

Kenesi István (2009): A 80 éves Chomsky jelentőségéről. Magyar Tudomány, 2009/9
 Piattelli-Palmarini, Massimo (ed.) (1983): *Language and Learning. The Debate between Jean Piaget and Noam Chomsky*. Routledge & Kegan Paul, London–Henley
 Piaget, Jean (1983): About the Fixed Nucleus and Its Innateness. In: Piattelli-Palmarini, Massimo (ed.):

Language and Learning. The Debate between Jean Piaget and Noam Chomsky. Routledge & Kegan Paul, London–Henley
 Searle, John (1974): Chomsky's Revolution in Linguistics. In: Harman, Gilbert (ed.) (1974): *On Noam Chomsky: Critical Essays*. Anchor Press–Doubleday, Garden City, New York



Tanulmány

A SCHUMANN-REZONANCIÁK MINT A GLOBÁLIS VÁLTOZÁSOK JELZŐRENDSZERE

Sátori Gabriella

a földtudomány kandidátusa,
 MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron
 gsatori@ggki.hu

A Föld felszíne és az ionoszféra által határolt gömbréteg *elektromágneses sajátfrekvenciáit* leírójáról *Schumann-rezonanciáknak* nevezzük (Schumann, 1952). *A Föld–ionoszféra üregrezonátor* gerjesztő forrása *a világ zivatar-tevékenysége*, amely elsősorban a kontinensek trópusi régióira koncentrálódik. A villámok széles frekvenciatartományban sugároznak ki elektromágneses hullámokat, s a Föld kerületével összemérhető hullámhosszakon az elektromos és mágneses tér ún. *rezonancia-módusokba* rendeződik, amelyek frekvenciája sorrendben: ~8 Hz, ~14 Hz, ~20 Hz stb. A Schumann-rezonancia (SR) jelenségkör természetes és olcsó eszközként szolgál *globális változások* vizsgálatára. Integráló képessége robusztus becslést ad a Föld troposzférájában lejátszódó globális időjárási folyamatokról a világ zivartartévékenységének idő- és térbeli változásán keresztül, valamint a *Föld–ionoszféra üregrezonátor* felső határoló régióját (*ionoszférikus D-tartomány*) erő extraterresztrikus ha-

tásokról, és azokról a közel két évtizede felfedezett magasléggörű, nagy kiterjedésű *elektrooptikai emissziókról*, amelyek a zivataros területek felett következnek be egészen az ionoszféra D-tartományának magasságáig.

Az első hazai megfigyelések a Schumann-rezonanciák frekvenciatartományában a Nagyecenk melletti Geofizikai Observatóriumban már az 1960-as évek elején megtörténtek (Ádám – Bencze, 1963). Évtizedekkel később, a számítástechnika ugrásszerű fejlődése tette lehetővé a Schumann-rezonanciák folyamatos észlelését. Ez 1993-ban valósult meg a később Széchenyi István nevét felvevő Geofizikai Observatóriumban. A kvázi *real-time* digitális mérő-feldolgozó rendszer a Schumann-rezonanciák első három módusának *pillanatnyi frekvenciáját* és az ahhoz tartozó *amplitúdót* határozza meg a *komplex demoduláció* mint spektrális eljárás alkalmazásával (Sátori et al., 1996). Az elektromos tér vertikális komponensének mérésére egy két

méter magasságú szigetelő lábazon álló 45 cm átmérőjű alumíniumöntvény gömb szolgál (1. ábra).

