

# Felsőléggörbi elektro-optikai jelenségek távvezérelt észlelése Bajáról

BÓR JÓZSEF<sup>1\*</sup>, HEGEDÜS TIBOR<sup>2</sup>, JÄGER ZOLTÁN<sup>2</sup>, MOLNÁR TIBOR<sup>1</sup>,  
MOLNÁR CSABA<sup>1</sup>, SZABÓ CSONGOR<sup>1</sup>, SZABÓNÉ ANDRÉ KAROLINA<sup>1</sup>,  
ZELKÓ ZOLTÁN<sup>2</sup> ÉS DÖBRENTAI LÁSZLÓ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (ELKH FI), Sopron

<sup>2</sup>Szegedi Tudományegyetem Bajai Observatóriuma, Baja

<sup>3</sup>Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont (ELKH CSFK), Budapest

## Absztrakt

A felsőléggörbén előforduló elektromos eredetű emissziók (FEOEM) optikai észlelése céljából egy távról vezérelhető megfigyelőrendszert telepítettünk Baján 2014-ben. E jelentés tartalmazza a rendszert alkotó eszközök típusát, a valós idejű eseményészleléshez és rögzítéshez használt szoftverek leírását és beállításait, valamint ismertetjük a sikeres megfigyelésekhez alkalmazott eljárás menetét. Ezen kívül áttekintjük a 2020-ig rögzített észleléseket is. A hét év során 1648 FEOEM felvétel készült, amelyek 92.7%-a vörös lidércet, 6.4%-a lidércudvar, összesen 3 felvétel pedig gyűrűlidércet tartalmaz. A legtöbb vörös lidércet júniusban észleltük, a lidércudvarok tekintetében pedig a szeptember volt némileg eseménydúsabb a vizsgált időszakban.

**Kulcsszavak:** felsőléggörbi elektro-optikai emissziók, vörös lidérc, optikai észlelés, távvezérlés.

## Bevezetés

A zivatarfelhők teteje és az ionoszféra közötti légrétegben megfigyelhető, különféle morfológiájú és dinamikájú, egy másodpercnél rövidebb idő alatt lejátszódó fényjelenségek létét többnyire a 80-as évek második felében, illetve a 90-es években igazolták. E jelenségek zivatarcellák elektromosan aktív területei fölött, a felsőléggörbén

---

\*Levelező szerző: Bór József (bor.jozsef@epss.hu)

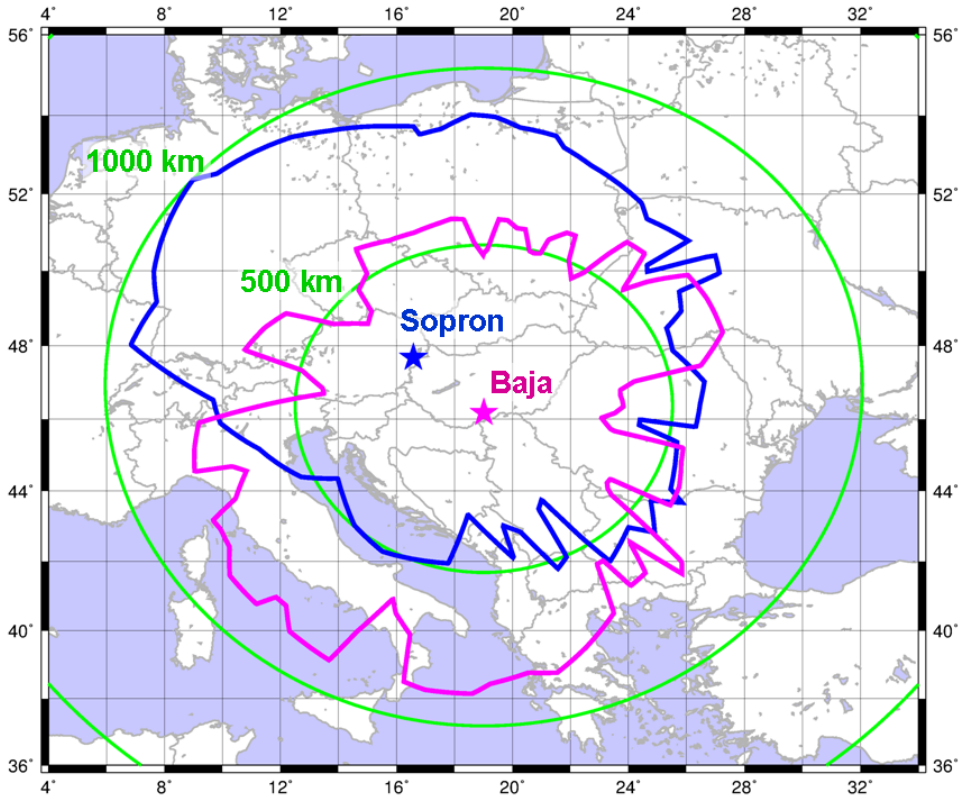
bekövetkező elektromos kisülések során keletkező fényemissziók. Mivel az ezeket kiváltó folyamatok közvetlenül köthetők a zivatarfelhőkben lejátszódó intenzív töltés-sztérválasztáshoz és gyors töltésátrendeződésekhez (pl. villámkisülések), e jelenségkörbe tartozó eseményeket Felsőlégtöri Elektro-Optikai Emisszióknak (FEOEM), az angol szakirodalomban Transient Luminous Event (TLE) nevezzük. A FEOEM jelenségkörbe tartozó változatos emissziók (vörös lidérc – red sprite, lidércudvar – sprite halo, kis/kék/óriás nyaláb – blue starter / blue jet / gigantic jet, gyűrűlidérc – ELVES) kialakulására és tulajdonságaira vonatkozó jelenlegi ismereteink összefoglalása a szakirodalomban fellelhető (Bór & Barta, 2011; Pasko és társai, 2012; Siingh és társai, 2012; Surkov & Hayakawa, 2020).

