

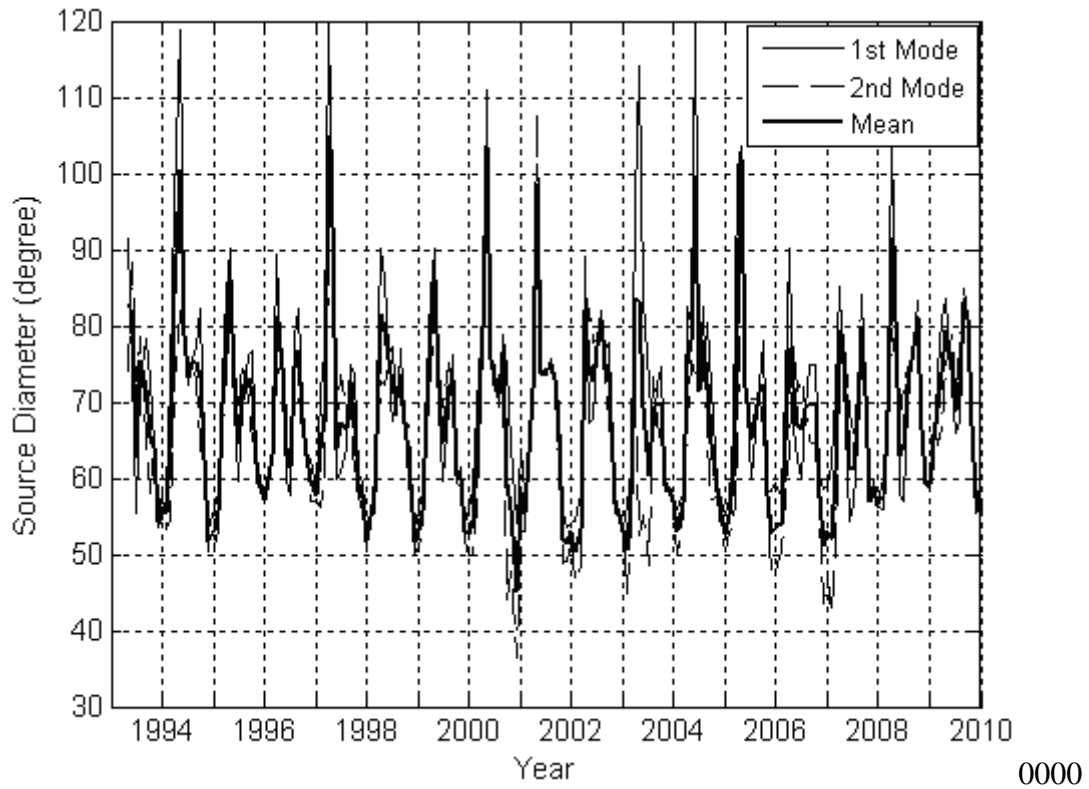
A K 72474. sz. OTKA kutatási téma zárójelentése

A K 72474. sz. OTKA kutatási program során elért eredmények elsősorban az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete, illetve 2012. január 1-től az MTA Csillagászat és Földtudományi Kutatóközpont Széchenyi István Geofizikai Observatóriumában 1993 óta folyó Schumann-rezonancia (SR) méréseken, valamint a zivatarok felett bekövetkező magasléggöri elektro-optikai emissziók (TLE - Transient Luminous Event) hazai és nemzetközi mérési kampányokban végzett megfigyelésén alapszik. Az egész kutatásra jellemző volt a sokoldalú és sokrétű nemzetközi együttműködés, amit a publikációk is jeleznek.

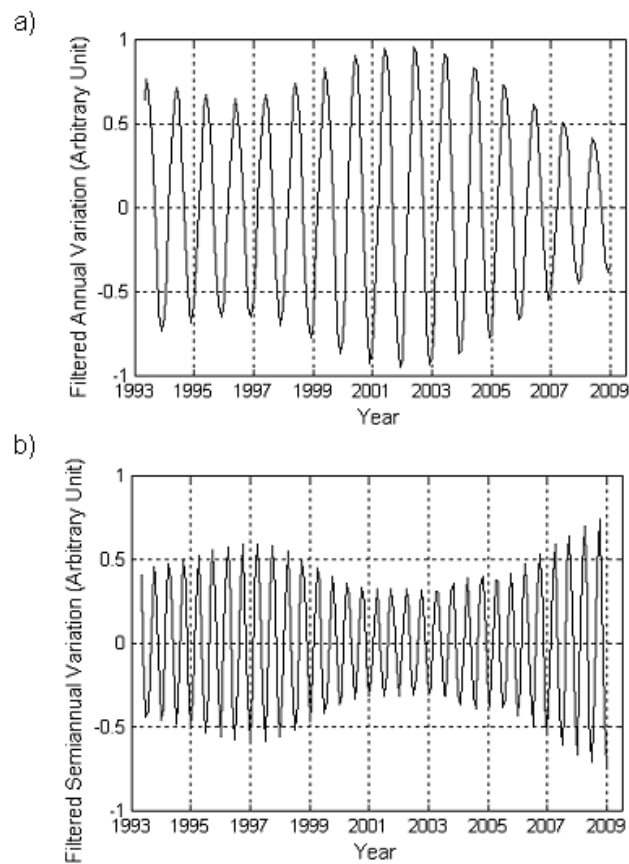
A földi elektromágnesség nagy családjába tartozik a globális légköri elektromosság, amelynek fő forrása a világ zivatarvekenysége. A villámok ELF (Extremely Low Frequency: 3Hz-3kHz) sávba eső sugárzásának a zöme a Föld felszíne és az alsó-ionoszféra (D-tartomány) által határolt térrész, a Föld-ionoszféra hullámvezető csapdjába esik. A fent említett légköri tartomány elektromágneses üregrezonátorként viselkedik a villámkisülések elektromágneses sugárzásának a Föld kerületével összehasonlítható hullámhosszúságú tartományában. Ezt a jelenséget hívják Schumann-rezonanciáknak. Elegendően nagyenergiájú villámkisülések egyedül is képesek gerjeszteni a földi üregrezonátort. A keletkezett elektromágneses impulzusok (SR-tranziens) koherens jelekként jelennek meg az elektromos és mágneses térkomponensekben, szuperponálódva a háttér vagy folyamatos (nem-koherens) SR változásokra. E földi méretű elektromágneses rezonanciajelenség alkalmas a gerjesztő forrás, azaz a világ zivatarvekenységének a monitorozására, a Föld-ionoszféra üregrezonátort érő extraterresztrikus hatások vizsgálatára, ELF hullámok tulajdonságainak a tanulmányozására, energetikus villámok jellemzőinek (hely, polarizáció, árammomentum, töltésmomentum) a meghatározására. Ez utóbbi lehetőség a TLE-k szempontjából is fontos, ugyanis azok mindig nagy energiájú villámokhoz társulnak. Az energetikus villámok gyakoriságában bekövetkező változásokra pedig következtetni lehet a globális zivatarvekenység térbeli és időbeli változásából.