A horizontális mágneses tér észak–déli és kelet–nyugati komponensének mérését egy megfelelően kiképzett betonagyban egymásra merőlegesen elhelyezett két indukciós szonda végzi. A mágneses tér folyamatos mérése 1996-ban vált lehetővé. A vertikális elektromos térre vonatkozó adatsor nemzetközi viszonylatban is egyedülálló mind hosszúságában és teljességében, mind az adatok minőségében. A 90-es évek közepéig csupán néhány olyan állomás működött a világon (Magyarország, USA, Antarktisz),

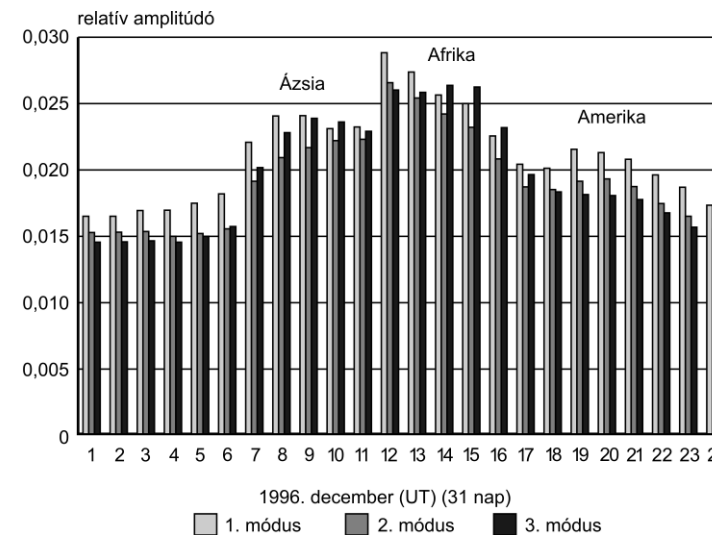


1. ábra • Gömbantenna a Schumann-rezonanciák mérésére a Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban (MTA GGKI)

ahol folyamatos volt a Schumann-rezonancia megfigyelése, és ez elsősorban – tőlünk eltérően – inkább a mágneses térkomponens esetében volt sikeres.

A Föld-ionoszféra üregrezonátor alacsony jósági tényezővel (4–8) jellemezhető. Ez azt jelenti, hogy a szomszédos SR-módusoknak megfelelő spektrális csúcsok nem különülnek el élesen egymástól, és a térkomponensek minimumhelyeinél („csomóvonalainál”) a szomszédos módusok fáziscsúszási kölcsönhatása következtében frekvenciaváltozás lép fel. Az elektromos és mágneses tér rezonancia-módusokba rendeződött struktúrái követik a gerjesztő forrás(ok) mozgását, és a napszaktól, évszaktól függően kialakul egy többé-kevésbé bonyolult, időben változó SR-topográfia. Az elektromos, illetve mágneses tér minimumhelyeihez kapcsolódó frekvenciaváltozások jó indikátorai a gerjesztő forrás(ok), azaz a zivartargócok egy adott észlelőhelyhez viszonyított mozgásának. A zivartartevékenység általában helyi időben délután maximális, ezért a Schumann-rezonanciák napi amplitúdóváltozásában a három fő trópusi zivartarrégió (Délkelet-Ázsia, Afrika, Dél-Amerika) jól elkülöníthető világidőben (2. ábra), s jellegzetes napi frekvenciaváltozás alakul ki, amely más és más minden egyes térkomponensre és rezonancia-módusra vonatkozóan (3. ábra).

A Schumann-rezonancia hazai mérésein alapuló eredmények számos nemzetközi együttműködést alapoztak meg, többek között a következő intézményekkel: Massachusetts Institute of Technology (USA), Usikov Institute for Radio Physics and Electronics (Ukrajna), Tel Aviv University (Izrael), University of München (Németország), Geofizikai Intézet, Varsó (Lengyelország) vagy nemzetközi programokhoz történő csatlakozást tettek lehetővé. (SPECIAL, E-STAR,

