

Zivatarokhoz köthető elektro-optikai jelenségek és megfigyelésük a világűrben

BARTA MÁRTON, BÓR JÓZSEF, HEGEDÜS TIBOR

Bevezetés

A litoszférát és atmoszférát magába foglaló globális légköri elektromos áramkör a negatív többlettöltést hordozó földfelszín és az földhöz képest pozitív töltésű alsó ionoszféra, mint két vezető réteg között kialakuló potenciálkülönbségen alapul¹. A feszültség a zivatarok töltésszétválasztó hatására jön létre. A potenciálkülönbség következtében megindulnak az annak kiegyenlítésére irányuló folyamatok, melyek szép időben (fair weather) egy gyenge vertikális légköri áram formájában öltenek testet. Ez egy kvázi-stacionárius áram, ami annak köszönhető, hogy a potenciálkülönbség az ionoszféra és a földfelszín között nagyjából állandó. A két vezető réteg között lévő térrész (troposzféra, sztratoszféra, mezoszféra) nem jó vezető, ezért az elektromos tér következtében csak egy kis áramsűrűségű áram folyik benne (néhány pA/m², a globális kondenzátort kisütő áram). A zivatarok közben föllépő elektromos töltéstranszport (a globális kondenzátor töltése) két lépcsőben történik, egyszer a föld és a zivatarfelhő között, egyszer pedig a zivatarfelhőtől az ionoszféráig folyó áramok formájában.

Zivatarokhoz köthető elektro-optikai jelenségek

A zivatarokat számos, fénykibocsátással járó extrém energiájú elektromos jelenség kíséri. Ezek közül a leggyakoribb és mindenki által ismert jelenség a villámlás. A zivatart úgy is definiáljuk, mint olyan felhőrendszert, melyben villámlás fordulhat elő. A villám erőteljes fény- illetve hanghatással járó elektromos kisülés, mely a zivatarfelhő és a földfelszín között vagy két felhő között jön létre. Tehát mindenképp a zivatarfelhők és a felszín közötti tartományban következik be és töltéseket szállít a föld és a felhők között. Ekkor a felhőben pillanatnyilag felhalmozódott többlettöltés (vagy egyenlőtlen töltéseloszlás) következtében a zivatarfelhő és az ionoszféra között egy rövid ideig fönnálló elektromos mező jön létre. Ebben az elektromos térben, illetve a villámkisülés által keltett egyéb hatások következtében (pl. elektromágneses impulzus – electromagnetic pulse = EMP) jönnek létre az ionoszféra és a felhő közötti térben a különböző természetes gázkisülési és elektromos gerjesztési folyamatok. Ez a légkör kb. 10-90 km közé

1 RYCOFT ET AL, 2012.

eső tartománya. A jelenségek fénykibocsátással is járnak, így felsőlégköri elektro-optikai emisszióknak nevezzük őket (FEOEM).

FEOEM-ek típusai

A FEOEM-eknek több különböző típusa van, melyekről az 1. ábra alapján adunk rövid leírást².

Lidérc udvar (sprite halo) (1. ábra: d):

Lidércudvarok 70-85 km-es magasságban keletkeznek impulzív troposzférikus villámok után, abban a tartományban, ahol a forrásvillám után fennálló elektromos tér erőssége meghalad egy kritikus értéket. Függőleges kiterjedése kb. 10 km, míg vízszintes átmérője a 100 km is elérheti. Kialakulásához szükséges, hogy a felsőlégkörben gyorsan épüljön ki nagy amplitúdójú elektromos tér.

Gyűrűlidérc (ELVES – Emission of Light and Very low frequency perturbations due to Electromagnetic pulse Sources)(1. ábra: e):

A villámok elektromágneses impulzusa által gyorsított elektronok képesek gerjeszteni a N_2 molekulákat az ionoszféra aljának magasságában (kb. 90 km). Ezek relaxáció közben fényt bocsátanak ki, amit egy gyűrű vagy fánk alakú térrészen figyelhetünk meg. A gyűrű átmérője 100-700 km lehet. Mind a lidércudvar, mind a gyűrűlidérc nagyon rövid ideig bocsát ki fényt, ami nehezíti megfigyelésüket.

Kék és óriás nyalábok (blue and gigantic jets, 1. ábra: f, g, illetve h):

A nyalábok nem villámokhoz köthetők, inkább a felhőben lejátszódó töltésszétválasztással vannak kapcsolatban. A kék nyalábok egyik csoportjában a jelenség a pozitív felhőtetőről indul meg, a töltésgóchoz elektronok áramlanak, így egy pozitív elővillám indul meg fölfelé. Ennek színe kék, és legfeljebb 10 km hosszú. Az óriásnyalábok kiindulópontja lejjebb helyezkedik el, és felhőn belüli villámból fejlődnek tovább. A kisülés itt a zivatarfelhő és az ionoszféra között történik, a nyaláb legalja a villámokhoz hasonlóan gyakran fehér színű, utána kék, míg a teteje vörös tartományban sugároz.