Ezen alapismeretekre és mérési adatokra építve a következő eredményeket tudjuk felsorakoztatni:

A nagyeceni, közel két évtizednyi folyamatos vagy más néven „háttér” Schumann-rezonancia adatsorból a globális zivatarvekenység számos eddig fel nem tárt tulajdonságát sikerült azonosítani. Az úridőjárás és földi időjárás közötti sokat vitatott kapcsolat feltárásához járulnak hozzá a következő eredmények. A Schumann-rezonancia frekvenciák napi ingadozásának a mértékére jellemző: $f_{\max}-f_{\min}$ értékekből levezettük a globális zivatarvekenység területi („forrás-átmérő”) változásait. Kimutattuk, hogy 90%-ban a szárazföldekhez köthető globális zivatarvekenység éves (oka: szárazföldek túlsúlya az északi féltekén) és féléves (oka: féléves trópusi hőmérsékletváltozás + termális instabilitás) területi változásának idősora napciklussal összefüggő modulációt mutat. Az éves területi változás modulációjának a mértéke nő a növekvő naptevékenységgel, míg a féléves területi változás modulációja a galaktikus kozmikus sugárzás fluxusának ellenkező értelmű változását tükrözi a napciklus során (Sátori, 2011). Megállapítottuk, hogy a villámaktivitás a 11-éves napciklusra szélességfüggő területi választ ad: $\sim 40^\circ\text{É}$ -i szélességnél magasabb szélességeken (északi félteke) a zivataros területek mérete nő a fokozódó naptevékenységgel, míg a $\sim 40^\circ\text{É}$ -i és 40°D -i szélesség között, ahol a féléves területi változás keletkezik, a zivataros területek nagysága a galaktikus kozmikus sugárzás változását tükrözi. A kapott eredmény feloldást jelenthet a szakirodalomban található számos ellentmondó eredményre, amelyek némelyike a naptevékenység, mások a galaktikus kozmikus sugárzás változása és a villámaktivitás közötti pozitív korrelációról számoltak be vagy nem tapasztaltak napciklussal összefüggő változást.

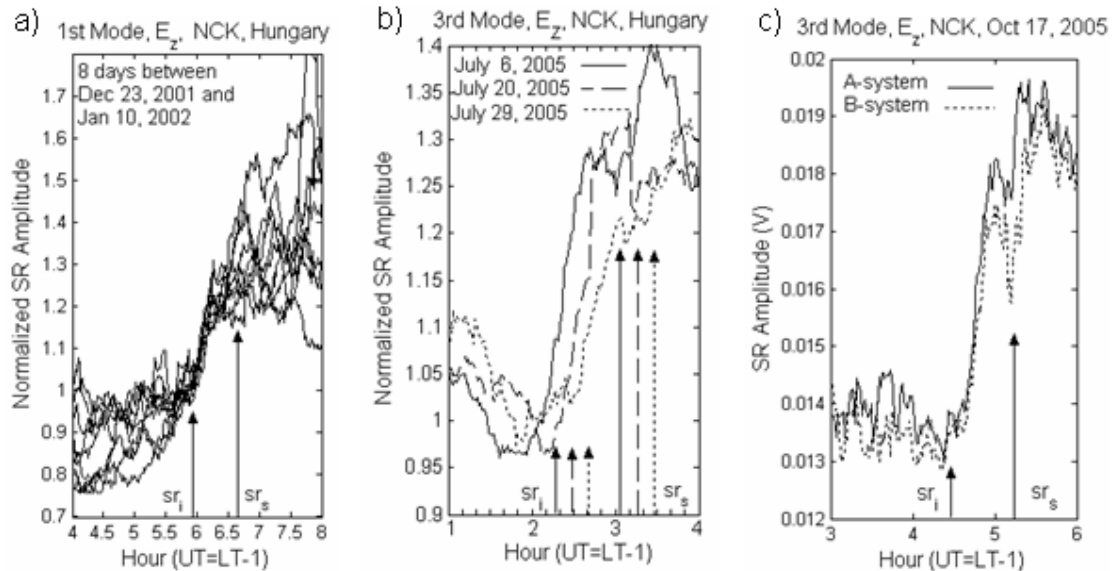


1. ábra DFR ($f_{\max}-f_{\min}$)-ből levezetett zivatarforrás-átmérők változása 1993 és 2010 között az E_z térkomponens első két módusának frekvenciaértékei alapján, Nagycenken.



2. ábra A zivatarforrás-átmérők szűrt a) éves és b) féléves hullámai amplitúdójának időbeli változása.

Sokoldalúan igazoltuk, hogy a Föld-ionoszféra hullámvezető nappali/éjszakai aszimmetriája, amely eltérő hullámvezető magasságot és vezetőképességet jelent, kimutatható mértékű, frekvenciafüggő (módus-szám) SR amplitúdó/intenzitás változást okoz és megkülönböztethető a forrás-észlelő távolság vagy a forrásintenzitás változásából eredő amplitúdó/intenzitás változásoktól (Sátori et al., 2009a).