A FEOEM-ek vizsgálatával a különösen intenzív villámok és töltésszállító folyamatok tanulmányozhatók, és jobban megismerhetők a légkör alsóbb és felső rétegeiben, illetve ezek között bekövetkező kémiai és fizikai-elektrodinamikai csatolási folyamatok (Singh és társai, 2011; Gordillo-Vázquez & Pérez-Invernón, 2021). Ez indokolja, hogy több kontinens számos régiójában folynak FEOEM megfigyelések, illetve néhány űrmisszió dedikált feladatai közé tartozik e jelenségkör észlelése (Hsu és társai, 2017; Neubert és társai, 2019; Arnone és társai, 2020).

Hazánkban a tudományos kutatást szolgáló, szervezett FEOEM észlelések 2007-ben indultak Sopronban (Bór és társai, 2009; Bór, 2009; Bór és társai, 2018). A soproni állomásról jól belátható a FEOEM észlelések szempontjából releváns magasságtartomány (kb. 90 km-ig) Közép-Európa fölött (1. ábra), beleértve Magyarországot, Szlovákiát, a Cseh Köztársaságot, Ausztriát, Németország dél-keleti részét, Lengyelország déli részét, Szlovéniát, Horvátországot, Szerbia és Bosznia északi részét és Románia nyugati szélét (Bór és társai, 2009). Különösen ősszel és télen azonban a zivatartevékenység a mediterrán térségbe tolódik (Arnone és társai, 2020). Annak érdekében, hogy ebben az időszakban növeljük a megfigyelhető területet dél felé, az ország déli szélén, Baján létesítettünk egy újabb észlelőállomást 2014-ben (1. ábra). E jelentésben ismertetjük, hogy milyen eszközök alkotják ezt a második észlelőrendszert, bemutatjuk az észleléshez és az események rögzítéséhez használt programokat és alkalmazásokat, továbbá leírjuk az észlelések menetét. Ezt követően a megfigyelések megkezdésétől 2020-ig rögzített észleléseket tekintjük át.

