

1. ábra • Az MTA CSFK Nagycenk melletti Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban felállított SR-állomásának, valamint a 2007 előtt működő, felsőlégköri megfigyeléseket folytató optikai észlelőállomásoknak a helye Európában.

Az SR-tranziensekből meghatározható az ezeket keltő villám polarizációja, földrajzi helye (beérkezés iránya és távolsága), valamint a függőleges töltésmomentum változása (Bór, 2011) még azokban a régiókban is, ahol a villámfigyelő hálózatok sűrűsége nem kielégítő, nevezetesen a trópusokon, elsősorban Afrikában (Kongó-medence), ahol a legtöbb villám keletkezik, valamint az óceánok térségében. A polarizációt, azaz egy felhő-föld villámnál a felhőben kisülő töltéscentrum töltésének előjelét a vertikális elektromos térben tapasztalt első elugrás előjele szabja meg. Az előjeltől függően beszélünk pozitív vagy negatív felhő-föld villámról (vagy kvázi-vertikális kisülési csatornát is létrehozó egyéb

villámról, ahol a kisülő töltéscentrumok előjel szerinti relatív vertikális elhelyezkedése ugyanolyan értelmű). A kisülés függőleges töltésmomentum-változása a kisülési csatorna függőleges vetülete hosszának és az átáramlott töltésmennyiségnek a szorzata. Az SR-hullámhosszakon elvileg a Föld bármely térségében keletkező villámokra meghatározhatók a fenti paraméterek, akár egyetlen SR-állomás vertikális elektromos és horizontális mágneses tér adataiból. Az egyetlen SR-állomás mérésein alapuló lokalizáció a távolságfüggő, de a forrás tulajdonságaitól független hullámmimpedancia-spektrum (az elektromos tér vertikális komponense és a mágneses tér horizontális komponense hányadosának amplitúdó

spektruma) mért és modellezett értékeinek összehasonlításán alapszik. A lokalizáció pontossága korlátozott, a tényleges távolság kb. 10%-a. Mivel az érzékeny észlelőrendszer mérőcsatornáját telítésbe viszik a közeli villámkiülések erős jelei, a helymeghatározás csak kb. 1000 km-nél távolabbi források esetén végezhető el. Annál is inkább, mivel a távolság meghatározásához használt modellekben alkalmazott közelítések is csak nagyobb forrásészlelő távolság esetén teljesülnek. A lokalizáció pontossága bizonyos mértékig növelhető több állomás SR-tranziensein alapuló háromszögelés révén. Ez esetben a keltő villám helyét a mágneses tér komponenseiből számított Lissajous-görbékre vett merőleges irányok metszéspontja adja. A villámkiülés (forrás) helyének a megfigyelőtől vett távolsága ismeretében a forrás függőleges árammomentum-spektruma előállítható a térkomponensek mért spektrumának és a forrásmegfigyelő távolsághoz tartozó modell térkomponens-spektrumának hányadosaként. A kisülés függőleges töltésmomentuma az árammomentum integrálja a kisülés ideje alatt.

Az egyedi energetikus villámokhoz, amelyet az SR-tranziensek jeleznek, számos esetben változatos formájú tranzien felvillanások (TLE – *Transient Luminous Event*) is társulnak a felső légkörben, a zivatarfelhő teteje és az ionoszféra alja között. Ezeket nevezzük *felső-légköri elektro-optikai emisszióknak* (FEOEM).

Az 1. ábra térképén az Ibériai-félszigeten, valamint a Földközi-tenger keleti medencéjében lezajló zivatarok energetikus villámai által keltett optikai és elektromágneses tranzien jelenségek közül láthatunk két példát. A villámkiüléshez kapcsolódó SR-tranzienseket a Nagycenk melletti Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban regisztráltuk a vertikális elektromos és a két horizontális

mágneses térkomponensben. Az E_z térkomponens előjele (felfelé történő elugrás) pozitív felhő-föld villámot jelez forrásként. A térkomponensek alapján számított töltésmomentum-változások (1280 Ckm és 1870 Ckm) mértéke valóban energetikus villámokra utal. Ezen villámokhoz FEOEM-ek is csatlakoztak az említett két térség zivatarra felett, ahogyan azt az optikai észlelések is mutatják.