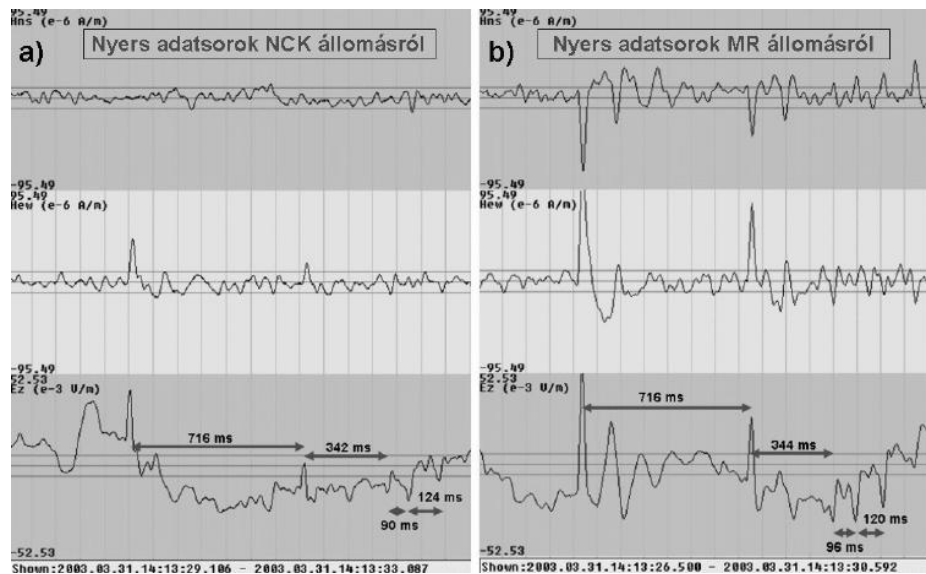
3. ábra A vertikális elektromos tér amplitúdójának változása napfelkeltekor a) azonos napfelkelte időpontokban, b) amikor világidőben minimuma van a globális zivartevékenységeknek, c) két párhuzamosan futó mérőrendszer esetén részben átfedett időablakkal (Sátori, 2011)

A 3.a ábra mutatja a vertikális elektromos térkomponens amplitúdójának változását napfelkelte körüli órákban az első rezonancia-módusra. Látható, hogy az ionoszférikus napfelkeltekor (normalizálás időpontja) egymással szinkronban következik be a hirtelen, kb. 10-15%-ra becsülhető amplitúdó-növekedés, míg az ionoszférikus napfelkeltét megelőzően és a felszíni napfelkeltét követően véletlenszerű, zajos amplitúdó változások láthatók. Az is látható, hogy az ionoszférikus eredetű ugrásszerű amplitúdó növekedés után az értékek nem térnek vissza egyetlen esetben sem az ionoszférikus napfelkeltét megelőző szintre. Fontos megjegyezni azt is, hogy ez a viszonylag kicsiny ionoszférikus eredetű amplitúdó növekedés beépül a nappali értékekbe, s ha SR-intenzitásról (négyzetes amplitúdó) beszélünk, akkor ez a változás akár 20-30%-os változást is jelenthet, ami már nem hanyagolható el a tényleges forrásintenzitásból (zivartevékenységből) eredő változásokhoz képest.

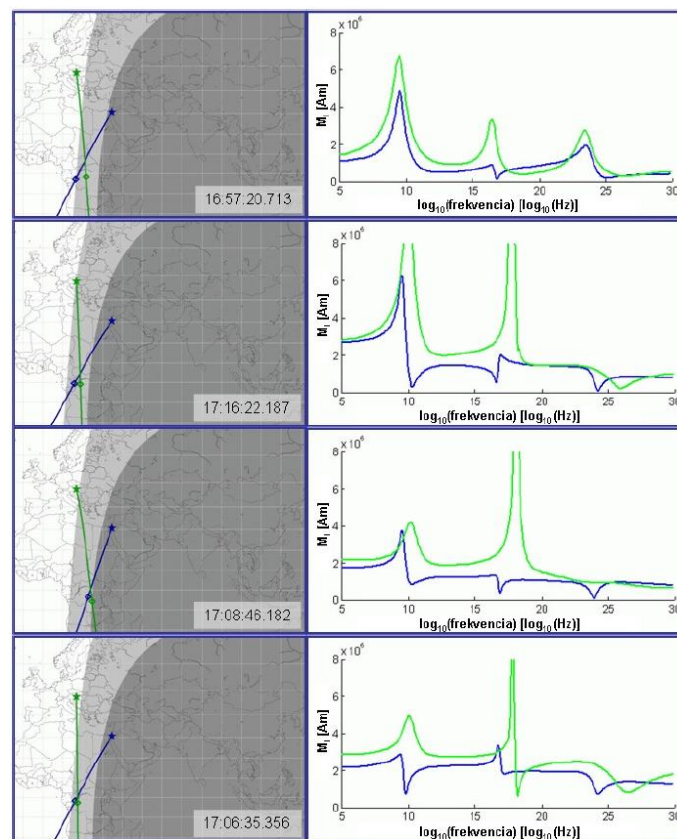
A 3.b ábrán kiválasztott három júliusi napon tapasztalt szintén „óramű” pontossággal bekövetkező hirtelen amplitúdó növekedés bemutatásán túl azt érzékelttük, hogy ez az elugrás akkor következik be, amikor a világ zivartevékenységeinek minimuma van világidőben (02-03 UT), tehát nem beszélhetünk egyetlen forrásrégió aktivizálódásáról sem ezekben az órákban.

A 3.c ábrán bemutatott eredménynek a jelentőség abban van, hogy két párhuzamosan működő SR-adatgyűjtő eredményét mutatja be azonos napfelkelte órákban. A két számítógép eltérő számú időablakot tud feldolgozni óránként. Ez azt jelenti, hogy a 40 másodperces időablakok véletlenszerűen fedik át egymást. Ennek a következménye, hogy az amplitúdó-változások finom részleteiben van különbség az ionoszférikus napfelkelte előtti és a felszíni napfelkelte körüli/utáni órákban (ezen az időskálán már mondhatjuk, hogy nem a zivatarok, hanem a villámok, azaz a gerjesztés helyének véletlen volta következtében), de az ionoszférikus napfelkeltét követő hirtelen amplitúdó növekedés ismét „óramű” pontossággal szinkronban van egymással, jelezve a változás ionoszférikus eredetét.

Ugyancsak vizsgáltuk az üregrezonátor nappali-éjszakai aszimmetriájának a hatását azonos villám keltette, közös SR-tranziensek0 vizsgálatával Nagycenk és Mitzpe Ramon (Izrael) állomáson. A számított árammomentum-spektrum értékei a két állomáson eltérőek, azaz érvényesül a nappali-éjszakai aszimmetria torzító hatása (Bór, 2011).