Vörös lidérc (red sprite)(1. ábra: c):

A troposzférikus villámkisülések után létrejött kvázi-sztatikus elektromos mező kritikus értéke fölött egy önfenntartó kisülési front indul meg lefelé. Esetenként ez el is ágazhat így változatos alakokban jelennek meg a vörös

lidércek. A vörös lidércek megfigyelése e közlemény fő témája, ezért ezeket alább részletesebben tárgyaljuk.

Egyéb FEOEM-ek:

Léteznek még felsőlégköri elektromos jelenségek, ezekről azonban kevesebb megfigyelés van, így itt csak megemlítenénk őket. A törpök (gnomes - 1. ábra: i) a felhőtető töltésgócaiból kiinduló rövidebb kisülések, a tündérek (pixies - 1. ábra: j) egy-egy képkockát érintő apró felvillanások, a trollok (TROLL – Transient Red Optical Luminous Lineament - 1. ábra: k) és pálma lidércek (1. ábra: l) vörös lidércekhez kapcsolódó ún. másodlagos emissziók.

A vörös lidércek

Vörös lidércek kialakulása

A FEOEM-ek közül a leglátványosabb és leggyakrabban megfigyelt jelenségek a vörös lidércek. A zivatarfelhő és az ionoszféra alja között troposzférikus villámok nyomán átmenetileg fennálló elektromos mező (2. ábra), ha megfelelően nagy (3. ábra), képes ionizálni a részecskéket. Ekkor a szabad elektronok a tér hatására felfelé mozognak a pozitív törzset maguk mögött hagyva, ami lokálisan erősítve a teret az alatta lévő molekulák ionizálásához vezet. Ez egy lefelé mozgó, önfenntartó kisülési frontként jelenik meg. A kritikus térerősség alatt is alakulhatnak ki lidércek, ennek magyarázata az elektronlavina elindulása (a szabad elektron a térben gyorsulva két ütközés között több energiát nyer, mint amennyit egy ütközésben veszít)³. Az elektromos tér időbeli változása és anizotrópiája következtében a lidércek alakja rendkívül változatos lehet, az elődleges kisülési csatorna elágazhat, valamint többféle kísérő optikai elem is megjelenhet. A lidércek általában néhány század másodpercig figyelhetők meg.

Nappal az ionoszféra alja lejjebb ereszkedik (50-60 km), ahol a levegő nagyobb sűrűsége miatt, jelentősen nagyobb térerősség kéne a lidércek kialakulásához. Ekkora térerősséget létrehozó villám nagyon ritka (a jelenség nappal egyébként sem lenne megfigyelhető optikailag a Nap nagyságrendekkel erősebb fénye miatt)⁴.

Vörös lidércek fénykibocsátási mechanizmusa

A kisülési csatornában mozgó szabad elektronok ütköznek N_2 molekulákkal (50-60 km fölött), melyek ennek hatására gerjesztődnek és relaxáció közben vörös illetve infravörös tartományban sugároznak (640-690, ill.

3 YUKHIMUKI, 1998.

4 BÓR – BARTA, 2011.

750-775 nm között; 4. *ábra (b) része*). Lefelé haladva dominánssá válnak a N_2^+ ionok, amik gerjesztve kék (450 nm alatti hullámhosszú) fényt bocsátanak ki (4. *ábra (a) része*), ezért a lidércek alsó része (sokszor elágazó szálak) kékes színűek, ez azonban a Rayleigh-szórás miatt nagyobb távolságról nehezebben vagy nem is észlelhető. A lidércek fényessége 0,1 - 10 MR-es (megarayleigh) tartományban mozog, ahol 1 R négyzetmétereként és másodpercenként 10^{10} db kilépő fotont jelent az észlelési irányban végtelen oszlopból. A lidércekben folyó áram fluktuálása miatt nagyon alacsony frekvenciás (<1500 Hz) elektromágneses hullámokat is kibocsátanak.

Vörös lidércek morfológiája⁵

A jelenségek elkülöníthetők egy testre - a legfényesebb rész - valamint ez alatt, fölött és ezt körbevevően megjelenő halványabb elemekre. Szálak (tendrils): a test alatt megjelenő, annál halványabb és vékonyabb, általában sokszorososan elágazó kisülési csatornák, sokszor kék színnel (5. *ábra*). A kiinduló csatorna folytatásában lévő, lefelé fejlődő kisülések. Elágazásaikat jól leírják a fraktálmodellek. Gyöngyöknek (beads) nevezzük a lidércekben megjelenő fényesebb pontokat (5. *ábra*). Elhelyezkedésük változatos: megfigyelhetők a szálak között (azok elágazásainál, kereszteződésénél), a test mentén (főleg fölfelé haladó csatornák mellett) illetve a test alatt, annak folytatásában (ezek az ún. foltok (spots)). Élettartamuk jóval hosszabb lehet, mint a lidérc többi részéé (megfigyeltek 100 ms-nál hosszabbat is). A pamacsok (puffs) a lidérc teste fölött megjelenő maszatos (diffúz) felhők, mindig a magasabb régiókban jelennek meg (5. *ábra*). Néha megfigyelhető, hogy a testtel halvány csatornák kötik össze (ezek mindig fölfelé fejlődnek), melyek fölfelé egyre elmosódottabbak lesznek, míg szét nem terjednek a pamacsban. Diffúz felhők megfigyelhetők a test mentén is, a kisülési csatornák magasságában. Ezen felfénylések (glows) általában fölfelé kiszélesedve, körte formában jelennek meg. A pamacsoktól alakjuk, valamint helyzetük (nem a test fölött, attól jól elkülönülve, inkább mellette/körülötte láthatók) alapján lehet megkülönböztetni.