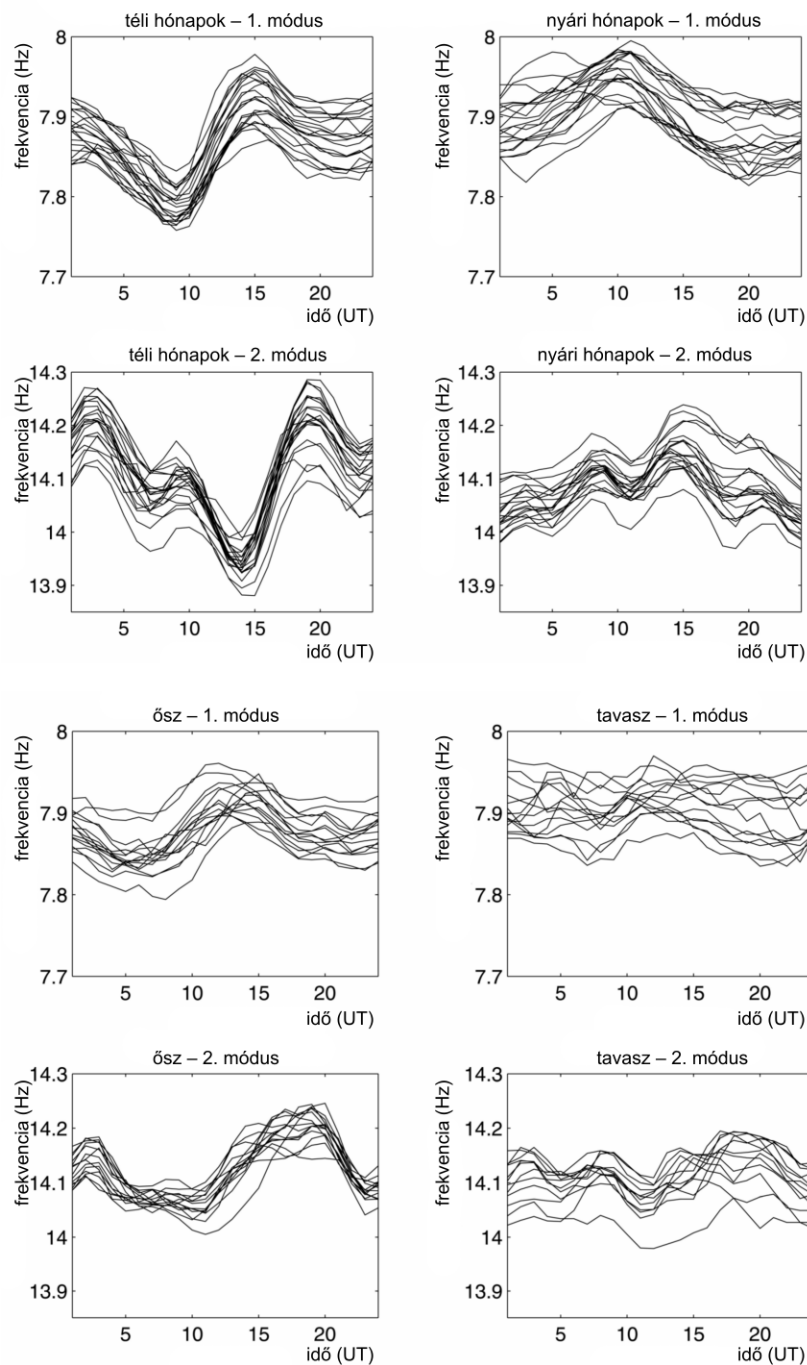


2. ábra • A Schumann-rezonanciák első három módusának napi amplitúdóváltozása (Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban)

COST P18, ASIM). A téma több nemzetközi (MAKA, NATO) és hazai (OTKA: T4395, T023III, T034309, K72474 és MŰI: TP201, TP224) pályázaton sikeresen szerepelt.