4. ábra Közös SR-tranziensek megfigyelése a) Nagycenken, b) Mitzpe Ramonban, Izraelben

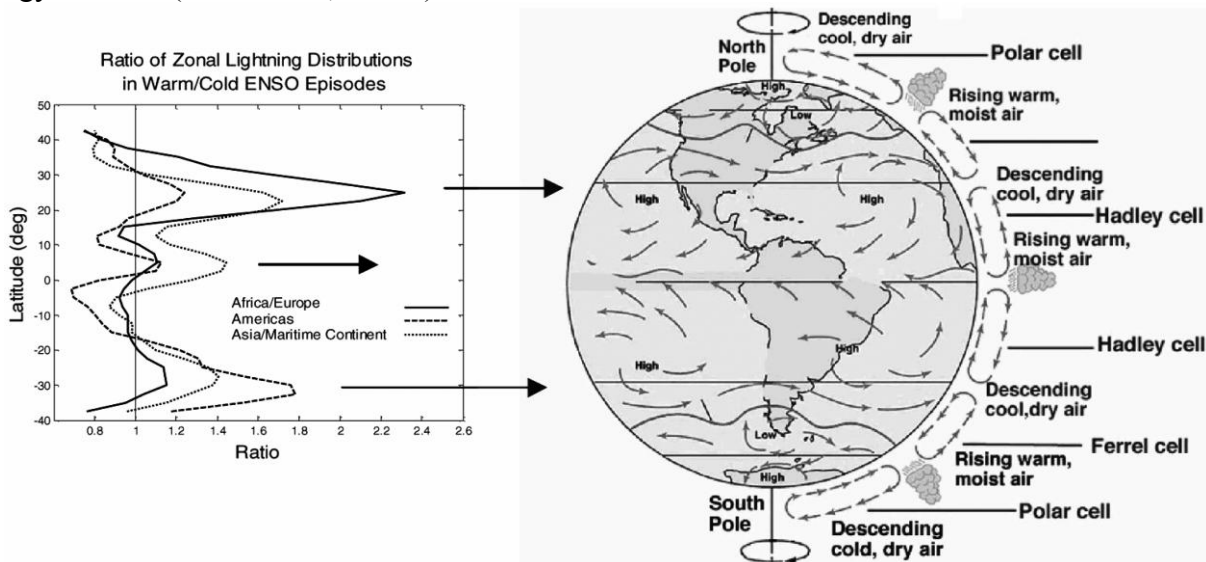


00

5. ábra Afrikai energetikus villám lokalizációja háromszögeléssel Nagycenken (zöld) és Mitzpe Ramonban (kék) regisztrált közös SR-tranziensekből. A fehér területek az ionoszférikus nappali és a sötétszürke rész az ionoszférikus éjszakai oldalt jelöli (bal oldal). A számított árammomentum-spektrumok értékei a két állomáson (jobb oldal)

Olyan alacsony jósági tényezőjű (~ 4-6) üregrezonátorban, mint a Föld-ionoszféra üregrezonátor, a frekvencia függ a forrásnak (zivatarregió) az észlelőhöz viszonyított szögtávolságától a terjedési főkör mentén, a szomszédos rezonancia-módusok kölcsönhatása következtében. A háttér Schumann-rezonancia frekvenciáknak a „forrás-észlelő” távolságtól függő változását vizsgáltuk az éves időskálán nemzetközi együttműködés keretében. Ez egyrészt a három nagy trópusi zivatarregiónak a nagycentri SR megfigyelőhelytől a terjedési főkörön vett szögtávolsága változásának a vizsgálatát jelentette SR frekvenciák analízisével, valamint a mért frekvenciaértékek összehasonlítását modell-számítások eredményeivel. OTD/LIS műholdas villámfigyelésekből meghatároztuk a három trópusi zivatarregiót is magába foglaló hosszúsági tartományban a zivatarelосzlások (források) súlypontjának a földrajzi koordinátáit az év hónapjaiban. A legnagyobb frekvenciaváltozás akkor tapasztalható, amikor egy forrás áthalad egy adott rezonancia-módusra jellemző csomóvonalon, ahogyan azt az észlelések és vele összhangban a modell-számítások is jelzik.

Az ENSO időskálán (~2-5 év) is születtek új eredmények ezen pályázat keretében. Két meleg, El Niño és két hideg, La Niña időszakban mért SR intenzitásváltozás értelmezéséből kiindulva, a globális villámaktivitás OTD/LIS műholdas mérésének széleskörű analízisével független bizonyítékát adtuk a globális villámaktivitás meridionális átrendeződésére az ENSO időskálán. Alátámasztottuk azt az SR mérések alapján tett megállapítást, hogy a Csendes-óceán (óceáni) térségben éppen a hideg, La Niña periódusokban gyakoribbak a villámok, ellentétben a szárazföldek zivatartevékenységevel, ahol a villámaktivitás (régióktól függően) növekvő tendenciát mutat a meleg, El Niño időszakokban (Sători et al., 2009b). OTD/LIS műholdas mérések analízisével az ENSO időskálán globális érvényű összefüggést tártunk fel a villámaktivitás változása és a nagy meridionális (Hadley-cirkuláció) és zonális (Walker-cirkuláció) légkörzések szinoptikus skálán süllyedő régióiban. A Walker-cirkuláció ENSO időskálán történő zonális áthelyeződése arra is magyarázatot ad, hogy miért a hideg, La Niña fázisban van több villám a Csendes-óceán térségében. Ugyancsak összefüggést találtunk a globális villámaktivitás változásában hideg/meleg ENSO periódusokban a termális egyenlítőnél (Sători et al., 2009b).



4. ábra a) A villámaktivitás El Niño/La Niña időszakra vett arányainak meridionális eloszlása a szélesség függvényében a három nagy trópusi régiót is tartalmazó földrajzi hosszúsági intervallumban. b) A globális, meridionális légköri cirkulációk (Hadley-, Ferrel-, Poláris-cirkuláció) sematikus ábrázolása a hideg, száraz levegőt szállító süllyedő és meleg, nedves levegőt szállító emelkedő régiók jelölésével.