A lidérceket testük alakja alapján osztályozhatjuk. *Oszlop* vagy *c-lidércek* (column, columniform – erre utal a *c* is): lefelé haladó kisülésekből álló oszlopszerű alakban, függőlegesen megjelenő lidércek (6. *ábra*). Az oszlopok követik a jelenlévő átmeneti elektromos tér erővonalait, de megfigyeltek a függőlegestől eltérő oszlopos lidércet is. Ez a helyi elektromos mező függőlegestől eltérő pillanatnyi irányultságára utal, ami adódhat a forrásvillám komplexitásából, az ionoszféra alsó rétegének zavaraiából, vagy utalhat egyéb elváltozásokra a mezőben (amit akár korábbi lidércek is okozhatnak).

Villacsont (wishbone) vagy *V*, illetve *fa* alak esetén már megjelennek fölfelé fejlődő ágak is, a villacsont (*V* alak) esetében kettő, míg a fánál több jól elkülöníthető csatorna indul fölfelé (6. ábra). Fa esetében az ágak száma kevés, nem szokott kettő-háromnál több lenni, és további elágazások is csak nagyon ritkán figyelhetők meg. Az oldalágak sokszor a központi résszel párhuzamossá válnak (főleg hosszabb ágak esetén) fölfelé haladva. Ilyen típusú lidércek oldalról szemlélve könnyen összekeverhetők az oszlopokkal, valamint fordítva is, egymáshoz közel lévő vagy egymás mögött fekvő oszloplidérceket is lehet villacsontnak vagy fának nézni. A hibás meghatározás sokszor csak jobb felbontású (időben vagy térben) film segítségével, vagy több szögből készült egyidejű felvételek összehasonlításával korrigálható (ha rendelkezésre áll ilyen).

Az *angyal* (angel) vagy *madár* alakú lidércek abban különböznek a fáktól, hogy a felfele haladó oldalágak hirtelen megtörve ferdén lefele irányulnak, a központi törzstől kifelé (6. ábra). Mind a szárnyak föl- illetve lefelé irányuló része hajolhat a törzs felé (hasonlóan a fákhöz/villacsontokhoz). Általában megfigyelhető egy központi oszlop, aminek legtöbbször mindkét oldalán vannak szárnyak, de van rá példa, hogy ez csak az egyik oldalon látszik. Az angyalok általában fényesebb emissziók közé tartoznak.

Répának (carrot) neveznek minden olyan lidércet, ami valamennyire répára hasonlít: a központi test fölül szélesebb és lefelé keskenyedik, a test alatt megjelenhetnek gyökerekre emléktető szálak, míg a test fölött levelekre hajazó pamacsok lehetnek (5. ábra). Nagy időbeli felbontású felvételek alapján látható, hogy a répalidércekben föl-, illetve lefelé haladó frontok is vannak.

Lidércek gyakran csoportosan jelennek meg. Egyik speciális csoportos forma a *medúza* (jellyfish). Itt nagy számban jelennek meg lidércek erőteljes felfénylésekkel és feltűnően hosszú és sűrűn elágazó szálrendszerrel (7. ábra). A szoros elhelyezkedés és a sok fényes elem miatt a lidércek alakja sokszor nehezen kivehető, de valószínűleg jobbára oszlopos lidércek alkotják a csoportokat. Egy másik speciális csoport a *táncoló lidérc* (dancing sprites). Ekkor nem egyszerre, hanem gyors egymásutánban jelennek meg hasonló alakú lidércek kis térbeli eltolással, a jelenség ugráló hatását keltve.

