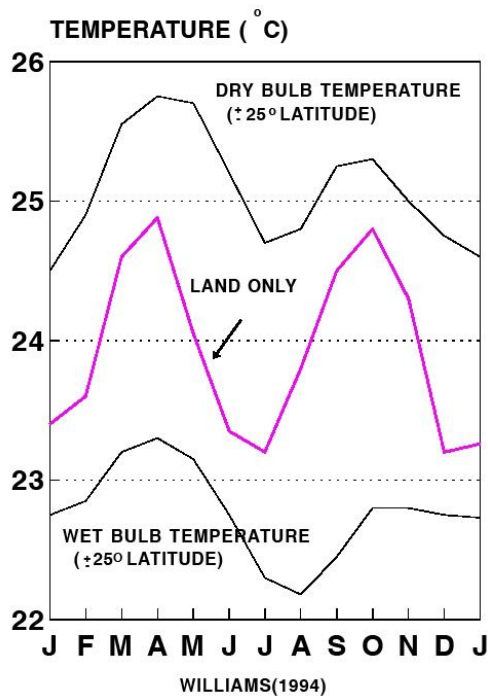
3.3 ábra A vertikális elektromos térkomponens harmadik módusának amplitúdó (bal) és frekvencia eloszlása (jobb) a 8°É-i szélesség mentén kiterjedt afrikai forrás-sort szimulálva (11 pontforrás 5°-ként elhelyezve, szimmetrikusan NCK hos szűségához viszonyítva).

A 6.2. fejezetben a globális villámlás szezonális meridionális dinamikájával foglalkozom, a megállapítások frekvencia-megfigyelésen alapulnak, az eredmények a globális villámlás pozíciójára és migrációs sebességére vonatkoznak. A villámlások gyakoriságának féltekék közötti különbözőségével nem foglalkoztam. „A Schumann-rezonanciák napi frekvencia-menete elsősorban a forrás-észlelő konfigurációjától függ (Bliokh et al., 1980). Jelen esetben ez a nagyceki SR mérőhelynek az aktív zivatar-régió(k)hoz viszonyított helyzetétől és távolságától függő frekvenciaváltozást jelenti.” A zivatarok és villámok kialakulásában a hőmérsékleten (nedves hőmérsékleten) kívül valóban más tényezők is szerepet játszanak (nedvesség, aeroszol részecskék koncentrációja, stb.), ahogyan azt a Williams and Sători, 2004-es cikkben részletesen tárgyaljuk a Kongó-és Amazonas-medence villámaktivitásának összehasonlításakor, de a villámok szezonális észak-déli migrációjában a fő szerepet a hőmérséklet megváltozása játssza. A globális villámeloszlás súlypontja mindig a melegebb, nyári féltekék irányába mozdul el. A déli félteke nyarának meghosszabbodása, amit a napi frekvencia-menetek sajátos szezonális szekvenciájával (nem egyenlő hosszúságú évszakok) és független műholdas villámmegfigyeléssel, sőt whistler mérésekkel is igazoltam, szintén elsősorban hőmérsékletfüggő változás, a déli félteke karcsúbb szárazföldjeinek a nagy hőtehetetlenséggel bíró óceánokba történt beágyazottságával függ össze, a szárazföldekre koncentrálódó villámok észak felé történő migrációjában egy óceáni eredetű termális késleltetés következik be.