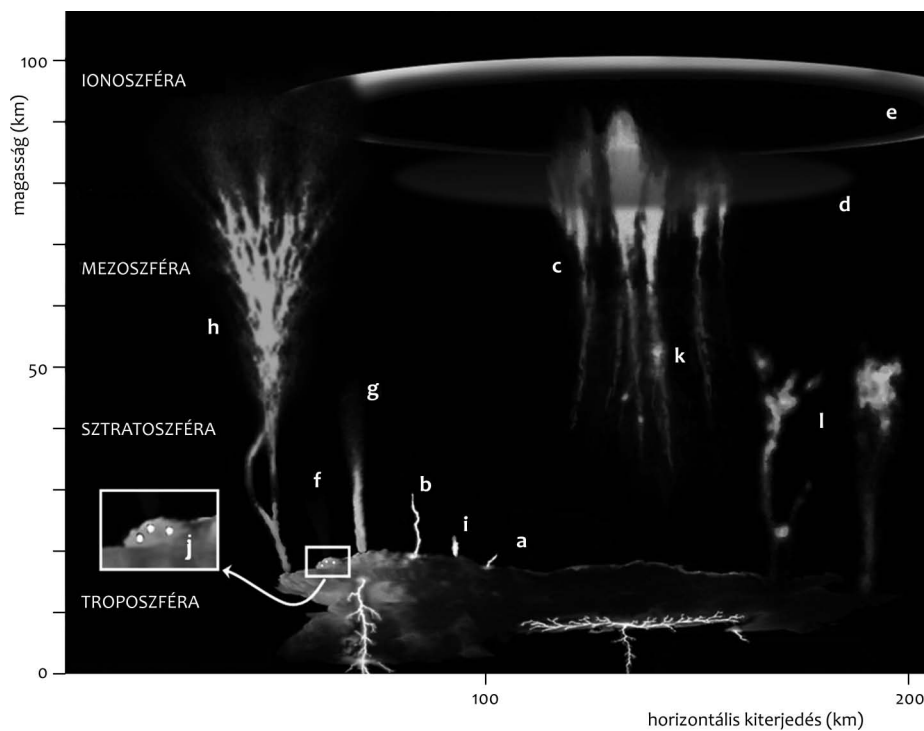
A FEOEM-ek tudományos kutatása csupán a múlt század végén kezdődött el, amikor véletlenszerűen, egy kamera tesztelése során kapták lencsevégre (Franz et al., 1990) a FEOEM-ek egyik gyakori fajtáját, amely később az angol nyelvű szakirodalomban *sprite*-ként, később a hazai irodalomban vörös lidércként honosítva vált ismertté. A vörös lidérc magyar elnevezés a jelenség színéből és illékony voltából adódott. Az emissziók színét 50–60 km-es magasság fölött a szabad elektronokkal való ütközések közben gerjesztett semleges nitrogénmolekulák relaxációjából eredő vörös, közeli infravörös sugárzás adja. A felvillanás időtartama legfeljebb néhány száz 10 ms, emberi szemmel éppen hogy csak érzékelhető. Ez a látványos felvillanás óriási térrészt tölthet ki mintegy 40 km-től 90 km magasságig, akár 50 km horizontális kiterjedéssel, különböző alakzatok formájában, és szinte kizárólag pozitív felhő-föld villámkiüléshez kapcsolódik.

Napjainkban a FEOEM-eknek már számos típusát ismerjük (2. ábra). Közülük a vörös lidérc, a lidércudvarok és a gyűrűlidérc kialakulása köthető egyedi troposferikus villámkiülésekhez. A többféle nyaláb (*jet*) jelenség inkább a zivatarfelhő felső töltésgócaiban történő extrém intenzitású töltéshalmozódás következménye. A vörös lidérc és lidércudvarok a felső légkörben bekövetkező légköri kisüléseket kísérő fényjelenségek.

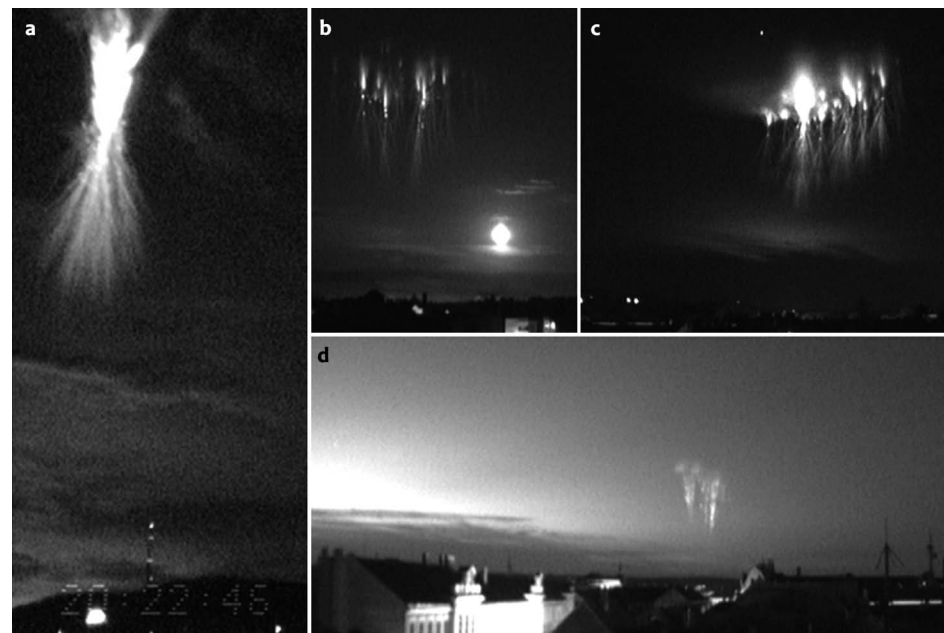
A leggyakrabban 60–80 km-es magasságtartományban bekövetkező kisülésért felelős elektromos tér nagy függőleges töltésmomentumú felhő-föld kisüléseket követően alakulhat ki a zivatarfelhőben közvetlenül a villámkisülés után maradó töltéstöbblet és az elektromosan jól vezető ionoszféra alja között. Ha kiterjedt ködfénykisülés jellegű jelenség következik be, akkor lidércudvar figyelhető meg, míg ha a környező elektromos térben haladó fókuszált kisülési frontok (ún. *streamerek*) alakulnak ki, akkor vörös lidércről beszélhetünk (Bór – Barta, 2011). Egy kellően impulzív, ugyanakkor időben tovább fenn-