Vörös lidércek megfigyelése

A FEOEM-ek megfigyelése történhet közvetlenül, megfelelően nagy érzékenységű kamerával. A kamerát aktív zivatarok fölötti térrészre irányítva és videofelvételeket vagy képsorozatot készítve bukkanhatunk egy-egy képkockán lidércekre. A vörös lidércek nem a leggyakrabban előforduló FEOEM-ek, de a leggyakrabban megfigyelték. A gyűrűlidércekhez illetve lidércudvarokhoz képest hosszabb fennállásuknak, és általában valamivel

nagyobb fényességüknek köszönhetően könnyebben észlelhetők, a nyaláboknál pedig helyzetük (a nyalábok közvetlenül a felhők fölött helyezkednek el) és színük (a kék jobban szóródik a légkörben) teszi őket jobban láthatóvá. A lidérc képen megjelenő fényessége függ mind a kisülési csatorna fényerejétől, mind fennállásának idejétől. Egy lassan mozgó halványabb kisülési front hasonló fényességgel jelenik egy képkockán, mint egy gyorsabb, fényesebb kisülés. Az alaki jellemzők megfigyelése így sokszor nem lehet teljes, mivel elképzelhető, hogy valamely elem jelen van, de halvány-sága miatt nem látható. Nagyobb időbeli felbontású kamera használatával a kisülési frontok mozgása is megfigyelhető.

A vörös lidércek közvetetten is észlelhetők, a csatornában folyó áram fluktuációja következtében kibocsátott alacsony frekvenciás rádióhullámok kis csillapításuk miatt akár 1000 km-es távolságból is észlelhetők. A lidércek elektromos tevékenysége miatt módosítják légkörben terjedő VLF hullámokat (very low frequency – nagyon alacsony frekvenciás hullámok; pl. katonai adók is bocsátanak ki ilyeneket), azok terjedési irányát, amplitúdóját valamint fázisát, ezáltal VLF lidércnek nevezett jeltorzulásokat létrehozva⁶. Ezen kívül a felsőlégkörben kialakuló kisülés infrahangot is kelt, ami akár 1000 km-es távolságban is még észlelhető⁷.

A lidércek a zivatarfelhők fölött fölépülő ideiglenes elektromos térben alakulnak ki. Ennek a térnek a tulajdonságai nagyban függenek a megelőző troposzférikus villámoktól. A villámkisülések szinte az egész rádiófrekvenciás tartományban sugároznak (atmoszferikék)⁸, legintenzívebben a VLF tartományban⁹, de jellemzően az ELF tartományban is (Extremely Low Frequency – extrém alacsony frekvenciás hullámok). A földfelszínen és az ionoszféra határfelületén ezek a hullámok csak elhanyagolható mértékben hatolnak át, inkább a Föld-ionoszféra hullámvezetőben terjednek. A két réteg közötti gömbhéjban mint üregben állóhullámok alakulnak ki (Schumann-rezonancia)¹⁰. Az egész Földet figyelve a folyamatos villámtevékenység (másodpercenként 40-50)¹¹ egy állandó háttérzajt tart fenn, míg a nagyobb töltésmomentum-változású villámok (a töltésmomentum-változás a kisülési csatornában átáramlott töltésmennyiség és a csatorna hosszának, illetve magasságának a szorzata) ebben a jelben kiugrásokként jelennek meg (SRT – Schumann-rezonancia tranziens). Mivel a vörös lidércek is többnyire nagy töltésmomentum-változással bíró villámok nyomán jönnek létre, így az SRT-t keltő villámok legtöbbször vörös lidércek forrás-

6 RODGER, 2006, MIKA, 2007.

7 FARGES, 2009.

8 POPOV, 1986.

9 UMAN, 1987.

10 SCHUMANN, 1952.

11 CHRISTIAN ET AL, 2003.

villámai is. Az SRT-k alapján a forrásvillám töltésmomentum-változása meghatározható, ami kulcsfontosságú szerepet játszik zivatar fölötti kvázi-stacionárius elektromos tér kialakulásában is. Így a lidércek összekapcsolása a forrásvillámokkal hasznos információkkal szolgál az elektromos mezőről, amelyben létrejönnek.

FEOEM-ek űrből való megfigyelése – az UHU kísérlet

Motiváció

A zivatarfelhők és az alsó ionoszféra közötti kisülés lehetőségét C.T.R. Wilson vetette föl először 1925-ben, de az első, az elméletet megerősítő hiteles felvétel csak 1989-ban készült. Azóta rendszeresen és egyre jobb minőségben készülnek felvételek a felszínről, de innen számos zavaró hatás akadályozza a megfigyeléseket, kezdve a légköri extinkciótól (Rayleigh-szórás), időjárási elemeken (felhőzet), domborzaton át, a helyhez kötöttségig. Ennek kiküszöbölésére indultak projektek a FEOEM-ek világűrből való vizsgálatára, ahonnan a légkör zavaró hatásait megkerülve és globális lefedettséggel lehet megfigyeléseket végezni.

Korábbi észlelések a világűrből¹²

A FEOEM-ek első észlelései nem célzott megfigyelések voltak, hanem a jelenség felfedezését követően azonosították a jelenségeket korábbi űrfelvételeken, amelyek a Föld aktív zivataros területei fölött készültek¹³.