A 6.3. fejezet a féléves trópusi hőmérsékletváltozás és a villámaktivitás közötti kapcsolatot, többek között a trópusi régiókban mutatkozó különbséget is tárgyalja. A bíráló szerint „Az eltérés lehetséges okait megemlíti ugyan a szerző, de a bizonyítás nem igazán meggyőző.” A dolgozatomban minden fejezet végén adtam egy összefoglalást. Ezek az összefoglalások nagyon hasonlítanak a tézisekben megfogalmazott eredményekhez, de nem teljesen azonosak velük. A 6.3. fejezet végén szereplő összefoglalás három pontban tárgyalja az eredményeket: (a), b), c). Ezek közül az első kettő egyes szám első személyben íródott, s a megállapítások változtatás nélkül átkerültek a téziszüzetbe. A harmadik pont többes szám első személyben említi az idevágó eredményeket, s a fejezetben többször is hivatkozott Williams and Sători (2004) cikket idézi, nem került bele a téziszüzetbe. Ez a munka pontosan azokat az okokat tárja fel, amik megmagyarázzák az eltérő villámaktivitási tulajdonságokat az azonos féléves szoláris besugárzási kitétség ellenére a két nagy folyóval/folyammal rendelkező trópusi medencében: a Kongó- és Amazonas-medencében. Ezen munka címe: „Lightning, thermodynamic and hydrological comparison of the two tropical continental chimneys.” Bár a különféle adatbázisokból nyerhető, hőmérséklettől eltérő adatok feldolgozásában

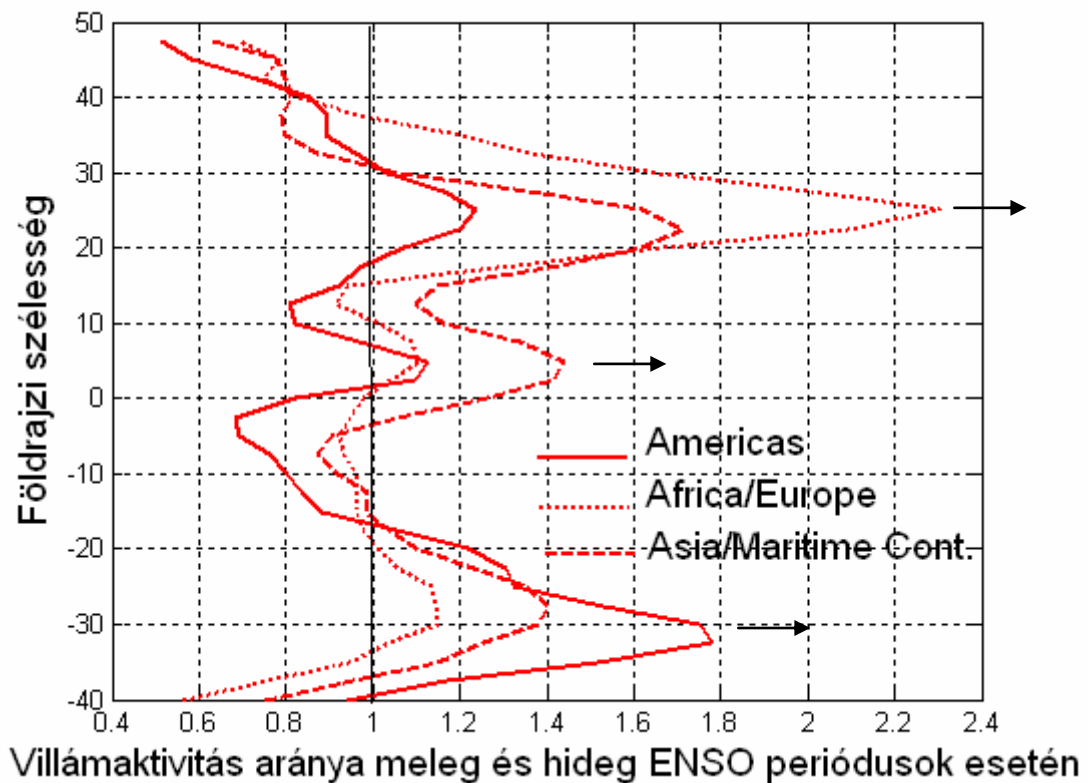
aktívan részt vettem, hogy a vizsgálatokba milyen egyéb paramétereket kell bevonni, az a társszerzőm, Earle Williams javaslatára történt. Ezért a dolgozatban valóban csak felsorolás szintjén (48. oldal) mutattam be ezeket az eredményeket, mert azokat elsősorban Earle Williams érdemének tartom. Ugyanakkor ebben a fejezetben hangsúlyt fektettem a Schumann-rezonancia amplitúdókból/intenzitásokból levont következtetéseimre, amelyek tulajdonképpen inicializálták a Williams and Sători (2004) közös munkát. A dolgozatban, a 48. oldalon ezt a következőképpen fogalmazom meg: „Az SR-intenziások szezonális változásában észlelt különbségek a féléves trópusi hőmérsékletváltozásra adott válaszban, Afrikában és Dél-Amerikában (Sători et al., 1999), motiválták azt a tanulmányt, amelyben összehasonlítottuk a két fő trópusi szárazföldi konvekciós régióit (Kongó-medence, Afrikában és az Amazon-medence Dél-Amerikában) a villámlás, az esőzés, a termodinamikai és hidrológiai, valamint az aeroszolok által befolyásolt felhők mikrofizikájának tulajdonságai alapján (Williams and Sători, 2004).