A frekvenciaváltozások szimulációja a két-dimenziós telegráf egyenlet megoldásán alapszik, amely a vertikális elektromos és horizontális mágneses (észak-déli, kelet-nyugati)

térkomponensek spektrális paramétereinek a kiszámítására irányult számos forrás-észlelő geometria feltételezésével. Megállapítottuk hogy az éves frekvenciaváltozás mértékét a vertikális elektromos térkomponens első rezonancia-módusa esetén elsősorban az Ázsia /Ausztrália térségében lejátszódó zivatargócok Nagycenkhez viszonyított helyzete határozza meg. A mágneses térkomponens frekvenciaváltozása ellenfázisban van az elektromos tér frekvenciaváltozásával az éves időskálán. Az észak-déli mágneses tér-komponens frekvenciája Ázsia/Ausztrália ill. Amerika zivatarainak a pozíciójára érzékeny, a kelet-nyugati mágneses térkomponens frekvenciája pedig az afrikai források súlypontjának éves meridionális átrendeződését jelzi. A frekvencia távolságfüggő éves változásának a mértéke évről-évre változhat, amely a zivatartevékenység hőmérsékletfüggő (klimatikus) átrendeződését jelzi, ahogyan azt az 1998 nyarán, az északi féltekén tapasztalt hőmérsékleti anomália kapcsán kimutattuk.

Egy korábbi eredményként az SR-frekvenciák 11-éves napciklus során bekövetkező változását a kemény röntgensugárzás fluxusának több, mint két nagyságrenddel történő változásával hoztuk összefüggésbe. Ez frekvencia-minimumban nyilvánult meg a naptevékenységi minimumnál és frekvencia-maximumban a naptevékenységi maximumnál, a vertikális elektromos és horizontális mágneses térkomponens esetén egyaránt.

Ismertté vált, hogy az utolsó naptevékenységi ciklus rendhagyó módon jóval hosszabb volt 11 évnél, inkább 12-13 évnyi időtartamot tett ki (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>). Másik jellemzője volt, hogy a 2008/2009-es naptevékenységi minimum szintje alacsonyabb volt az 1996-os naptevékenységi minimumnál a teljes szoláris spektrumot illetően. Ez a különbség a kemény röntgensugárzás fluxusának esetében közel fél nagyságrend különbséget jelentett a két naptevékenységi minimum között. Ebből annak kellett volna adódnia, hogy a frekvenciaváltozás kvázi „11-éves” napciklussal összefüggésbe hozható változásának hossza és a minimumok mélységének is tükröznie kellett volna az utolsó naptevékenységi ciklus rendhagyó voltát. Ez utóbbi azonban nem következett be. Az ellentétes előjelű frekvenciaváltozás a vertikális elektromos és horizontális mágneses térkomponens esetén a két egymást követő naptevékenységi minimum (1996 és 2008/2009) nyári hónapjaiban, az éves frekvenciaváltozás értelmezéséhez hasonlóan a források globális elmozdulásának tulajdonítottuk a hosszan elnyúlt napciklus időskáláján, jelen esetben a globális zivatarelосzlás súlypontjának északabbra tolódását (közelebb kerülését Nagycenkhez) a nyári hónapokban.

Milyen okokkal magyaráztuk a globális zivatartevékenység északabbra tolódását? Az északi félteke hőmérsékletnövekedése jóval meredekebb 1993 óta, a déli féltekén megfigyelt értékekhez képest. A hőmérsékleti anomália mértéke $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ az északi féltekén, míg a déli féltekén csupán $\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ az 1993-tól 2010-ig eltelt időszakban. A villámok keletkezésének/gyakoriságának hőmérsékletfüggése régóta ismert, amelyet *Williams* (1992) munkája mélyen tudatosított szakmai körökben. Közismert, hogy a villámok mindig a melegebb „nyári féltekék”-re migrálnak. A forrás-észlelő konfiguráció/távolság hőmérsékletfüggő változása jóval hosszabb időtávon is bekövetkezhet. A rendhagyó hosszúságú napciklusnyi idő alatt, két egymást követő naptevékenységi minimumkor megfigyelt frekvenciaváltozás nem magyarázható csupán a Föld-ionoszféra üregrezonátor tulajdonságának naptevékenységből eredő változásával. Ezen idő alatt a globális felmelegedés intenzívebb volta az északi féltekén, a globális zivatarelосzlás súlypontjának az északabbra tolódását is jelenti, ahogyan ez a frekvenciaváltozásokból következik ezen az időskálán (Sátori et al., 2011)

Vizsgáltuk a Közép-Afrika fölött elvonuló nagy kiterjedésű viharfrontokban (squall line) előforduló nagy energiájú villámok tulajdonságait a nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban, az ELF (Extremely Low Frequency: 3Hz-3kHz) tartomány alsó sávjában észlelt Schumann-rezonancia (SR) tranziensek segítségével. Vizsgálatainkat nemzetközi

projekthez (USA, Izrael, Japán és Magyarország) kapcsolódóan végeztük el. Egy felhő-radar, Afrikában, Nigerben, a főváros, Niamey, közeléből monitorozta a nagy kiterjedésű viharfrontokat. Az afrikai földrészen itt sikerült először a felsőlégköri elektro-optikai emissziók (TLE – Transient Luminous Event) családjába tartozó „sprite”-okat (vörös lidérc) is megfigyelni az ugyancsak telepített speciális kamerákkal. A vörös lidérceket keltő hatalmas villámok „megszólaltatták” többek között a nagyceki SR-állomás érzékelőit is, azaz tranziens térváltozásokat lehetett észlelni, koherens módon a vertikális elektromos és horizontális mágneses térkomponensben. Az együttműködés keretében meghatároztuk a lidérceket keltő villámkiszülések paramétereit (polaritás, töltésmomentum) az SR-tranziensek analizálásával (Williams et al., 2010).