Az első űrbeli megfigyelések a Nemzetközi Űrállomásról (International Space Station - ISS) történtek 2001 és 2004 között.¹⁴

2003-ban a MEDEIX (Mediterranean Israeli Dust Experiment) kísérlet keretein belül történtek célzott megfigyelések a Columbia űrsikló fedélzetéről. A küldetés elsődleges célja a por felhőkre gyakorolt hatásának a vizsgálata volt a Földközi-tenger térségében. Ehhez társult másodlagos feladatként a pálya éjszakai felén FEOEM-ek megfigyelése. A felvételezést egy kézzel irányított kamerával végezték, ami jóval sikeresebbnek bizonyult, mint a korábbi, rögzített állású felvételek. Az űrsikló nagy sebessége miatt rövid időablak adódott a jelenségek megfigyelésére, ezért a potenciális villámtevékenységet mutató zivatarok előrejelzése alapvető fontosságú volt. A küldetés során több, mint 6 órányi anyagot filmeztek, melyben 17 FEOEM eseményt azonosítottak.

A Cosmic Shore nevű küldetés során, 2011-ben, már az ISS Kupolájából (Cupola modul) történtek megfigyelések. Az egység ablakából egy

12 YAIR ET AL, 2023.

13 VAUGHAN ET AL, 1992., BOECK ET AL, 1995.

14 BLANC ET AL, 2007.

kézi kamerával a megfelelő irányba fordulva készültek videók, az űrsikló mozgékonyását pótolta a Kupola széles látószöge. A zivatarok előrejelzése a földi csapat által, a SIGWX (Significant Weather Maps) alapján történt. Sikerült 10 FEOEM-et valós színben rögzíteni, egy lidércudvar, valamint egy forrásvillámától horizontálisan eltolt lidérc első nadír irányú dokumentálása mellett. A projekt hiányossága volt, hogy a képkockákhoz nem volt elég pontos idő csatolva, illetve a kép készítésének iránya sem volt megfelelően regisztrálva, így a megfigyelt eseményekhez nem volt társítható forrásvillám.

A 2015-ös THOR projektre kifejlesztett előrejelzésekkel már 3 nappal előre tudtak jelezni megfigyelési célpontokat az űrállomáshoz képest vett helyzettel (megfigyelési szög) együtt.

2022-ben az ILAN-ES (Imaging of Lightning And Nocturnal Emissions from Space) kísérlet során 15 nap alatt 45 eseményt sikerült regisztrálni. A megfigyelendő célpontok előrejelzése igen fontos az űrhajósok szigorú napirendi beosztása miatt (az ILAN-ES például egy volt az asztronauta 34 elvégzendő kísérlete közül), így az előre jelzett 15-20 perces időablakokban kellett a felvételeket elkészíteni. A felvételekhez egy Nikon D6-os kamerát használtak 6400 ISO 60 fps-es (frames per second) felvételi sebességgel és 1920×1080 pixeles képfelbontással.

A HUNOR program UHU kísérlete

A HUNOR program keretén belül Magyarország űrhajóst küld a Nemzetközi Űrállomásra, ahol ott tartózkodásának ideje alatt különböző kísérleteket kell végrehajtania. Az erre kiírt pályázatra beadott egyik javaslat az UHU kísérlet, amelynek célja, hogy FEOEM-eket figyeljenek meg, ezáltal remélve jobb megértésüket. Mivel ezek összekötik troposzférát a felsőbb léggrétegekkel, e rétegek kapcsolatának jobb megértését érhetjük el tanulmányozásukkal. Ezen túlmenően a légköri elektromos aktivitás az éghajlatváltozás egy indikátora is. A küldetés céljai:

- FEOEM-ek felvétele az űrből
- földi és légi megfigyelések összevetésével 3D-s kép alkotása
- a megfigyelt eseményt keltő villám meghatározása -> elektromos paraméterek
- az eredmények megosztása, a tudományterület népszerűsítése

Az UHU a jól megalapozott, új eredményeket is hozó űrbeli megfigyeléseket párhuzamos földi megfigyelésekkel kombinálná, egy FEOEM földi és űrből való egyidejű felvételét megcélózva, ami eddig még nem valósult meg a korábbi küldetések alkalmával. A több irányból készült képek összevetésével a lidérc 3D-s modelljét szeretnék létrehozni. A kiterjedt földi megfigyelési kampányban segít az amatőrök és kutatók bevonása világszer-

te az International Observers of Upper Atmosphere Electric Phenomena Facebook-csoporton keresztül, ahol a világ minden tájáról megosztják a téma iránt érdeklődők a FEOEM-ekről készített képeiket. Párhuzamos földi megfigyelésekkel háromszögeléssel meg lehet határozni a pontos helyét az eseményeknek. A kiváltó villámmal való összekapcsolás is fontos, mivel a villámkisülés elektromos tulajdonságai (a kibocsátott ELF sávú jelek alapján meghatározhatók), elsősorban a töltésmomentum-változása, szoros összefüggésben állnak a lidérceket kiváltó tér létrejöttével.