Egyetértek Geresdi Professzor megjegyzésével, hogy a hőmérsékleten kívül a levegő nedvességtartalma is fontos tényező a villámok keletkezésében. Ugyanakkor a dolgozatomban sem modellszámításban, sem egyéb módon nem vizsgáltam a nedves hőmérséklet és a villámok keletkezésének kapcsolatát, csupán a felszíni hőmérsékletben mutatkozó jellegzetes változásokat (féléves trópusi változás, féltekék szerinti éves változás, brazilai hőmérséklet-eloszlási térképek, globális felmelegedés) mutattam be a különböző fejezetekben, a Schumann-rezonancia paramétereiből levont következtetésekkel összefüggésben, összesen öt ábrán (6.3.1. fejezet 1. és 2. ábra; 6.4.1. fejezet 2. ábra; 9. fejezet 3. és 4. ábra). Ezek közül csupán a féléves változásra vonatkozóan volt irodalmi információ a nedves hőmérsékletre vonatkozóan a bíráló által is hivatkozott cikkben egy teljesen más időszakra, mint az általam Schumann-rezonanciákkal vizsgált években. Williams (1994) cikkének tanúsága szerint, ami a szárazhőmérsékletet is bemutatja, a nedves és száraz hőmérséklet azonos értelemben változik, csak a nedves hőmérséklet alacsonyabb értékeket mutat a levegő nedvességtartalmától (a párolgás mértékétől) függően. Itt most bemutatom Williams (1994) cikkéből hivatkozott ábrát (4. ábra felső része), kiegészítve azzal a szárazföldi állomásokra érvényes féléves trópusi felszíni száraz („dry bulb”) hőmérsékletváltozással (ciklámen-színű görbe), amelyet a 6.3.1. fejezet 2.b ábráján mutatok be arra az időszakra vonatkozóan, amikor az SR paramétereket vizsgáltam.



A fél éves trópusi hőmérsékletváltozás kb. 1-1.5°C és mindhárom görbén látható, a csak szárazföldre („land”) vonatkozó változás esetén közel azonos maximummal áprilisban és októberben. Az értékek a Williams-féle (teljes Földre vonatkozó) nedves és száraz hőmérsékletek közé esnek.

A 6.4.3 fejezet a Schumann-rezonancia mérések és az OTD/LIS műholdas villámmegfigyelések összehasonlító elemzésével foglalkozik az ENSO (El Niño Southern Oscillation)



Disszertáció 6.4.3. fejezetének 13.a ábrája

időskálán. A szöveggörnyezet alapján feltehetően Geresdi Professzor megjegyzése ezen fejezet 13.a ábrájához tartozik a 3.a ábra helyett. Az előző oldalon idézem ezt az ábrát.