## **Az észlelőállomás: Csillagászati Observatórium, Baja**

Az obszervatórium (46.180278° N, 19.010833° E, 110 m tengerszint fölött) 4 km-re található Baja központjától egy kb. 4 ha-os védett területen, ahol a fényszennye-



1. ábra. Lefedettségi terület 50 km-es magasság fölötti észlelések esetén.

zés mértéke alacsony. Az obszervatórium épülete 1981-ben készült el. A kutatók állandó munkavégzés helyszínéként 1986-tól használják. A tudományos kutatások középpontjában innentől kezdődően Baján a felsőlégkör tanulmányozása áll, amelyhez műholdas észleléseket használnak fel (Ill, 1983). 1985 és 1992 között az obszervatórium egyetlen távcsöve egy 40 cm-es Cassegrain tükrös műszer (a Szegedi Tudományegyetem tulajdona) volt, amellyel kettős csillagokat (eclipsing binaries) figyeltek meg (Hegedüs és társai, 1992). Az obszervatórium következő nagy távcsövévét (50 cm,  $f/8.4$ , RC) 1995-ben állították fel. Egy új, nagy látószögű tükrös távcső fejlesztése 2005-ben kezdődött meg. Ez a műszer lett az ország első robotizált, SDSS szűrőrendszerrel felszerelt fotometrikus távcsöve, amelyre egy új, a Szegedi Egyetemen kidolgozott észlelési kezdeményezés, a BASSUS szupernóva program épült (Vinkó és társai, 2012). Ez vezetett el végül ahhoz, hogy 2020-ban egy új, 80 cm-es  $F/7$  RC robot távcső kerülhessen az obszervatóriumba. Baján a kutató-



2. ábra. Csillagászati Obszervatórium, Baja, a tetőn a FEOEM kamerával (nagyítva látható a beágyazott képen).

si tevékenység jelenleg főként szupernóvákra, a kettős és a több napos rendszerek tulajdonságainak a tanulmányozására fókuszál (Mitnyan és társai, 2018). Az asztrofizikai témájú kutatásokon túlmenően az obszervatóriumban folyó tudományos munka multidiszciplináris kutatásokra is kiterjed, mint amilyenek pl. a meteormegfigyeléseken alapuló vizsgálatok, vagy (folytatólagosan) a felsőlégkör fizikai-kémiai tulajdonságainak a vizsgálata. A 2. ábra mutatja az obszervatórium épületét a tetőre szerelt FEOEM kamerával.

### Az észlelőrendszer elemei

A Baján működő rendszer sok tekintetben hasonló a sopronihoz (Bór és társai, 2009), de nem teljesen ugyanaz. A kamera azonos típusú: Watec 902H2 Ultimate 1/2", CCIR. A kamera alkalmazott konfigurációja gyenge fényerejű események észlelését támogatja úgy, hogy a felvételek közben viszonylag kevésbé zajosak és így a téves eseményriasztások száma alacsonyan tartható. Ez a kézi erősítés tapasztalaton alapuló beállításával érhető el. Az észlelőszoftver beállításainál tárgyaljuk, hogy hogyan állapítható meg, hogy a beállítás optimális-e. A kamerán alkalmazott további beállítások: elektronikus zár (electronic shutter) kikapcsolva, az automata

exponálás (auto exposure, AE) pedig a 8-as pozícióra állítva, ahol az exponálási index (exposure index, EI) nincs figyelembe véve és a zársebesség a legalacsonyabb, azaz 1/50 s.

A bajai kamera Tamron 12VG412ASIR (F=1.2) aszférikus, infravörös-korrigált objektívvel szerelt. A fókusz távolságot úgy állítottuk be, hogy a látómező kiterjedése (vízszintesen 48°, függőlegesen 35°) hasonló legyen a soproni kamerához. Ez a beállítás jó kompromisszumnak bizonyult ahhoz, hogy viszonylag széles azimut tartományt tudjunk megfigyelni úgy, hogy közben az események elég részletgazdagon jelenjenek meg a felvételeken. A kamera analóg videójelére egy időjel megjelenítő egység (TIM-10) fekteti rá a GPS vevő által szolgáltatott, ezredmásodperc pontosságú időbélyegeket, hogy minden fél képkocka 20 ms tartamú expozíciós idejének kezdetét és végét pontosan ismerhessük. Az analóg jeleket végül egy Leadtek WinFast VC100XP PCI kártya digitalizálja 720 × 576 pixel felbontásban.

