

## Opponensi vélemény

Sátori Gabriella

### Schumann-rezonancia, mint globális változások jelzőrendszere c. MTA doktori értekezésről

A zivatarfelhők sok szempontból fontos szerepet játszanak időjárásunk és a Föld éghajlatának alakításában. A bennük lejátszódó dinamikai és mikrofizikai folyamatok befolyásolják az általános légköri cirkulációt azáltal, hogy jelentős mennyiségű vízgőzt juttatnak a troposzféra felső régióiba, valamint azáltal, hogy a felhőképződés során felszabaduló látens hő melegíti a troposzférát. A nemzetközi és hazai kutatások általában azt vizsgálják, hogy a légköri lokális, vagy globális jellemzői, hogyan befolyásolják a zivatarok kialakulásának gyakoriságát és intenzitását. A jelölt újszerű megközelítést javasolt: a zivatarokhoz kapcsolódó villámok jellemzőiből kísérelt meg következtetni a légkör állapotára.

A dolgozat tartalmilag két nagyobb részre bontható. A Bevezetésben és az első öt fejezetben a jelölt elméleti áttekintést ad Schumann rezonancia jelenségről, valamint ismerteti az alkalmazott mérési eljárást és a mérési adatok kiértékelésére használt matematikai módszert. Az áttekintés és a módszerek ismertetése korrekt, lehetővé teszi a kutatási területen nem jártas olvasónak is a módszer megértését. Ami miatt némi hiányérzetem van, az a kutatás tárgyát képező zivatarok, illetve villámok kialakulására vonatkozó elméleti összefoglaló hiánya. Úgy gondolom nem ártott volna némi kitékintés erre a területre is.

A dolgozat 6 – 9 fejezetei tartalmazzák a tézisek részletes kifejtését. A 6.1 fejezetben a jelölt a frekvencia modulusok napi és évszakos eloszlását vizsgálja. Igazolja, hogy az egyes modulusoknak napi menete van, és azt, hogy a napi menetre vonatkozó jellemzők évszakos változékonyságot mutatnak. A fejezethez kapcsolódóan egy megjegyzésem és egy kérdésem lenne. A villámok gyakorisága nem feltétlenül egyezik meg az zivatarok gyakoriságával. A zivatarok intenzitása és élettartama is befolyásolja, hogy milyen számban alakulnak ki bennük villámok. Emiatt javaslom, hogy a zivatarok és a villámok szinonimaként történő használatával óvatosan bánjon a jelölt. A kérdésem a 6.1.4. ábrához kapcsolódik. *Mi lehet a magyarázata annak, hogy míg az első két modulus közel állandónak tekinthető a kétéves megfigyelési periódusban, addig ugyan ez nem mondható el a harmadik modulus esetében?*

A 6.2 fejezet a globális villámlás meridionális eloszlásának évi menetével kapcsolatos eredményeket tartalmazza. A jelölt megfigyelési adatokkal igazolja, hogy a villámlások gyakorisága eltérő a két féltekén, és az időbeli változás nem követi a klasszikus évszakos beosztást. A két félteke közötti eltérő viselkedést az óceánok eltérő arányára visszavezethető „termális vezérléssel” magyarázza. Úgy gondolom, hogy emellett más fontos tényezőt is meg lehetne említeni. A zivatarok és a villámok kialakulásában szerepet játszó egyéb környezeti tényezőkről (nedvesség, aeroszol részecskék koncentrációja, stb.) a jelölt is ír a 6.3.1. fejezetben.

A 6.3. fejezetben a trópusokon megfigyelhető, féléves periódussal bekövetkező hőmérsékletváltozás és a villámlások gyakorisága közötti kapcsolatot tárgyalja a jelölt. Kimutatta, hogy a villámok gyakoriságának szezonális változása eltérő a különböző trópusi régiókban, továbbá hogy az éves periódus mellett létezik egy féléves periódussal rendelkező változás. Az eltérés lehetséges okait megemlíti ugyan a szerző, de a bizonyítás nem igazán meggyőző. Természetesen elismerem, hogy a bizonyítás részletes tárgyalása mind témáját mind a tartalmát tekintve túl mutat a dolgozat keretein. Egy dologra azonban mindenképpen szeretném felhívni a figyelmet. A pályázó a dolgozatban szinte mindenhol csak a hőmérséklet változásának hatásáról beszél. Holott – mind az a kutatást inicializáló Williams-féle cikkben is olvasható – az ún. nedves hőmérséklet (a levegő nedvesség tartalmát is figyelembe vevő mennyiség) sokkal jobban jellemzi a zivatarok kialakulását befolyásoló légköri állapotot, mint a hőmérséklet.