Értelmezésemben itt nem „lokális zivatarok területi eloszlásában mutatkozó változásról”, hanem a világ zivatar-tevékenységének az ENSO időskálán bekövetkező globális értelemben vett talán legjellegzetesebb változásáról van szó. Ugyanis a három nagy trópusi zivatarregiót is tartalmazó három földrajzi hosszúsági intervallum, ahogyan azt Christian et al. (2003) nyomán definiáltam a dolgozat 44. oldalán, lefedi a teljes Földet a 40° déli és 50° északi szélesség között. Az említett három földrajzi hosszúsági intervallumban 2.5°-nyi szélességű zónákban összegeztem a villámaktivitást két meleg (El Niño) és két hideg (La Niña) évben (6.4.3. fejezet 3. ábra) majd ezek arányának a földrajzi szélességgel történő változását tekintettem, ahogyan az itt idézett ábra mutatja.. Így a ~25° és ~5° északi szélességnél, valamint a ~30° déli szélességnél mutatkozó maximumok globális érvényű, klimatológiai értelemben vett átlagos változásoknak tekinthetők (Sátori et al., 2009b). Az ~5° északi szélességnél adódó maximum a termális egyenlítő átlagos éves pozíciójának megfelelő szélességen mutatkozik, ami mindig kicsit északabbra van a földrajzi egyenlítőnél. A másik két maximumra való „rácsodálkozásomat” követően több meteorológus kollégának feltettem a kérdést, anélkül, hogy előzetesen feltártam volna a kérdésem okát, nevezetesen milyen kitüntetett helyek vannak a légkörben a ~25° északi és ~30° déli szélességnél. Kivétel nélkül azt a választ kaptam, hogy itt vannak a globális meridionális légkörczések kitüntetett helyei, nevezetesen itt váltja fel mindkét féltekén a Hadley-cella leszálló ágát a Ferrel-cirkuláció. Ezt a választ kaptam későbbi meteorológus szerzőtársamtól Earle Williamstól is (Sátori et al., 2009b). Geresdi Professzor bírálata nyomán utána néztem számos irodalmi forrásnak, s szinte kivétel nélkül Ferrel-cella elnevezéssel találkoztam. Az egy kivétel is közepes szélességi cellát említ, azaz használja a cella kifejezést. Azt viszont több forrás is említi, hogy tulajdonságai eltérnek a szomszédos cellák jellemzőitől. A Sátori et al.. (2009b) cikk lényeges megállapítása azonban az volt, hogy éppen ott, ahol Hadley-cirkuláció hideg és száraz levegőt juttat a felszín irányába, a szinoptikus skálán süllyedő hideg száraz levegő és az összefüggő felhőzet hiánya lehetővé teszi a rövidhullámú szoláris besugárzás felszínre jutását és fűtést, lokális értelemben feltételi instabilitások, izolált vertikális konvekciók alakulhatnak ki, ahogyan cikkünkben E. Williams fogalmaz (Sátori et al., 2009b). Elegendő felszíni nedvesség jelenlétében megnő a konvekció útján elérhető potenciális energia, amely előfeltétele a zivatarok, villámkiszülések kialakulásának. Az eredmények szerint meleg El Niño időszakokban gyakoribb ezen feltételek teljesülése a Hadley-cellák szinoptikus skálán süllyedő régióiban (Sátori et al., 2009b). Ez az eredmény, földrajzilag nagyon is távol eső helyeken az ENSO időszakok meleg El Niño periódusában tapasztalt megnövekedett