A kísérlet (megfigyelések) sikeres megvalósulása bővíti a FEOEM-ek és a villámaktivitás világűrből tett megfigyeléseinek az adatbázisát. Ezt az adatbázist az események mesterséges intelligencián alapuló, gépi tanulásos módszerrel való felismerésének betanításához használhatják fel. Ez lehetővé teszi a későbbiekben, hogy az ilyen eseményeket rögzített, széles látószögű kamerák felvételein könnyen lehessen azonosítani és kiértékelni. Hosszú távon ez az információ nagyban segíti az extrém időjárási események globális előfordulásának a felmérését, hiszen a vörös lidércek és más FEOEM-ek is extrém villámkisülések és különösen intenzív elektromos folyamatok eredményeképpen alakulnak ki. Ezek a statisztikák használhatóak a globális éghajlatváltozás kutatásában, tekintve, hogy a globális felmelegedés egyik várható következménye az időjárási szélsőségek számának megnövekedése¹⁵.

A küldetés tervezése során fölhasználták a megelőző küldetések tanulságait, a már kidolgozott módszereket átvették. A megfigyelési pontok előrejelzése a THOR és ILAN-ES küldetések során használt módszer alapján fog történni (Significant Weather Map alapján – zivatarfelhők, aktivitásának, legnagyobb magasságának előrejelzése segítségével + Worldwide Lightning Location Network – villámok -> potenciális FEOEM-ek: THOR módszer), míg a felvételek készítésére az ILAN-ES alatt is használt Nikon D6-os kamerát tervezik használni, ami már bizonyítottan alkalmas megfelelő felvételek készítésére.

Összefoglalás

A vörös lidércek és az egyéb légköri elektromos jelenségek fontos részét képezik globális környezetünknek, vizsgálatukkal és jobb megértésükkel tágíthatjuk ismereteinket a légkörben zajló folyamatokról, a légkör rétegei között fennálló kapcsolatokról. Mindemellett az atmoszféra elektromos aktivitása az éghajlatváltozás indikátora is. További információkhoz juthatunk a lidércek morfológiájának és környezetük kapcsolatát illetően különböző helyeken megfigyelt lidércek alaki tulajdonságait összehasonlítva. Az UHU programtól is a lidércek mélyebb megismerését várjuk, ha sikerül

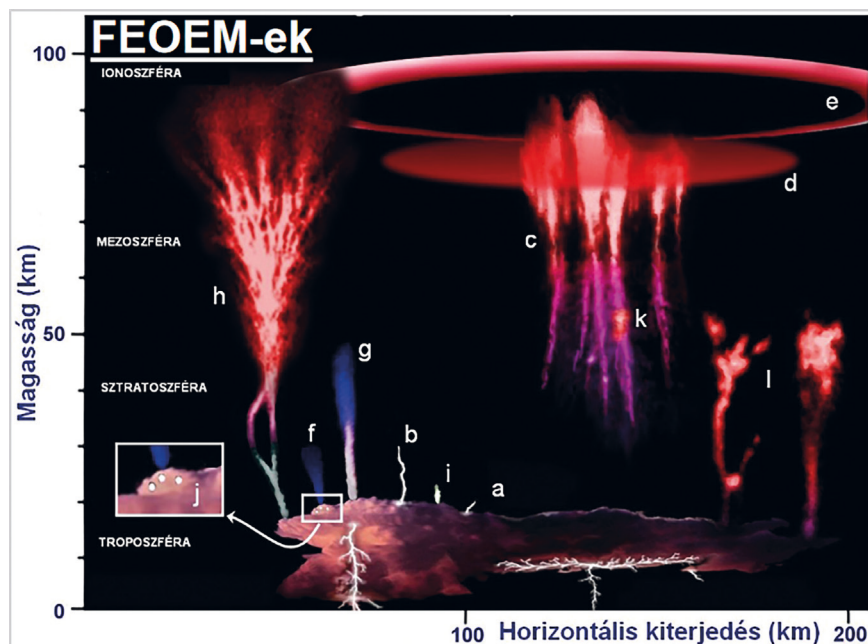
többirányú megfigyeléssel jelenség 3D képét rekonstruálni. Egy másik kiemelt cél a tudományterület népszerűsítése, megismertetése érdeklődőkkel, fiatalokkal.

Köszönetnyilvánítás

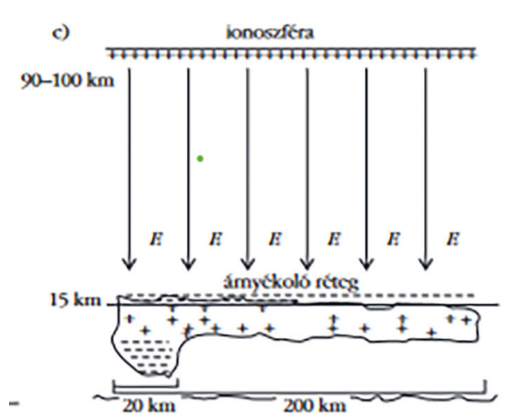
Szeretnénk megköszönni, Panagiotis Tsuorasnak képekkel való hozzájárulását a közleményhez.