Az észlelés folyamán az egymás után következő digitalizált képkockák elemzésével valós időben határozza meg az UFO Capture eseményészlelő szoftver (2.22-es verzió), hogy feltűnt-e mentésre érdemes jelenség a képmezőben. Egyrészt, egy esemény felismerése 15 vagy több pixel egyidejű felfényesedéséhez kötött. A felfényesedést az alkalmazott beállítás szerint egy-egy pixelnek a folyamatosan monitorozott fényességi alapszintet legalább 5%-kal meghaladó kivilágosodása jelenti. Egy esemény észleléséhez a teljes képre összesített felfényesedett szint és az automatikusan utánkövetett észlelési szint között legalább 2 egységnyi különbség meglétét írtuk elő. A tapasztalat szerint a kamera erősítése akkor optimális, ha a szoftverben az észlelési szint 40-45 egység körül van normál megfigyelés idején, amikor nincs észlelt esemény.

A kamera CCD-jébe néha becsapódó kozmikus részecskék jó pár pixel erős felfényesedését okozhatják, ami azonban csak egy képkockán jelenik meg. Hogy csökkentsük a kozmikus részecskék okozta téves eseményriasztások számát, a normál eseményészleléshez előírtuk még, hogy a felfényesedés legalább 2 képkockáig fennmaradjon ('Min(frm)' parameter), ugyanakkor az ezt a fényességet ennyi ideig megtartó pixelek minimális számát ('detect size' parameter) mindössze 2-re állítottuk. Így a képen kis méretű, de tovább látható eseményeket is rögzíteni tudunk. A képmezőnek a megfigyelés szempontjából nem érdekes részeit (pl. épületek, fák vagy az időbélyeg által elfoglalt rész) és a hibás pixeleket kizártuk az aktív kiértékelésből, továbbá bekapcsoltuk a sötét objektumok ('dark object mask' 2-es szintre állítva) és a lassan mozgó objektumok (pl. repülőgépek, paraméterezés: 'highest speed'=15, 'size'=15) követése funkciókat. Engedélyeztük a szcintilláló objektumok követé-

se funkciót (paraméterezés: 'level'=105, 'speed'=2, 'size'=5), amely segítségével a csillagok helyzetét követni lehet. Ez felhasználható a későbbi kiértékelés során a kamera irányának a pontosabb meghatározásához. Egy saját fejlesztésű alkalmazás segítségével azonos kameraállásban rögzített több felvétel összehasonlításával a szcintilláló objektumok között azonosítjuk a csillagokat, amelyek helyzete időben változik a képmezőben a kvázi-statisztikus szcintilláló objektumokkal ellentétben (pl. levelek becsillanása). Esemény észlelése esetén a szoftver az észlelési időpont előtti és azutáni 10-10 képkockát videoklip formájában menti egy adatfájljal és az aktuális kép-maszkot, valamint a szcintilláló pixeleket tartalmazó fájlokkal együtt későbbi elemzéshez.

### Az észlelőrendszer távvezérlése

Az alkalmazott optikával az égboltnak egyszerre csak egy része fér bele a kamera látóterébe. Az észlelőhelytől különböző irányban és távolságban zajló zivatartevékenység fölötti légtér ezzel a rendszerrel úgy figyelhető meg, hogy egy forgatóbillentő számolyra (pan-tilt unit, PTU) helyeztük a kamerát. Egy saját fejlesztésű, időjárásálló, távolról vezérelhető kamerapozicionáló megoldás prototípusát telepítettük Bajára. A rendszer alapja egy Videotec PTH-355P típusú PTU, amelyben a számolyt egyenáramú motorok mozgatják, és az aktuális forgatási és billentési szög analóg kimenetek jelei alapján meghatározható. Ehhez az eszközökhöz készült egy vezérlő elektronika, amely összekapcsolja a PTU-t a vezérlő számítógéppel és lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy szükség szerint lekérdezze illetve megváltoztassa a számoly helyzetét. Az azimut és a horizont fölötti emelkedési szög  $0.1^\circ$  pontossággal állítható be. Az elektronika képes ezen kívül ki- és bekapcsolni a kameraház fűtését (pl. párasodás megakadályozása céljából), illetve az objektív íriszének a vezérlése (DC auto iris) ideiglenesen leválasztható a kamerától és az írisz teljesen nyitva vagy zárva tartható. Az automatikus íriszvezérlés hasznos funkció, amely megvédi a kamera CCD-jét a hosszú ideig tartó erős fény degradáló hatásától. A vezérlés ideiglenes átvétele ugyanakkor előnyös olyan helyzetekben, amikor egyébként a kamera válaszideje lassú lenne, vagy egy zavaró erősebb fényforrás a kép egy részén zárná az íriszt, miközben a látómező másik részén esetleg halványabb események megjelenése várható. Meg kell jegyeznünk, hogy a PTU csak  $338^\circ$  fokban forgatható. Ennek ellenére a teljes  $360^\circ$ -os környezet megfigyelhető, mivel a látószög olyan széles, hogy a két szélső azimut pozícióban a két látómező még át is fed. A PTU vezérlő elektronikájának minden funkciója a vezérlő/adatgyűjtő számítógéppel való