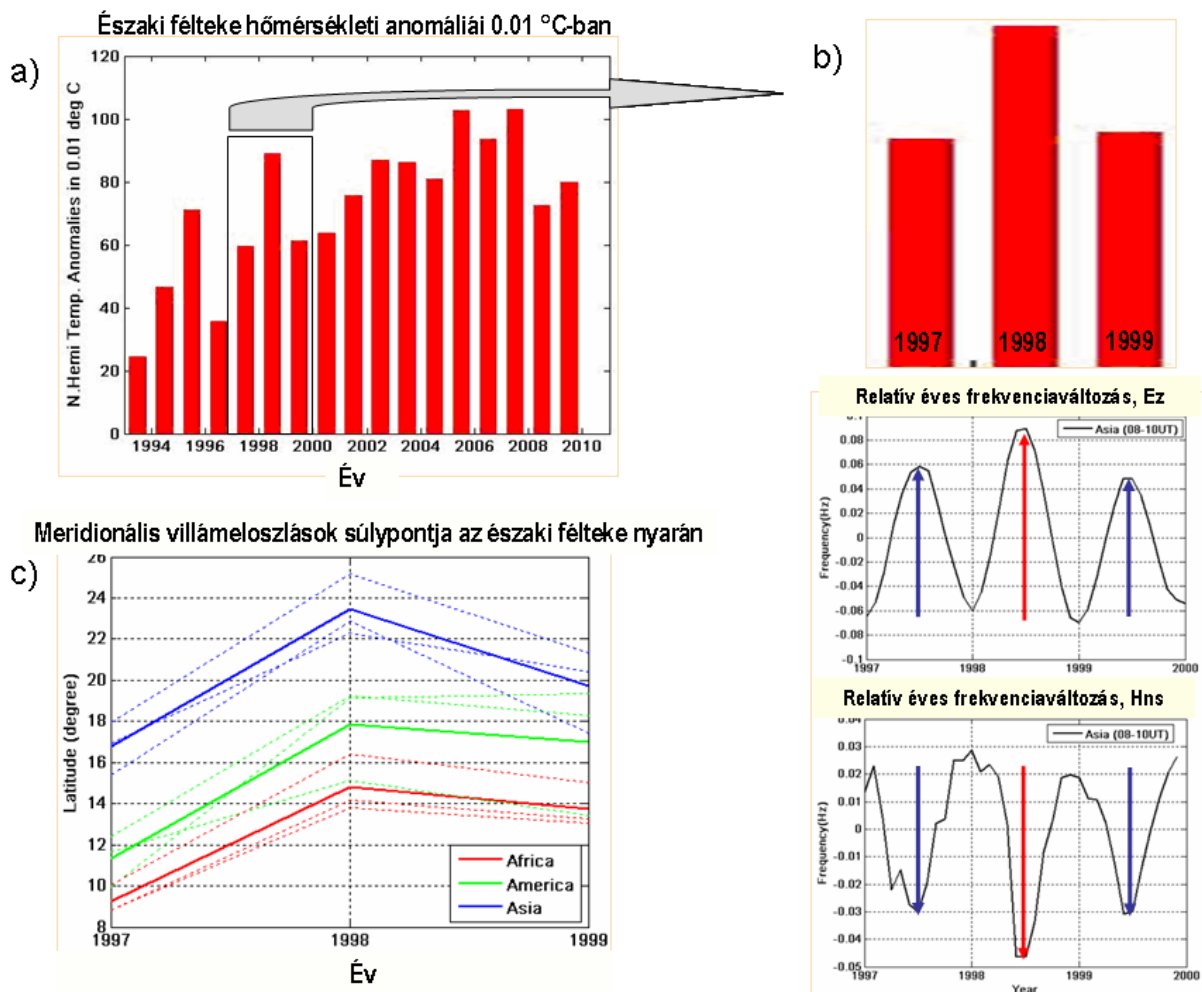
villámaktivitás számára egy közös rendező elvet mutatott fel. Ezeket a cikkeket hivatkoztam a dolgozatomban (Goodman et al., 2000; Hamid et al., 2001; Alpert et al., 2006; Yoshida et al., 2009).