A Schumann-rezonanciákkal kapcsolatos kutatások reneszánszukat élik. Ez elsősorban Earle Williams (1992) nagy nemzetközi visszhangot kiváltó cikkének köszönhető, amelyben a Schumann-rezonanciákat, mint globális trópusi hőmérőt mutatja be. Feltevését arra a tapasztalati tényre alapozta, hogy a trópusokon a villámaktivitás nagymértékben (nemlineárisan) megnövekszik egészen kicsiny, esetenként néhány tized fokos hőmérsékletnövekedés hatására. Napéjegylenlőségi hónapokban a trópusi régióban az egységnyi felületre juttatott többlet napsugárzási energia egy kb. 1,5 °C féléves hőmérsékleti hullámban jelentkezik. Ezen hőmérsékletváltozásnak a megnövekedett villámaktivitáson keresztül a Schumann-rezonanciák intenzitásváltozásában is tükröződnie kell. Ezt elsőként a

nagycenki SR-adatsor segítségével sikerült igazolni (Sátori – Zieger, 1996). Az adatsor ennél is kisebb hőmérsékletváltozást indikáló képességét az az SR-intenzitás anomália bizonyítja, amelynek háttérében egy mindössze 0,2 °C hőmérséklet-növekedés állt Dél-Amerika trópusi térségében, 1995 decemberében (Sátori – Zieger, 1998). Ez már olyan kis hőmérsékletváltozás indikálását jelentette, amely a módszer alkalmasságát bizonyítja globális éghajlati folyamatok kimutatására. A SR-jelenség sokoldalú alkalmazhatóságának bizonyítéka, hogy a nagycenki SR-adatokból a passzátszélnek a Csendes-óceán egyenlítői térségére vonatkozó, 1996 januárjában érvényes átlagos sebességét és irányát le lehetett vezetni az 1995. decemberi dél-amerikai SR-anomália nyugati irányba történő szisztematikus elfordulása alapján (Sátori – Zieger, 1998). Ez a két hónap éppen a Csendes-óceán térségének ENSO (El Niño Southern Oscillation) időskáláján (két-ötéves ciklikusság)



3. ábra • A Schumann-rezonancia módusainak napi frekvenciaváltozása különböző évszakokban (Széchenyi István Geofizikai Observatórium)

egy meleg időszak (El Niño fázis) hideg időszakokkal (La Niña) történő felváltásával esett egybe, amelynek egyik ismérve éppen a keleti passzátszelek uralkodóvá válása. A Csendes-óceán térségétől nagyon távol eső, hazai SR-megfigyelések helyességét független *in situ* szélmérések igazolták.

SR-frekvenciák módusonkénti napi ingadozásának mértékéből a zivataros területek nagyságára lehet következtetni. A világ zivatárokkal lefedett területében éves és féléves változás mutatható ki. Az éves területi változás maximuma az északi félteke nyarára esik, összefüggésben a szárazföldek északi féltekére eső túlsúlyával. A féléves területi maximumok április (május) és október (november) hónapban következnek be, hasonlóan az SR-amplitúdók/intenzitások féléves maximumaihoz. A féléves területi változás mind a féléves trópusi hőmérsékletváltozással (intenzív vertikális konvekciók), mind a tavaszi–ősz átmenetekkel kapcsolatos területi hőmérsékleti instabilitásokkal összefügg.

A hazai SR-mérések a világ zivatartermékenységének éves és féléves területi változásában egy, a tizenegy éves napsiklussal összefüggésbe hozható szignifikáns modulációt mutatnak. A fizikai láncszemet a felhőképződést vagy a villámlást befolyásoló, a naptevékenységgel összefüggésbe hozható folyamatokban (galaktikus kozmikus sugárzás tizenegy éves modulációja) kell keresni.