maradó áramú intenzív villámkisülés akár mindkét jelenséget elő tudja idézni (például *3c ábrán*). A gyűrűlidérek kialakulása ettől eltérően a villámkisülés elektromos impulzusának és az alsó ionoszféra közötti kölcsönhatásnak köszönhető. Az éjszakai alsó ionoszféra kb. 90–100 km-es magasságban nyeli el leghatékonyabban az elektromágneses impulzus energiáját, amit vörös fény formájában sugároz vissza.

Valamennyi FEOEM nagy magasságban alakul ki, így alacsony nyomású légköri kisülési jelenségekhez társul. Alacsony nyomáson végbemenő kisülési jelenségeket (hideg plaz-



2. ábra • A felső légköri elektro-optikai emissziók ismert típusai • a) közönséges felfelé irányuló villámkisülés (*upward flash*); b) felfelé irányuló óriás kisülés (*upward superbolt*); c) vörös lidérc (*sprite*); d) lidércudvar (*sprite halo*); e) gyűrűlidérc (*ELVES*); f) kis kék nyaláb (*blue starter*); g) kék nyaláb (*blue jet*); h) óriás nyaláb (*gigantic jet*); i) törpe (*gnome*); j) tündérekék (*pixies*); k) TROLL; l) pálmalidércek (*palm trees*).



3. ábra • AZ MTA CSFK GGI épületének tetejéről, Sopronból, közép-európai zivatarok felett megfigyelt felsőlégköri elektro-optikai emissziók. Barta Veronika és Bór József felvételei.

mát) alkalmazó technológiával az élet számos területén találkozhatunk, például a világítás-technikában, textíliák és műanyagok felületkezelésével összefüggésben, kémiai reakciók katalízise kapcsán, de akár a gyógyulási folyamatok gyorsításánál is, sebkezeléseknél. A FEOEM-ek tanulmányozása viszonylag egyszerű és gazdaságos lehetőséget nyújt az alacsony nyomáson bekövetkező gázkisülési jelenségek tulajdonságainak vizsgálatához, ami nemcsak a létező alkalmazások továbbfejlesztéséhez járulhat hozzá, hanem a Föld körüli térség tanulmányozásának új útját is jelenti. Természetesen ezeknek a lehetőségeknek a realizálásához a FEOEM-eket kiváltó elektromos folyamatok, a megjelenési környezetük állapota és a kialakuló FEOEM-ek tulajdonságai közötti összefüggésrendszer alapos megismerése szükséges.

A villámkisülésekhez társuló FEOEM-ek megfigyelése Sopronban, a CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézetének tetejéről történik 2007-től kezdődően. Innen Közép-Európában kialakult zivatarok felett keletkező FEOEM-eket lehet fényképezni Sopron kb. 600–700 km-es körzetében a különböző irányokban eltérő távolságokra, a közeli objektumok takarásától függően. A látványos jelenségből mutat be néhányat a 3. ábra. A jelenség impozáns méretét jól érzékelteti az a) felvétel, ahol alul látható a soproni TV torony, a „vörös lidérc” pedig Szlovéniában, Soprontól mintegy 160 km-re levő zivatar felett következett be.