A szerzők köszönetet mondanak a COST CA-15211. sz., Atmospheric Electricity Network: coupling with the Earth System, climate and biological systems (ELECTRONET) c. Akciójának támogatásáért.

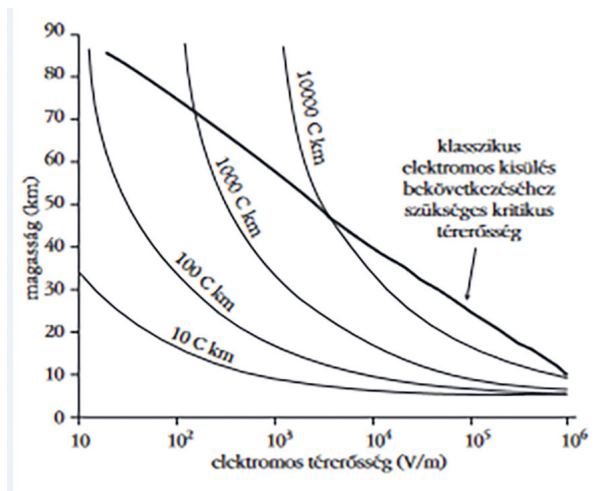
Ábrák



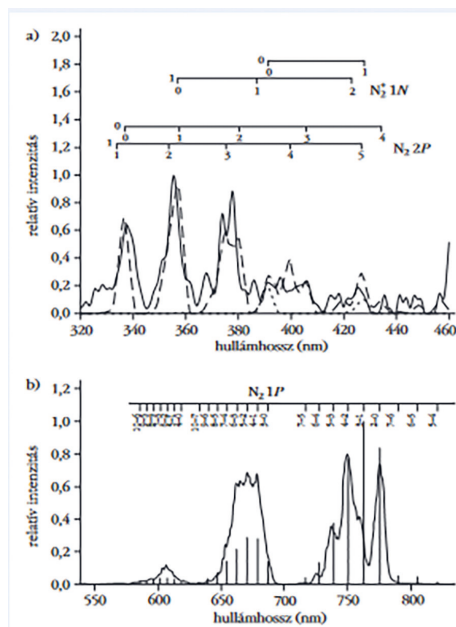
1. ábra: FEOEM-ek típusai [Bór, 2010]



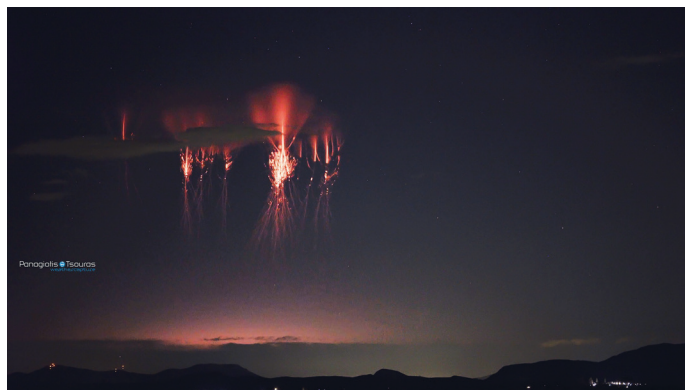
2. ábra: Kvázisztatikus elektromos tér zivatarfelhők és az ionoszféra között [Bór – Barta, 2013 alapján]



3. ábra: Elektromos térerősség a magasság függvényében, különböző függőleges töltésmomentumú villámok nyomán [Bór – Barta, 2013 alapján]



4. ábra: Vörös lidércek spektruma. (a): az N_2 2P és az N_2 1N gerjesztésének spektruma; szaggatott vonallal modell alapján számolt, folytonosan a mért eredmény; (b): N_2 molekula 1P gerjesztésének spektruma [Bór – Barata, 2013 alapján]



5. ábra: Répa alakú vörös lidércek, jól megfigyelhető szálakkal alul és pamacsokkal fölül. [Panagiotos Tsouras fényképe]



6. ábra: Különböző lidércek: a kép bal oldalán oszlop illetve fa alakú lidércek a jobb oldalon angyalok láthatók. [Panagiotis Tsouras fényképe]



7. ábra: Medúza – csoportos lidércformáció [Panagiotis Tsouras fényképe]



8. ábra: Vörös lidérc a Nemzetközi Űrállomásról [Eytan Stibbe – ILAN-ES]

Irodalom

Blanc et al, 2007: Blanc, E., Farges, T., Brebion, D.: Main results of LSO (Lightning and sprite observations) on board of the international space station. *Microgravity Sci. Technol* 19 (2007) 80–84.

Boeck et al, 1995: Boeck, W. L., Vaughan, O. H. Jr., Blakeslee, R. J., Vonnegut, B., Brook, M., McKune, J.: Observations of lightning in the stratosphere. *Journal of Geographical Research: Atmospheres* 100 (D1) (1995) 1465-1475.