A 8. fejezet címe: „Schumann-rezonancia, mint a globális zivatar-tevékenység területi modulációjának a jelzőrendszere a 11 éves napciklus folyamán”. A bírálathoz idézett mondat, miszerint „...40° szélességi körtől északra a napaktivitással kapcsolatos hatás dominál, míg ennél alacsonyabb szélességeken, a 40° É-i és 40° D-i szélességek által közrefogott területen a galaktikus kozmikus sugárzás.....”. Az idézett mondat további befejező része így hangzik: „...naptevékenységgel ellentétes fázisú hatása kaphat szerepet”. Tehát feltételezésről és nem állításról van szó. A korrelációs kapcsolatok felmutatása szerintem sem jelent automatikusan ok-oksági viszonyt. Arra a kérdésre, hogy „*Milyen fizikai magyarázatot tud erre adni a jelölt?*”, azt tudom válaszolni, hogy évtizedek óta sokan és sokféleképpen keressük a választ, de eltekintve néhány megfigyelésen alapuló eredménytől (nagy energiájú kozmikus sugárzás által triggerelt villámkisülés, Gurevich and Zybin, 2005), nincs kielégítő magyarázat. Az általam megfogalmazott tézis ennél sokkal szerényebb eredményre vonatkozik. Megállapítottam, hogy szélességfüggő területi moduláció mutatható ki a 11-éves napciklus folyamán, azaz a szélességtől függően a napaktivitással fázisban levő területi moduláció érvényesül a magasabb északi földrajzi szélességeken (szárazföld hiányában nincs megfelelője a déli féltekén), míg a trópusi/szubtrópusi régióban a területi moduláció ellenfázisban van a napaktivitással, azaz a változás a galaktikus kozmikus sugárzás szerepére utalhat. Az ellenfázisú korrelációk együttes jelenlétét gondolom a tézisben megfogalmazott eredménynek. Ez egy „rendező-elvet” jelenthet a szakirodalomban különböző régiókra és ezáltal különböző földrajzi szélességekre vonatkozó eredmények tekintetében, s így közelebb vihet a fizikai magyarázat megtalálásához is. Tudatosan gyűjteni kezdtem az ezzel a témával kapcsolatos cikkeket, abból a szempontból, hogy a kisebb földrajzi egységekre kapott 11-éves napciklussal összefüggő eredmények milyen földrajzi szélességekre vonatkoznak. Ebből egy csokrot a disszertációmban is szerepeltetek, rámutatva, hogy a kisebb régiókra vonatkozó, gyakran egymásnak ellentmondó eredmények, a földrajzi szélességet is figyelembe véve, rendszerbe állíthatók. A disszertációm benyújtása óta két további eredményre bukkantam, melyek szintén a földrajzi szélességtől való függést támasztják alá. Finnországban, tehát északi szélességen a felhők kondenzációs magjainak koncentrációjában mutattak ki a 11 éves naptevékenységi ciklussal fázisban levő változást, a cikk címében pedig hangsúlyozva, hogy nincs kapcsolat a galaktikus kozmikus sugárzással (Kulmala et al., 2010). Ugyanakkor Brazíliában, tehát a trópusi (szubtrópusi) régióban találtak a zivataros napok számában a 11-éves naptevékenységi ciklussal ellenfázisú, azaz a galaktikus kozmikus sugárzás szerepére

utaló változást (Pinto et al. 2013, JASTP, közlésre elfogadva). A dolgozatomban 8.5 ábra nem vállalkozik többre, csupán csak arra, hasonlóan a 8.2 ábra eredményéhez, hogy bemutassa a 11-éves napciklus során a területi modulációk egyidejű és ellenfázisú jelenlétét. A 8.5 ábrán az 5° szögtávolságnál nagyobb „forrás-átmérő” különbségek naptevékenységi maximumkor és minimumkor biztosan szignifikánsnak mondhatók, ha az 5.5 áran szereplő frekvencia szórás-értékeket és a 6.3.2. fejezet 2. ábráján levő kalibrációs görbéket tekintjük.

A 9. fejezet a globális felmelegedés és a Schumann-rezonancia frekvenciák közötti összefüggést tárgyalja. A bíráló megállapítása szerint, „ha az eltolódás a globális hőmérsékleti anomáliától függ, akkor a súlypontok helyzetének (9.6 ábra 1997-ben és 1999-ben meg kellene egyeznie, ugyanis ezekben az években a hőmérsékleti anomáliák megegyeztek (9.4 ábra)”. A következtetéseimet frekvenciaváltozásokból vontam le.