soros összeköttetésen keresztül elérhető RS232 terminálprogram használatával.

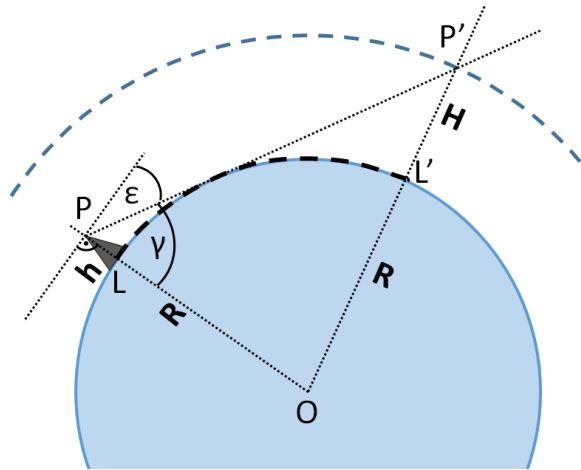
Az adatgyűjtő számítógépnek (PC), a kamerának és a többi hardver elemnek nem szükséges állandóan bekapcsolva lennie. Az áramellátás szabályozása céljából egy internethálózaton keresztül, webes felület segítségével, a többi eszköztől függetlenül vezérelhető kapcsolóegységet fejlesztettünk ki. A kapcsolóegység egy SR-201 típusú, kétrelés vezérlőlapkát használ, amely funkcionalitását úgy terjesztettük ki, hogy 8 különböző készüléket lehessen vele kapcsolni.

Az észlelőrendszerben az áramkapcsoló kivételével minden eszközt végsősoron egy PC segítségével vezérelhetünk. Ide tartozik többek között a kamera pozíciójának, az objektív íriszének és a kameraház fűtésének a beállítása, de az eseményészlelő szoftver futtatása és konfigurálása is. Maguk az észlelések, valamint a hozzátartozó segédfájlok és az észlelési napló is alapvetően ezen a PC-n található meg, továbbá az észlelt események előzetes feldolgozásának néhány lépése is ezen a számítógépen történik. Mindez megkívánja, hogy az észlelő a számítógép minden kapcsolódó szolgáltatásához és programjához közvetlenül hozzáférjen. A tapasztalat szerint ennek a kívánalomnak a TightVNC alkalmazás stabil működéssel és optimális internetes sávszélesség-felhasználással kiválóan megfelel. A kamera erős nappali fénytől való megóvása érdekében egy PHP programnyelven implementált program készült, amely képes az észlelőrendszerben mind a szoftveres, mind a hardver komponensek szabályos lekapcsolására automatikusan a napfelkelte eljövetelekor.

## Az észlelések menete

A FEOEM-ek észlelése éjszaka lehetséges, amikor a szórt napfény nem fedi el a felsőlégköri elektromos gerjesztések közben keletkező, viszonylagosan kis számú fotont. A FEOEM-ek elektromosan fokozottan aktív zivatarfelhők fölött jelennek meg (Pasko és társai, 2012), így elsődlegesen azt szükséges felderíteni, hogy ilyen zivatarok találhatóak-e azon területen belül, amely fölött az eseménytípust illetően releváns magasságtartomány (vörös lidérceknél kb. 50-90 km) megfigyelhető az adott észlelőhelyről. Az ilyen területeket olyan felvételek alapján lehet behatárolni, amelyeken a horizont látható. Miután a kamera irányát meghatároztuk a látómezőben található csillagok és a csillagtérkép illesztésével a felvétel készítésének az időpontjában, az azimut függvényében felvesszük a horizonthoz tartozó emelkedési szögeket. Ezek a műveletek praktikusán az UFO Analyzer program segítségével végezhetőek el. Az emelkedési szögekhez ezután kiszámítható az a legnagyobb távolság, amelyen belül valamely adott magasság fölé láthatunk az észlelőhelyről (3. ábra). Fontos, hogy

a számításnál a Föld görbületét figyelembe kell venni. Az azimut függvényében a kiszámolt távolságok jelölik ki a megfigyelhető terület határát (1. ábra).