Bór, 2010: Bór J.: *Villámkisülésekhez társuló felsőlégköri elektro-optikai emissziók és Schumann-rezonancia tranziensek vizsgálata*. PhD értekezés, Sopron (2010).

Bór – Barta, 2011: Bór J., Barta V.: Vörös lidércsek – gigantikus tűzijáték a felsőlégkörben. *Fizikai szemle* 10 (2011) 343-349.

Bór, 2013: Bór J.: Optically perceptible characteristics of sprites observed in Central Europe in 2007-2009. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 92 (2013) 151-177.

Bór, 2015: Bór J.: Felsőlégi elektro-optikai emissziók megfigyelése a világűrben. Űrfórum poszter (2015).

Christian et al, 2003: Christian, H.J., Blakeslee, R.J., Boccippio, D., Boeck, W.L., Buechler, D., Driscoll K., Goodman S.J., Hall, J., Mach D. and Stewart M.F., Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector. *Journal of Geophysical Research* 108(D1) (2003) pp. 4005–4019.

Ebi et al, 2021: Ebi K.L., Vanos J., Baldwin J.W., Bell J.E., Hondula D.M., Errett N.A., Hayes K., Reid C.E., Saha S., Spector J., and Berry P. Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. *Annual Review of Public Health* 42 (2021) 293-315

Farges, 2009: Farges, T.: Infrasound from Lightning and Sprites. In: Betz, H.D., Schumann, U., Laroche, P. (eds) *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Springer, Dordrecht. (2009)

Mika, 2007: Mika Á.: Very Low Frequency EM Wave Studies of Transient Luminous Events in the Lower Ionosphere, PhD Thesis, Department of Physics, Faculty of Astrophysics and Space Physics, University of Crete, Heraklion, (2007)

Popov, 1896: Popov A.S. The Apparatus for Detecting and Recording Electrical Oscillations, *Russian Physical Chemical Society* 28 (1896) 1-14

Rodger – McCormick, 2006: Rodger, C.J., McCormick, R. Remote sensing of the upper atmosphere by VLF. In: Füllekrug, M., Mareev, E.A., Rycroft, M.J. (eds) *Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges*. NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry, vol 225. (2006) Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4629-4_8

Rycroft et al, 2012: Rycroft, M. J., Nicoll, K. A., Aplin, K. L., Harrison, R. G.: Recent advances in Global Electric Circuit coupling between the space environment and the troposphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 90–91 (2012) 198–211.

Schumann, 1952: Schumann W. O.: Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist. *Zeitschrift und Naturforschung* 7a (1952) 149-154.

Uman, 1987: M.A. Uman, *The lightning discharge*. In: W.L. Donn, Editor, International Geophysics Series, Volume 39, Academic Press, New York (1987)

Vaughan et al, 1992: Vaughan, O. H. Jr., Blakeslee, R., Boeck, W. L., Vonnegut, B., Brook, M., McKune, J. Jr.: A cloud-to-space lightning as recorded by the space shuttle payload-bay TV cameras. *Monthly Weather Reviews* 120 (1992) 1459-1461.

Yair et al, 2023: Yair, Y., Korman, M., Price, C., Stibbe, E.: Observing lightning and transient luminous events from the international space station during ILAN-ES: An astronaut's perspective. *Acta Astronautica* 211 (2023) 592-599.

Yukhimuk et al, 1998: Yukhimuk, V., Roussel-Dupré R. A., Symbalisty E. M. D., and Taranenko Y.: Optical characteristics of Red Sprites produced by runaway air breakdown, *Journal of Geographical Research* 103 (D10) (1998) 11473–11482, doi:10.1029/98JD00348

Internetes források

Pnagiatos Tsouras képei: <https://www.flickr.com/photos/chubros/> illetve International Observers of Upper-Atmospheric Electric Phenomena (facebook csoport): <https://www.facebook.com/groups/376355972487572>

Thunderstorm related upper atmospheric transient luminous events

MÁRTON BARTA, JÓZSEF BÓR, TIBOR HEGEDÜS

The global atmospheric electric current (GEC) as a system is generated by the charge distributing processes during thunderstorms. We discuss atmospheric electro-optical phenomena as an integrated part the GEC, focusing on intense discharges during thunderstorms, resulting in transient luminous events (TLE) between the cloud top and the lower ionosphere. Red sprites are the most commonly observed group of TLEs; they occur following intense tropospheric lightning discharges that cause a transient quasi-static electric field stretching between the clouds and the ionosphere. At a critical strength of the field, a streamer starts and propagates downwards, free electrons excite N_2 molecules leading to red light emissions. We discuss the forming and morphological properties of sprite events and different means of capturing them.

In the second part, we introduce the UHU proposal, which is a possible experiment hoped to be conducted by the astronaut of the HUNOR mission (Hungarian to Orbit – Hungary's ongoing mission to send a man to the International Space Station). UHU aims to collect images of TLEs from space, paired with extensive observations from the surface, in the hope of capturing the same event both from the Earth's surface and from orbit, a result that has never been achieved before.