Az elektromos tér vertikális komponensének harmadik módusa esetén a hazai SR-észlelőhely speciális szög távolságban, „*somóvonalon*” helyezkedik el az afrikai zivatargóc-hoz képest, ha a zivatargóc hipotetikus centruma közel esik a 8° északi szélességhez. Az afrikai zivatarrégió meridionális pozíciójában bekövetkező változásra a harmadik SR-módus jelentős frekvenciaváltozással reagálhat,

ahogy az az ENSO-időskálán, annak egymást követő meleg (El Niño) és hideg (La Niña) fázisaiban megtörtént 1994 és 1998 között. Az ENSO-időskálán a világ zivatartermékenysége szisztematikus meridionális átrendeződést mutat: a zivatark a hidegebb La Niña időszakban néhány fokkal északabbra, melegebb El Niño periódusban pedig ismét délebbre migrálnak (Sátori – Zieger, 1999). Ezt később műholdas mérések megerősítették Közép-Amerika térségére vonatkozóan.

Az SR-frekvenciák napi menete, amit a forrásészlelő geometria határoz meg, azt mutatja, hogy a zivatark északi és déli féltekék közötti évszakos migrációjának sebessége nem egyenletes. A migráció dinamikája követi az északi és déli félteke eltérő termális sajátosságait, ami elsősorban a szárazföldek és a vízzel borított területek arányának lényeges különbségéből ered. A déli félteke nagyobb hőtehetetlenségéből következik, hogy a zivatark hosszabb ideig (négy-öt hónap) tartózkodnak a déli féltekén annak meleg (nyári) periódusában. Az átmeneti (tavasz-ősz) évszakok a legrövidebbek, és eltérő az időtartamuk. A világ zivatartermékenységének súlypontja igen rövid idő (négy-hat hét) alatt tevődik át az északi féltekére, és ott marad június-július-augusztus folyamán, az északi félteke legmelegebb hónapjaiban. A déli féltekére történő visszamigrálás egyenletesebben zajlik le szeptember-október során. Az eredmények azt mutatják, hogy a zivatark intenzitását elsősorban a zivatark keletkezési helyének hőmérséklete befolyásolja (éves és féléves változás), tehát elsősorban a szárazföldek felszíni hőmérséklete, míg a zivatark globális értelemben vett meridionális átrendeződésének dinamikájának a vezérlése a (trópusi) óceánok (Csendes-óceán) felől történik. Ezt támasztja alá mind az évszakos,

mind az ENSO-időskálán bekövetkező meridionális átrendeződés dinamikája (Sátori et al., 2009).

Ezek az eredmények vezettek a *termodinamikai szemlélet* kialakulásához a Schumann-rezonancia méréseinek értelmezésében. Az SR-amplitúdók és frekvenciák kombinált használata esetén a Schumann-rezonanciák globális felszíni termodinamikai folyamatok jelzőrendszereként szolgálnak. Kicsiny hőmérsékletváltozás hatására nemcsak a Schumann-rezonanciákat gerjesztő zivatarok intenzitása változik meg, hanem a zivatarrégiók területében, földrajzi elhelyezkedésében is szisztematikus változás áll be. A Schumann-rezonancia paraméterei pedig alkalmasak mindegyik változás jelzésére.

Három, egymástól nagy távolságban elhelyezkedő állomáson – Nagycenk, Rhode

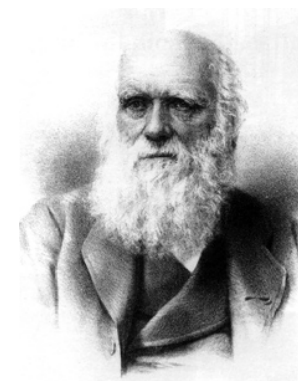
Island (USA), Antarktisz – az SR-frekvencia mind a vertikális elektromos, mind a horizontális mágnesestér-komponens, és mindegyik rezonancia-módus esetében azonos értelmű változást mutat a tizenegy éves napciklus során, a naptevékenységgel azonos fázisban (Sátori et al., 2005). Ez egyértelműen a *Föld-ionoszféra üregrezonátor „elhangolódását”* jelzi, azaz a rezonátor felső határoló rétegének, az ionoszférának magassága és vezetőképessége változik a tizenegy éves napciklus során. Ez is globális változás, amely feltehetően semmilyen összefüggésben sincs a rezonátort gerjesztő mechanizmus, azaz a világ zivatartevékenységeinek a tulajdonságaival.