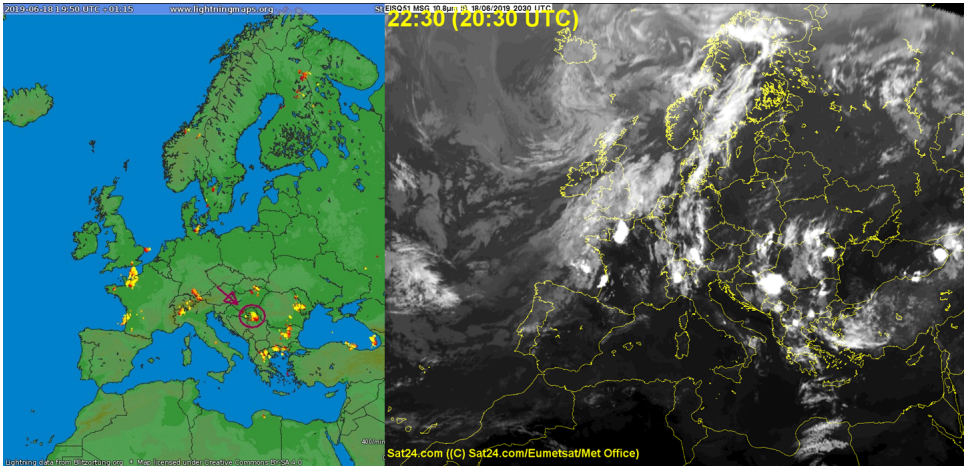


3. ábra. Az észlelőhelyről ( $P$ ,  $h$  tengerszint feletti magasságban) annak az  $LL'$  földfelszíni távolságnak a meghatározása, amelyen belül  $H$  tengerszint feletti magasság fölé láthatunk. A Föld sugara  $R$ ,  $\epsilon$  a látható horizont elevációs szöge  $P$ -ben. Először a  $\gamma$  szöget kell kiszámolni, ami után a  $POP'\Delta$  megoldható és a  $LOL'$  szög meghatározható a koszinusz tétel felhasználásával.

Az aktív zivatarok kialakulása előrejelezhető. Előrejelzés található pl. az European Storm Forecast Experiment projekt (Estofex, 2021) weboldalán. Az adott időpontban ténylegesen aktív zivatarok azonosíthatók kvázi-valósidőben frissülő vilámtérképeken, amelyeket több szolgáltató is online elérhetővé tesz (BlitzOrtung, 2021; LightningMaps.org, 2021; Meteorologix, 2021) (4. ábra, bal oldali panel).

A felhőzet tetejének hőmérsékletét jelző infravörös (IR) műholdképek (AllMetSat, 2021) szintén segítenek az észlelések tervezésében. Egyrészt a zivatarok kialakulása és fejlődése jól követhető az IR képsorozaton. Az aktív zivatarcellákban erős a feláramlás, amely során a nagy nedvességtartamú légtömegek a felsőbb légrétegekbe jutva kiterjednek, lehűlnek és a vízgőz kicsapódása következtében felhőelemek keletkeznek. Ez a folyamat lokalizáltan megjelenő és viszonylag gyorsan kiterjedő világos, azaz hideg foltok formájában érhető tetten a felhőtető-hőmérséklet képeken (Schmetz és társai, 1997) (a 4. ábra jobb panelje). Másrészt ezek a képek azt is megmutatják, hogy húzódik-e felhőzet a megfigyelőhely és a megfigyelendő térség között. Az ilyen felhők akadályozzák a rálátást és akár teljesen el is lehe-