Az MTA CSFK GGI kutatócsoportja a Nagyecenk melletti Széchenyi István Geofizikai Observatórium SR-tranzienis méréseivel és a FEOEM-ek megfigyelésével számos

nemzetközi mérési kampányban és munkában vett és vesz részt. Többek között a tragikus végű Columbia űrmisszió során, a Csendes-óceán délnyugati medencéje felett lefénnyképezett hatalmas gyűrűlidérc forrásvillámát felszíni SR-tranziensek, pl. a nagykenki SR-tranziens analízisével lokalizálták (Price et al., 2004). A vörös lidércekhez kapcsolódó polaritásparadoxon feloldásához hozzájárult a műholdakról a szubtrópusi övezetben meg-

figyelt lidércudvarokat keltő villámok polaritásának meghatározása a nagykenki SR-tranziens mérések alapján (Williams et al., 2012).

A hazai kutatásokat a K72474 számú OTKA-pályázat támogatta.

Kulcsszavak: *villámkisülés, Schumann-rezonancia tranziens, felső légköri elektro-optikai emisszió*

IRODALOM

Bór József (2011): *Villámkisülésekhez társuló felső légköri elektro-optikai emissziók és Schumann-rezonancia tranziensek vizsgálata*. NyME, Kitaibel Pál Doktori Iskola, PhD-disszertáció

Bór József – Barta Veronika (2011): Vörös lidércek - gigantikus „tűzijáték” a felső légkörben. *Fizikai Szemle*. LXI, 10, október, 343–349.

Franz, Robert C. – Nemzek, R. J. – Winckler, J. R. (1990): Television Image of a Large Upward Electrical Discharge above a Thunderstorm System. *Science*. 249, 4964, 48–51. DOI: 10.1126/science.249.4964.48

Price, Colin – Greenberg, E. – Yair, Y. – Satori G. – Bór J. – Fukunishi, H. – Sato, M. – Israelevich, P. – Moalem, M. – Devir, A. – Levin, Z. – Joseph, J. H. – Mayo, I. – Ziv, B. – Sternlieb, A. (2004): A Ground-based Detection of TLE-producing Intense Lightning during the Meidex Mission on Board the

Space Shuttle Columbia. *Geophysical Research Letters*. 31, 20, L20107. DOI:10.1029/2004GL020711

Satori Gabriella – Szendrői J. – Verő J. (1996): Monitoring Schumann resonances - I. Methodology. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. 58, 13, 1475–1481. DOI: 10.1016/0021-9169(95)00146-8

Schumann, Winfried Otto (1952): Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist. *Zeitschrift für Naturforschung*. A, 7, 6627–6628.

Williams, Earle – Kuo, C. L. – Bór J. – Satori G. – Newsome, R. – Adachi, T. – Boldi, R. – Chen, A. – Downes, E. – Hsu, R. R. – Lyons, W. – Saba, M. – Taylor, M. – Su, H. T. (2012): Resolution of the Sprite Polarity Paradox: The Role of Halos. *Radio Science*. 47, RS2002, DOI:10.1029/2011RS004794



GEOMÁGNESES INDUKCIÓ FORRÁSVIZSGÁLATOK ÉS AZ EURÓPAI LITOSZFÉRALEMEZ ELEKTROMOS MODELLJE AZ INDUKCIÓS KOCKÁZAT BECSLÉSÉHEZ

Ádám Antal

az MTA rendes tagja,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Kis Árpád

PhD, tudományos főmunkatárs,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Lempenger István

PhD, tudományos főmunkatárs,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Novák Attila

PhD, tudományos főmunkatárs,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Prácser Ernő

PhD, tudományos főmunkatárs,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Szarka László

az MTA doktora, főosztályvezető,
MTA Titkárság Kutatóintézeti Főosztály, Budapest
(2010-ig MTA Geodéziai
és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron)

Wesztergom Viktor

a földtudomány kandidátusa, tudományos igazgatóhelyettes,
MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron
wesztergom.viktor@csfk.mta.hu

A napviharok, a geomágneses viharok, az auróra lenyűgöző optikai jelensége és a földfelszín távoli pontjai között fellépő nagy elektromos potenciálkülönbségek közötti kapcsolat már az ún. Carrington-eseményt (az 1859. szeptember elsejei, rendkívüli napkitörést, azaz flert) követően bizonyossággá vált. Ez a napkitörés okozta az eddigi megfigyelések szerinti legnagyobb mágneses vihart, amelynek következtében az auróra fényára a köze-

pes geomágneses szélességeket is betöltötte, és a táviróhálózatban súlyos működési zavarokat okozott. A technika történetének talán legnagyobb hatású napfizikai eredetű „bal-esete” 1989. március 13–14-én történt, amikor is egy geomágneses vihar során a kanadai Montrealban a Hydro Quebec erőmű meghibásodása kilencórányi, legalább hatmillió embert érintő teljes áramkimaradást okozott. Svédországban ugyanakkor hat különböző