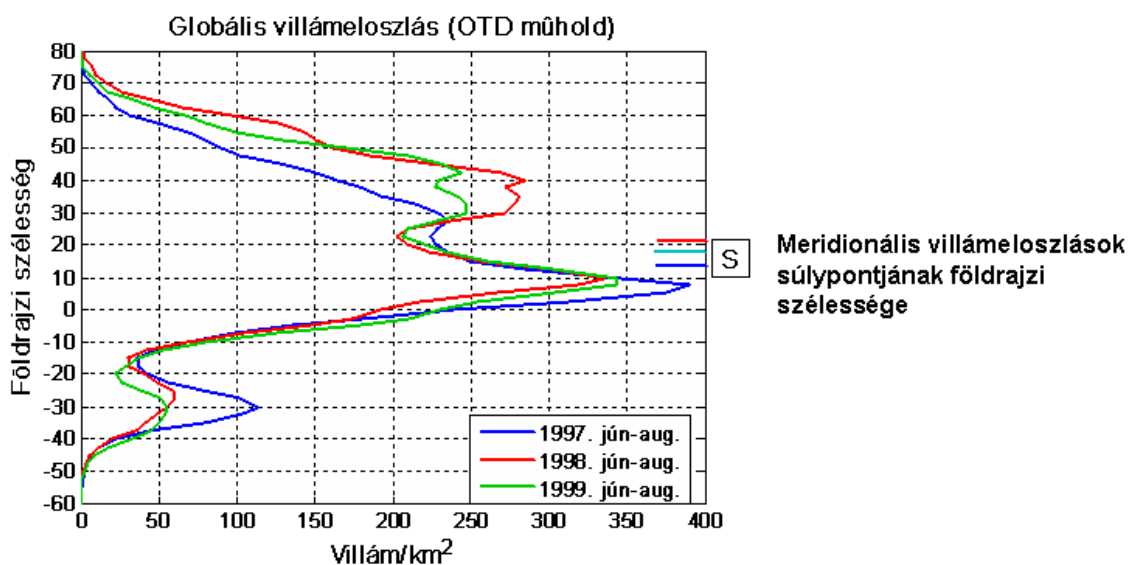
Az alábbi ábra a dolgozatban szereplő ábrákból egy összeállítás. Az a) ábra az északi félteke globális felmelegedést jelző hőmérsékleti anomália értékeket mutatja. Ezen időszakra az elektromos és mágneses térkomponens ellentétes előjelű változásából (a dolgozatban a 9.2 ábra) jutottam arra a következtetésre, hogy ezen időszak alatt a zivartevékenység súlypontja némileg északabbra tolódott.

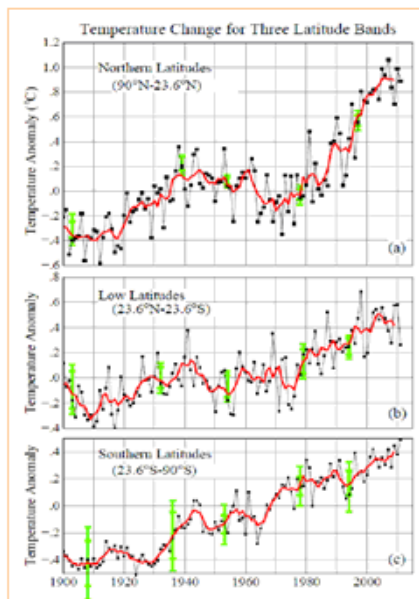


Szerettem volna ezt a dolgozatomban, ahogy több esetben is megtettem, független műholdas méréssel is igazolni. A 126. oldalon ezt írom: „Bár nagyon sok villám-megfigyelési módszer létezik, a teljes Földre vonatkozó, azonos megfigyelési eljárás alapján, homogén adatsor nincs 1993-tól napjainkig a globális villámaktivitás jellemzésére, hogy független megfigyelés alapján ellenőrizzük a frekvenciaváltozásból levont következtetést. A LIS műhold ugyan 1998 óta folyamatosan szolgáltat adatokat, de szélességben behatárolt területről ($\pm 40^\circ$).”