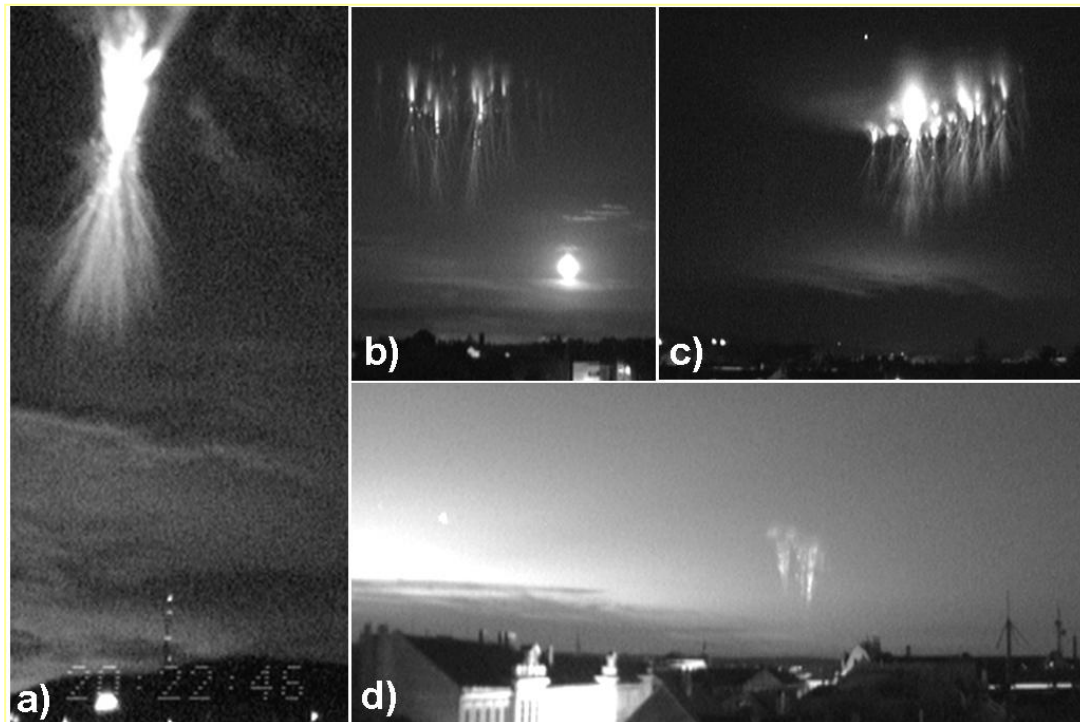
Bekapcsolódtunk több nemzetközi sprite (TLE-k egyik leggyakoribb fajtája) megfigyelési kampányba (Nyugat-Európa, Izrael). Ez részben sprite megfigyelési ügyeletet jelentett távoli (Pic du Midi, Pireneusok) kamerák mozgatásával, valamint SR-tranziensek analizálását a TLE-vel kísért villámok paramétereinek a meghatározásával. A hazai sprite-megfigyelésekbe sikeresen bekapcsolódott Barta Veronika egyetemista, aki jelenleg harmadéves PhD hallgató a NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolában. 2008 nyarán és őszén Közép-Európában kb. 70 felsőlégköri optikai emissziót sikerült lencsevégre kapni: vörös lidérceket és számos lidérc udvar („sprite halo”).

A fő hangsúlyt a 40-90 km magasságban felvillanó TLE-k (Transient Luminous Events) optikai észlelésére, valamint a keltő villámok által kiváltott Schumann rezonancia (SR) tranziensek analizálására fektettük. Olyan „lidérc udvar” (sprite halo) típusú felsőlégköri optikai emissziókhoz (Transient Luminous Events - TLEs) tartozó SR tranzienseket kerestünk obszervatóriumi adatsorainkban, amelyeket a FORMOSAT-2 műhold ISUAL TLE megfigyelőegysége észlelt a 2004-2007 időszakban. 185 észlelt TLE közül 123 jelenséghez sikerült olyan tranziens azonosítani, amelyből a halo-t kiváltó villámkiszülés polaritását meg tudtuk határozni (23 esetben pozitív, míg 100 esetben negatív). 46 tranziens esetében a forrásvillám töltésmomentumát is meg tudtuk becsülni. Az halo-kat a forráskiszülés polaritása, töltésmomentuma, valamint az előfordulás helye és gyakorisága alapján megvizsgálva megállapítottuk, hogy a lidérc udvarok nagyobb részét negatív polaritású, impulzív villámok keltik. A negatív villámokhoz köthető halo-k jellemzően nagy kiterjedésű nyílt vízfelület (tengerek, óceánok), illetve a partvidékek fölött fordulnak elő, míg a kevesebb pozitív villám után megjelenő lidérc udvar ritkábban figyelhető meg partvidéken, viszonylag gyakrabban a szárazföldön (Williams et al., 2012).

A soproni és a szlovákiai Modra Obszervatórium párhuzamos optikai észleléseit felhasználva összesen 64 vörös lidérc helyét és magasságát sikerült háromszögeléssel pontosabban meghatározni. Kiderült, hogy a répa alakú lidércek nagyjából ugyanabban a magasságtartományban jelennek meg, az oszlop formájú lidérceknek azonban mind a hossza, mind a megjelenési magassága változó. A vizsgálatok alapján a lidércek többsége a kiváltó villámkiszüléshez képes 10-15 km-re eltolódva jelenik meg. A háromszögelésből származó információkat kiegészítve az Országos Meteorológiai szolgálat nagyfrekvenciás (VHF) villámadataival arra is fény derült, hogy a villámok kiszülési csatornájának orientációja hatással lehet a megjelenő emissziók geometriai elhelyezkedésére.

Töltésmomentumot számítottunk Izraelből megfigyelt 14 vörös lidérchez a nagyceki obszervatóriumban regisztrált SR-tranziensekből. Egy izraeli tanulmányút során Bór József kalibrálta saját kameránkat, hogy jövőbeli észleléseinkből a megfigyelt események radiometrikus fényességét is meg tudjuk határozni.

TLE megfigyelés szempontjából a 2009-es év messze a legsikeresebb volt az eddigi megfigyelési időszakok közül:



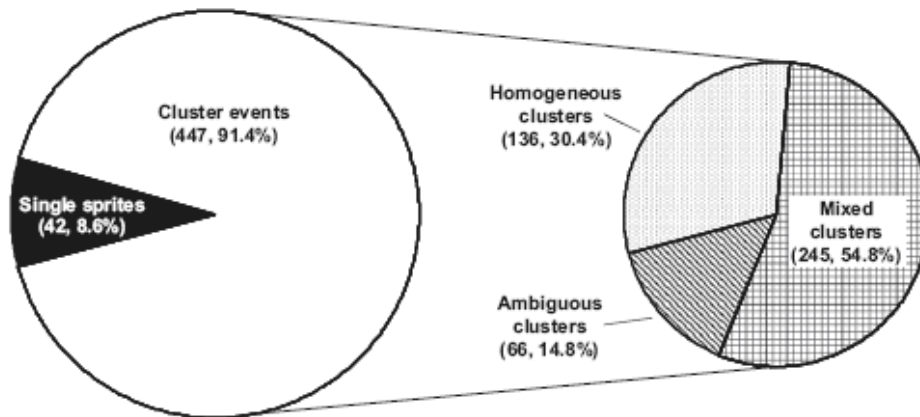
5. ábra Sopronból, az MTA CSFK, GGI épületének tetejéről, Közép-Európa felett megfigyelt „vörös lidércek”. A felvételeket Barta Veronika és Bór József készítette. Az a) felvétel jól érzékelteti a lidércek hatalmas méretét, ha összevetjük a képen alul látható soproni TV-torony magasságát a Szlovénia felett felvillanó lidérc méretével.