Kulcsszavak: *Schumann-rezonancia, Föld-ionoszféra üregrezonátor, globális villámaktivitás, ENSO, globális éghajlatváltozás, napciklus*

IRODALOM

- Ádám Antal – Bencze Pál (1963): Kisfrekvenciás természetes elektromágneses energiaforrás vizsgálata. Magyar Geofizika. IV, 29–34.
- Sátori Gabriella – Szendrői J. – Verő J. (1996): Monitoring Schumann resonances – I. Methodology. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. 58, 1475–1481
- Sátori Gabriella – Zieger Bertalan (1996): Spectral Characteristics of Schumann Resonances Observed in Central Europe. Journal of Geophysical Research. 101, D23, 29663–29669.
- Sátori Gabriella – Zieger Bertalan (1998): Anomalous Behaviour of Schumann Resonance during the Transition between 1995 and 1996, Journal of Geophysical Research. 103, 14147–14155.
- Sátori Gabriella – Zieger Bertalan (1999): El Niño Related Meridional Oscillation of Global Lightning Activity. Geophysical Research Letters. 26, 10, 1365–1368.

- Sátori Gabriella – Williams, E. R. – Mushtak, V. (2005): Response of the Earth-ionosphere Cavity Resonator to the 11-year Solar Cycle in X-radiation. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 67, 6, 553–562.
- Sátori Gabriella – Mushtak, V. – Williams, E. R. (2009): Schumann Resonance Signatures of Global Lightning Activity. In: Betz, Hans Dieter – Schumann, U. – Laroche P. (eds.): *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Springer, 347–386.
- Schumann, Winfried Otto (1952): Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist. *Zeitschrift und Naturforschung*. 7a, 149–154.
- Williams, Earle R. (1992): The Schumann resonance: A Global Tropical Thermometer. *Science*, 256, 1184.



AZ IMMUNRENDSZER VÉDELMI RENDSZEREI DARWIN EVOLÚCIÓELMÉLETÉNEK TÜKRÉBEN¹

Márkus Róbert

Mócsai Attila

PhD, Szegedi Biológiai Központ Genetikai Intézet
markus@brc.hu

MD, PhD, Semmelweis Egyetem Élettani Intézet
mocsai@eok.sote.hu

Kacsokovics Imre

Rajnavölgyi Éva

DVM, PhD, Eötvös Lóránd Tudományegyetem
Biológiai Intézet Immunológiai Tanszék
ikacsko@elte.hu

PhD, az MTA doktora, Debreceni Egyetem
Orvos és Egészségtudományi Centrum
Immunológiai Intézet
evaraj@med.unideb.hu

Darwin természettudományos kutatásainak és evolúcióelméletének jelentősége

Charles Darwin (1809–1882) 1825-ben kezdte el tanulmányait Edinburghban, de apja kívánságával szembefordulva nem orvosnak készült, hanem a tengeri gerinctelenekkel

kezdett el foglalkozni, majd természettudományi tanulmányait 1827–1831 között Cambridge-ben folytatta. Ebben az időszakban a legfejlettebb tudományágnak a geológia számított, de a kőzetek tanulmányozása az ősi állatok kövületeinek feltárásával jelentősen elősegítette a morfológia és a rendszertan fejlődését is. Közvetlenül tanulmányai befejezése után a család anyagi támogatásával lehetősége volt csatlakozni egy világméretű tengeri expedícióhoz. Az Angliából induló *HMS Beagle* elnevezésű vitorlás hajó Chile és Argen-

¹ Készült a Magyar Tudományos Akadémia Biológiai Osztály Immunológiai Bizottsága és a Magyar Immunológiai Társaság által szervezett, 2009. április 24-én, az *Immunológia Napja* rendezvényen elhangzott előadások alapján.