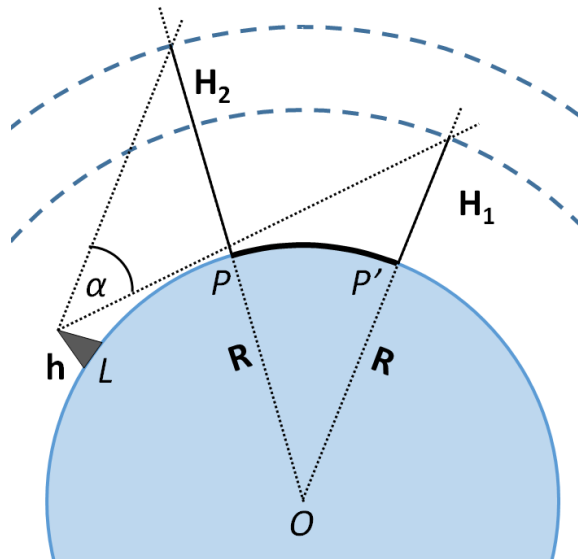


4. ábra. Információk aktív zivatarok helyének meghatározásához. **Balra:** valós idejű villám térkép a BlitzOrtung/Lightningmaps.org weboldaláról. Megjelöltük a Bajáról is észlelt FEOEM-ek szülő zivatargóciát. **Jobbra:** ugyanebben az időben készült Meteosat infravörös felvétel, amely a felhőtető hőmérsékleteket mutatja.

tetleníthetik az észlelést. Mindazonáltal a felhőzet dinamikusan változik és mozog, azonkívül nem is feltétlenül egybefüggő. A tapasztalat szerint FEOEM-ek adott esetben észlelhetők a felhőzet résein, sőt akár vékonyabb felhőkön keresztül is. A megfigyelőhelyen mindenesetre jó látási viszonyok szükségesek. Ennek a megállapításához Baján segítséget nyújt egy különálló égből kamera. A nagy távolságú észlelések várható jósága megítélhető a FEOEM kamera élőképen alacsony emelkedési szögeknél látható csillagok számából is. Minél több csillag látható, annál jobb a láthatósági feltételek.

A vörös lidérc (red sprite) a földfelszínről leggyakrabban észlelt típusa a FEOEM-eknek (Arnone és társai, 2020). A kamerát ennek megfelelően elsősorban vörös lidérc észlelésekre optimalizáltan állítottuk be. Vörös lidérc megjelenését túlnyomó többségben pozitív polaritású, intenzív felhő-föld (+CG) villámkisülések okozzák (van der Velde és társai, 2014). Ezek az emissziók jellemzően (de nem kizárólagosan) a zivatarok késői, érett fázisában alakulnak ki a konvektív zónák melletti rétegfelhőzet (stratiform region) felett (Soula és társai, 2015; Bór és társai, 2018; Wang és társai, 2019). A konvekciós cellák helye és ezzel együtt a rétegfelhőzet kiterjedtsége és elhelyezkedése becsülhető műholdas IR felvételek alapján is, a rétegfelhőzet legmegbízhatóbban mégis kompozit meteorológiai radarképek alapján

deríthető fel. Az Eumetnet weboldalán<sup>†</sup> elérhetőek ehhez használható radarképek (Saltikoff és társai, 2019).



5. ábra. Egy  $\alpha$  látószögű kamerával mindig csak csak egy véges  $PP'$  távolságtartomány fölött lehetséges a  $H_1$  és  $H_2$  közötti magasságtartomány megfigyelése.

A gyakorlatban az észlelő először azt ellenőrzi, hogy van-e potenciálisan FEOEM keltő zivatar a megfigyelhető területen belül. Ha legalább egy ilyen akad és a helyi láthatósági feltételek megfelelőek, akkor az észlelő a kamerát a legígéretesebb zivatar felé forgatja úgy, hogy lehetőleg mind az aktív cella, mind a hozzátartozó réteghélfőzetű tartomány a látómezőben legyen. A kamera emelkedési szögét (eleváció) úgy kell beállítani, hogy a megfigyelt terület fölött a 100 km-es magasság alatti légréteg minél vastagabb szelete legyen benne a látómezőben (5. ábra).