A 6.4 fejezetben tárgyalt témát tartom meteorológia szempontból a legérdekesebbnek. Az ENSO jelenség kapcsán számos, fontos nyitott kérdés vár még napjainkban is megválaszolásra. Noha a klíma modellek fejlődésének köszönhetően sokkal pontosabban tudjuk előre jelezni az El Nino – La Nina váltást, de még ma sem igazán ismerjük, hogy az El Nino és a La Nina hatása milyen mértékben terjed ki a földrajzilag távoli helyekre. A villámlások gyakoriságában megmutatkozó változékonyság egyik indikátora lehet ennek a hatásnak. Az El Nino – La Nina időszakokhoz köthető gyakoriság arányokat tekintve három zonális maximumot azonosított a jelölt (6.4.3a ábra). A maximumok földrajzi elhelyezkedését a lokális zivatarok területi eloszlásában mutatkozó változással indokolja. Én úgy gondolom, hogy a lehetséges magyarázat ennél jóval összetettebb. Érdeemes lenne megvizsgálni, hogy például a trópusi ciklonokban található zivatarok milyen gyakorisággal generálnak villámokat. Ugyanis számos tanulmány létezik, ami a trópusi ciklonok

gyakoriságát vizsgálja az El Nino és a La Nina időszakokban. A globális áramlások sematikus ábrázolását hibásnak tartom a 6.4.3 13b ábrán. A hőmérsékleti egyenlítő éves mozgásának megfelelően a Hadly-cellák felszálló ága jelentősen elmozdul mind az északi, mind a déli irányba. Ez az elmozdulás a szárazföldek felett akár  $20 - 25^\circ$  is lehet. A 6.4.3 13b ábrát illetően lenne egy pontosítási javaslatom is. Tudom, hogy még napjainkban is sok helyen lehet találkozni a Ferrel cella elnevezéssel, de a XX. sz. elején megalkotott, és napjainkban is elfogadott polárfrent elmélet alapján ilyen cella nincsen.

A 7 fejezetben a Föld-ionoszféra üregrezonátornak a nappali és az éjszakai oldalon megfigyelhető eltérő kiterjedéséből származó aszimmetria hatásait elemzi a jelölt. Ezt a fejezetet, illetve az itt közölt eredményeket mérés-módszertani szempontból tartom fontosnak. Emiatt talán indokolt lett volna ezzel kezdeni az eredmények bemutatását. Meglátásom szerint az ebben a fejezetben közölt eredmények azért fontosak, mert a jelölt igazolta, hogy az aszimmetriának tulajdonítható 'zaj' megkülönböztethető a forrásintenzitás változás, illetve a forrás-észlelő távolság változás miatt fellépő intenzitásváltozástól.

A 8. fejezetben naptevékenységnek a globális zivatar-tevékenységre gyakorolt hatását tárgyalja a jelölt. Az ebben a fejezetben leírtakat tekintve a jelölt megkísérel kapcsolatot találni a napfolttevékenység és a villámok (zivatarok) gyakorisága között. Teljesen egyetérték a jelölt azon megállapításával miszerint: „A szakirodalomban számos, egymásnak ellentmondó eredmény látott napvilágot a naptevékenység és a zivatarok közötti kapcsolat vonatkozásában.” Ezen túl menően azt is kijelenthetjük, hogy mind máig nem létezik olyan, független mérésekkel és fizikai modellszámításokkal igazolt elmélet, ami alátámasztaná a különböző koncepcionális modelleket. A jelölt mérési eredményeit a következő hipotézisre építve értelmezi: „...  $40^\circ$  szélességi körtől északra a napaktivitással kapcsolatos hatás dominál, míg ennél alacsonyabb szélességeken, a  $40^\circ$  É-i és  $40^\circ$  D-i szélességek által közrefogott területen a galaktikus kozmikus sugárzás...” *Milyen fizikai magyarázatot tud erre adni a jelölt?* A dolgozatban bemutatott 8.5 ábra véleményem szerint nem bizonyítja azt feltételezést miszerint a naptevékenységnek vagy a galaktikus kozmikus sugárzásnak hatása lenne a zivatarok kialakulására. Nem tudom, hogy mekkora lehet a mérés hibája, de erős a gyanúm, hogy a megrajzolt görbék helyett egy – egy egyenessel is meg lehetne adni a forrás-átmérők változását.

A 9. fejezetben a globális felmelegedés és a Schumann rezonancia frekvencia közötti összefüggéssel kapcsolatos eredményeit tárgyalja a jelölt. Azt a megállapítást miszerint a globális zivatar-tevékenység súlypontja némileg északabbra tolódik, el tudom fogadni, de az okokat illetően már nem értek egyet a jelölttel. (i) 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). (ii) A hőmérsékleti anomália földrajzi eloszlása nem egyenletes. A átlaghőmérséklet változás nem csak a két féltekén eltérő. Például a mérsékletövi és a sarki régiókban jóval nagyobb a felmelegedés mértéke, mint a trópusi régióban. Így véleményem szerint a vizsgált években a jelölt által feltételezettnél jóval kisebb lehetett a „termális hatás” a trópusi régióban.

A jelölt által felállított kilenc tézis közül az első hetet elfogadom. A nyolcadik és kilencedik tézist viszont nem találtam igazoltnak, így azokat nem fogadom el.

**A doktori munka eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéshez, a nyilvános védés kitűzését javaslom.**

Pécs, 2013. 01. 28.

dr Geresdi István

MTA doktora