11 éjszakán összesen 289 eseményt sikerült lefényképezni, közte egy eddig nem dokumentált típust is, ami leginkább a TROLL (Transient Red Optical Luminous Lineament) TLE típushoz hasonlít, azonban sebességét illetve a megjelenés körülményeit tekintve különbözik attól. A kameránk által detektált számos optikai eseménynek megadtuk az időpontját, a hozzávetőleges földrajzi helyzetét, magasságát, időtartamát, valamint megpróbáltuk különböző szempontok szerint egy adott vörös lidérc osztályba besorolni, amennyiben ez lehetséges volt.

Nemzetközi együttműködés keretében vizsgáltuk egy ritka felsőlégköri elektro-optikai emisszió típusnak az óriás nyalábnak („gigantic jet”) téli mediterrán zivatar fölött, alacsony felhőtető magasságnál (6.5 km) elsőként megfigyelt esetét. Olaszországból, 2009. december 12-én éjjel, Korzika partjaitól nyugatra megfigyelt emisszió magán hordozta a jelenségtípus morfológiai jegyeit és időbeli fejlődésének jellegzetességeit. Az óriás nyaláb nemcsak a szülő zivatar jellegét tekintve volt egyedi, hanem abból a szempontból is első megfigyelés volt a maga nemében, hogy a szülő zivatarfelhő pozitív töltésgócából pozitív töltést szállított a földhöz képest általában pozitív töltésű ionoszférába. A töltésáramlás irányát több megfigyelőállomáson, különböző frekvenciasávokban folytatott elektromágneses mérések összevont elemzésével sikerült egyértelműen megállapítani. Ebben a vizsgálatban a Széchenyi István Obszervatórium extrém alacsonyfrekvenciás (5-30Hz) SR-tranziens méréseivel és a többi megfigyelés együttes analízisével vettük ki részünket. A tanulmány további fontos megállapítása, hogy a felsőlégköri kisülést az egyébként aktív zivatarban kb. 20 perces kisülés-szünet előzte meg. Maga a jelenség éppen azelőtt következett be, hogy a zivatarfelhőben a $-30^{\circ}\text{C} \Rightarrow -35^{\circ}\text{C}$ -os felhőréteg a legnagyobb kiterjedését elérte volna a zivatar élettartama során, az emisszió megjelenési helye pedig éppen e réteg legnagyobb magasságot elért pontjának a közelében volt (van der Velde et al., JGR, 2010).

Bór József a Sopronból Közép-Európában 2007 és 2009 között megfigyelt vörös lidércek közvetlenül megfigyelhető optikai tulajdonságait az előző évben elvégzett vizsgálatok alapján újra elemezte. A vörös lidércek alaktanilag osztályokba sorolhatók, valamint alaktani

osztálytól lényegében függetlenül az egyes emissziókon jellegzetes morfológiai struktúrák jelenhetnek meg. Néhány ilyen morfológiai struktúra megjelenése az elméleti modellekkel való összevetés alapján az emissziók magasságtartományára utal. A különböző alakok a vörös lidércek időbeli lefolyásának különböző „pillanataihoz” tartoznak. A különböző formák kialakulásához és néhány morfológiai struktúra megjelenéséhez az ezeket kialakító kisülési frontok jellemző terjedési irányai rendelkeznek hozzá. Megerősítést nyert, hogy Közép-Európában a vörös lidércek csoportos megjelenése gyakoribb, mint a magányos emissziók kialakulása. A megfigyelések alapján a kizárólag oszlop alakú vörös lidérceket tartalmazó emissziócsoporthoz optikai élettartama rövidebb. Az eredményeket összefoglaló cikk a Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics c. folyóirat decemberi számában jelent meg (Bór, 2012).



6. ábra Sopronból Közép-Európa felett megfigyelt vörös lidércek („sprite”-ok) eloszlása: egyedülálló („single”) és csoportosan („cluster”) megjelenő események (balra), valamint a csoportosan megjelenő események besorolása megjelenésük (homogén, nem meghatározható, kevert) alapján (jobbra).

Összevetettük a 2007-ben észlelt különböző vörös lidércek magasságát, amit egyidejű szlovákiai észlelések felhasználásával, háromszögeléssel lehetett meghatározni, a jelenségeket kiváltó villámkisülések csúcsáramértékével és töltésmomentum változásaival. Az elemzés eredménye arra utal, hogy a répa alakú vörös lidércek alacsonyabban jelennek meg, a 'V' alakú emissziók mérete pedig nő, ha az őket kiváltó villámkisülés töltésmomentum változása nagyobb. Az oszlop alakú emissziók mérete a keltővillám csúcsáramértékével mutat pozitív korrelációt, de csak 100kA-es csúcsáramérték alatt. A lidércek által elfoglalt magasságtartomány alacsonyabb, ha az emisszió a keltővillámához képest nagyobb időbeni késleltetéssel jelenik meg (Bór et al, 2012, poszter).

2012-ben vizsgáltuk a Tejút egy távoli neutron csillagából (magnetar: SGR 1806-20) érkező (2004. december 27.) extrém gamma sugárzás hatásával összefüggő ELF jeleket. A gamma besugárzás hatása a beérkezési pontnak a Föld középpontjából nézve kb. 60 fokos környezetét érintette a Csendes óceán térségében. Ezen a területen a Föld-ionoszféra üregrezonátor hirtelen összenyomódása következtében ún. parametrikus rezonancia lépett fel. A keltett ELF hullámok a Föld különböző helyein (Japánban, Oroszországban, a Spitzbergákon és Európában több állomáson, köztük a Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban is észlelhetőek voltak. Ukrán kutatók összegyűjtötték az obszervatóriumok regisztrátumait és sikeresen igazolták a segítségükkel a jelenségre felállított elméleti modellt (Shchekotov et al., 2012, előadás). A gamma sugárzást közvetlenül megelőzően (~ 300 msec-mal korábban) egy másik ELF tranziens jelet is regisztráltak a mérőállomások. Az ukrán kollégák ragaszkodtak ahhoz az elképzeléshez, miszerint ez a korai ELF jel is a gamma eseményhez köthető. Számos független vizsgálattal igazoltuk, hogy ennek a korai ELF jelnek a forrása független a gamma eseménytől, valószínűleg egy afrikai

energetikus villámkisülés keltette SR-tranziens és az időbeli közelség csupán véletlen. A lokalizációt illetően valóban meglepő lehet, hogy az afrikai villámkisülés „anti-pódja” (180° szögtávolság a forrástól a terjedési főkörön) közel esik az extraterresztrikus gamma-vihar szubszoláris pontjához. Azonban az obszervatóriumunkban az elektromos és mágneses térkomponens koherens impulzus-párjából a forrás távolságát meg tudtuk becsülni, a Poynting vektor számításával pedig az energiaáramlás irányát lehetett azonosítani.