Ez egyértelműen jelzi, hogy nem (nemcsak) a trópusokon/alacsony szélességi övezetben kerestem az északabbra tolódás okát. Ekkor fordult a figyelmem az 1998. évi, a szomszédos évekhez képes kiugró hőmérsékleti anomália felé, ugyanis ezekben az években a teljes Földre vonatkozó műholdas (OTD) villám-megfigyelési adatok rendelkezésre álltak. Látható a fenti b) ábra alsó részén, ahogyan a dolgozat 126. oldalán is írom: a „...11 éves naptevékenységi ciklussal összefüggő frekvenciaváltozás eltávolítása után”, 1997-ben és 1999-ben is az elektromos és mágneses térkomponens ellentétes előjelű éves frekvenciaváltozásának a nagysága megegyezik, szinte leképezve a felette bemutatott hőmérsékletváltozások jellegét. A c) ábrán a műholdas mérésekből nyert súlypontok földrajzi szélessége látható. 1998-ban volt a súlypont legészakabbra, egyezően a frekvenciamérésből levont következtetéssel. A súlypontok földrajzi szélessége 1997-ben és 1999-ben nem feltétlenül kell, hogy megegyezzen (1999-ben a súlypontok 3° - 5° -nyi szélességgel volt északabbra 1997-es értékeknél, de mindkét évben délebbre az 1998-as pozícióhoz képest). Éppen a súlypontok földrajzi pozíciójának hosszabb időszakra vonatkozó változása ismeretlen a további műholdas adatsor hiányában, azaz a frekvenciával ellentétben, itt nem lehetett egy hosszabb időszakra jellemző változást (trendet) eltávolítani az adatsorból.

A 6.4.3. fejezet 11. ábrája jól mutatja, hogy a globális zivatareloszlás súlypontja mindig a trópusokra esik. Az itt bemutatott új ábra, amely az OTD műhold által megfigyelt zivatarok meridionális eloszlását mutatja 1997-ben, 1998-ban és 1999-ben.





→ Északi szélességek (90°N - 23.6 °N)

→ Trópusi övezet (23.6 °N - 23.6 °S)

→ Déli szélességek (23.6 °S - 90°S)

Hőmérsékletváltozás három szélességi sávban 1900 - 2010 (NASA ; GISS)

Látható, hogy a súlypont ismét a trópusok térségében van, de a súlypont északabbra tolódását a magasabb északi földrajzi szélességeken tapasztalható (30° felett) megnövekedett villámaktivitás idézi elő, ahol a globális felmelegedés mértéke (fenti ábra) a legnagyobb, ahogyan a GISS mérések mutatják.

A globális zivatartevékenység területi változásának a 11-éves napciklussal történő, szélességfüggő modulációja és a globális felmelegedéssel kapcsolatos eredmény megjelent a *Surveys in Geophysics* c. folyóirat összefoglaló cikkében (Sátori et al., 2013).

Még egyszer megköszönöm Geresdi István opponens bírálatát, klimatológiai vonatkozású kritikai észrevételeit és eredményeim értékelését.

Sopron, 2013. március 11.

Sátori Gabriella

Sátori Gabriella

Irodalom

Gurevich AV, Zybin KP (2005) Runaway Breakdown and the Mysteries of Lightning, *Physics Today*, May, pp. 37-43.

Kulmala et al. (2010) Atmospheric data over a solar cycle: no connection between galactic cosmic rays and new particle formation. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 1885-1898.

Pinto et al. (2013) The relationship between the thunderstorm and solary activity for Brazil from 1951 to 2009. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, accepted for publication

Sátori et al. (2013) An Overview of Thunderstorm-related Research on the Atmospheric Electric Field, Schumann Resonances, Sprites and the Ionosphere at Sopron, Hungary

Surveys in Geophysics, DOI 10.1007/s10712-013-9222-6