2012-ben is folytatódott a felsőlégköri elektro-optikai emissziók megfigyelése Sopronból. Az eddigi észlelési időszakok közül a legtermékenyebbnek bizonyult, októberben: 299 különböző felsőlégköri emisszió került rögzítésre. A megfigyeléseink összegzését európai adatbázisban gyűjtik hasonló megfigyelésekkel együtt. A nagyszámú észlelés alapján a megfigyelések statisztikai tulajdonságait elemezve az emisszió előfordulások időbeli változásait tárgyaló publikáció előkészítése folyik.

A Schumann-rezonancia tranziensek automatikus felismerésére szolgáló algoritmusok, programok fejlesztése és tesztelése folyamatban van, amelyet Nagy Tamás matematikus, ifjú kutató kezdett el 2011-ben. Eddig ugyanis a néhány msec pontossággal megadott villám és/vagy elektro-optikai emisszió időpontokhoz kerestük meg az ELF (SR) tranzienseket. Az automatikus jelfelismerés (koherencia-kritériumok alapján az elektromos és mágneses térkomponensben) nagyszámú eseményre alapozott statisztikai vizsgálatokra ad módot és lehetővé válik a háttér Schumann-rezonancia intenzitások, azaz a globális zivatar-tevékenység

E pályázat beruházási keretének a terhére a nagyeceni Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium légköri elektromosságot (Schumann-rezonancia, potenciál gradiens) monitorozó helységében műszerpark korszerűsítésbe kezdtünk, melynek keretében új A/D konverter (USB4CH), GPS pontosságú időjelet szolgáltató egység (USBXCH-GPS-DB25) egy ahhoz csatlakozó PC került elhelyezésre. Az új A/D konverter beszerzését különösen indokoltá tette, hogy az SR méréshez eddig használt A/D konverter csupán 12 bites volt, ami korábban elkerülhetlenné tette hardveres lyukszűrők beillesztését az erősítőkhöz. Az új 24 bites A/D konverter dinamikája lehetővé teszi a természetes és esetenként nagyságrendekkel nagyobb amplitúdójú zavarok együttes mérését és a zavarok szoftveres úton történő utólagos kezelését, eltávolítását. A beruházási keret terhére, a Műszaki és Természettudományi Kollégium hozzájárulásával, sikerült egy elektromos térmérőt (Boltek EFM-100) is beszerezni, amely sokoldalúan hasznosítható: többek között az SR mérést is zavaró lokális elektrosztatikus terek mérésével, továbbá az igen értékes, több, mint 40 éves PG adatsorban mutatkozó csökkenő trendben a lokális és globális eredetű hatások mértékének a meghatározásában a berendezés mobilitása révén. Jövőbeni kutatási elképzeléseink megvalósításában is fontos szerepet kap a közeli zivatarok nagy elektrosztatikus tereinek az ionoszférára gyakorolt hatásának ionogramok segítségével történő vizsgálatában.

2012. októberében a lengyel-magyar bilaterális együttműködés keretében meglátogattuk a Belsk-i Geofizikai Obszervatóriumot Lengyelországban, ahol a Széchenyi István Geofizikai Obszervatóriumban működő Schumann-rezonancia mérőrendszer mintájára készült SR észlelőállomás üzemel. Tartózkodásunk alatt két különböző módszerrel (frekvenciánként és impulzusválasz felvételével) elvégeztük a Belskben álló kapacitív elektromos antenna kalibrációját és a méréseket előzetesen kiértékeljük. A teljes kiértékelés és a nagyeceni értékekkel való összehasonlítás folyamatban van. A kalibrálások és az összehasonlítás célja, hogy a két állomás mérési adatai abszolút elektromos térerősség értékeket tekintve is együttesen feldolgozhatóak legyenek.

Az elhangzott előadásokon, poszteres bemutatásokon és megjelent publikációkon kívül a következőket említjük meg:

Ezen OTKA téma eredményei hozzájárultak ahhoz, hogy Közép-Európából egyedülként résztvevői lehetünk az ESF által támogatott TEA-IS (Thunderstorm Effects on the Atmosphere-Ionosphere System) projektnek (2011. május -2016. április):



6. ábra „TEA-IS” országok kék színnel jelölve.

<http://www.esf.org/activities/research-networking-programmes/life-earth-and-environmental-sciences-lesc/current-esf-research-networking-programmes-in-life-earth-and-environmental-sciences/thunderstorm-effects-on-the-atmosphere-ionosphere-system-tea-is.html>

A Springer kiadó gondozásában 2009-ben megjelent „*Lightning: Principles, Instruments and Applications*” c. könyv nemzetközi szerzőgárda közreműködésével. A „*Schumann Resonance Signatures of Global Lightning Activity*” c. könyvfejezet első szerzője ezen OTKA kutatás témavezetője.

Bór József 2011-ben sikeresen, „summa cum laude” minősítéssel megvédte „*Villámkisülésekhez társuló felsőlégköri elektro-optikai emissziók és Schumann-rezonancia tranziensek vizsgálata*” c. PhD dolgozatát.

Barta Veronika a Természet Világa c. tudományos ismeretterjesztő folyóirat által doktori hallgatóknak meghirdetett pályázatán „*Káprázatos jelenségek a viharfelhők fölött*” c. cikkével országos első díjat nyert 2011-ben.

Ezen OTKA kutatás témavezetője benyújtotta akadémiai doktori értekezését „*Schumann-rezonancia, mint globális változások jelzőrendszere*” címmel, amit a Doktori Tanács 2012. szeptemberében eljárásra bocsátott.

Sopron, 2013. január 21.

Sátori Gabriella

Sátori Gabriella
témavezető