A mindenkori észlelő naplózza az adott éjszakán, hogy van-e FEOEM-ek keltésére potenciálisan alkalmas zivatar a megfigyelhető terület fölött, továbbá minden olyan körülményt feljegyez, ami az észlelés sikerességét befolyásolhatja (pl. kilátást blokkoló felhőzet, elégtelen helyi látási viszonyok, az észlelőrendszer valamely elemének a meghibásodása). Amennyiben történik észlelés, az észlelőrendszer automa-

<sup>†</sup><https://www.eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/opera-radar-animation>

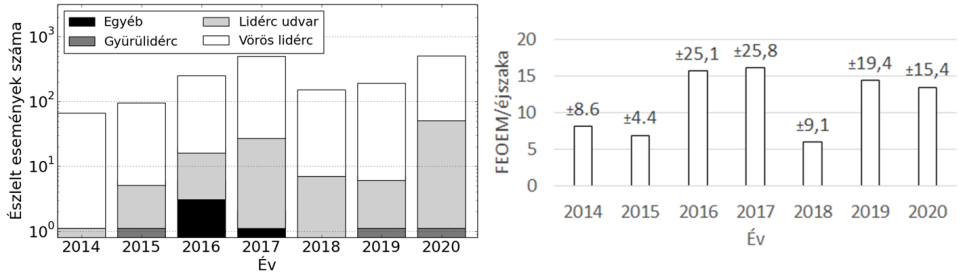
tikusan naplózza a vezérlő utasításokat és a kamera PTU-ról lekérdezett helyzetét. Minden rögzített videoklip mellé az UFO Capture program elmenti a szcintilláló pixeleket tartalmazó képet, a videoklipből generált fényességtartott (brightness peak-hold) képet, valamint a programbeállításokat és az esemény főbb adatait tartalmazó .xml kiterjesztésű adatfájlt.

Az előfeldolgozás során a rögzített videókat egyenként ellenőrizzük, hogy azonosítsuk a FEOEM-eket tartalmazó felvételeket. Ezekből a jelenségek megjelenési időpontját kiolvassuk megfigyelt zivataronként, azon belül pedig olyan időszakokra bontva, amikor a FEOEM-ek megjelenése gyakori. Az ilyen periódusokat legalább 30-40 perces olyan időszakok választják el, amelyek alatt nem jelennek meg újabb FEOEM-ek. A villámtevékenység lokalizáltságának a függvényében  $0.5^\circ$ - $1^\circ$  pontossággal behatároljuk az adott időszakban FEOEM-eket keltő villámaktivitás kiterjedését a térképen. Ehhez az adott időtartam alatt észlelt összes villámot feltüntető villámtérképet használunk.

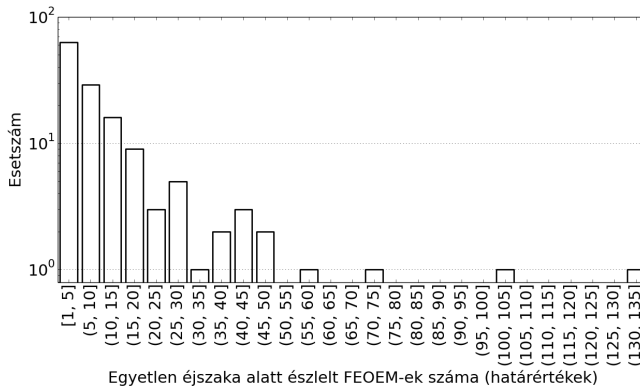
## A 2014 és 2020 közötti észlelések áttekintése

A Bajáról történő észlelések első 7 éve alatt összesen 1648 különböző FEOEM-et rögzített a kamera. Ezek túlnyomó többsége vörös lidérc volt (1535), emellett szép számú lidérc udvar (106) is található az események között. Mindössze 3 gyűrűlidércet sikerült megfigyelni, valamint 4 további esetben nem sikerült a jelenség típusát egyértelműen meghatározni. A 6. ábra bal panelén az egyes években észlelt események számát láthatjuk. Fontos megjegyezni, hogy az egyes években különböző számú éjszakán volt sikeres észlelés, ezért a sikeres megfigyeléssel járó éjszakák szerint átlagolt FEOEM/éjszaka mennyiség valamivel jobban tükrözi a FEOEM előfordulások általános alakulását a különböző években. Ez látható a 6. ábra jobb panelén. Megfigyelhető, hogy a szórások szinte mindig nagyobbak, mint az átlag, ami jelzi, hogy a megfigyelt események éjszakánkénti száma nem normális eloszlású mutató.

Valóban, ezeket a statisztikákat torzítják azok a ritkán előforduló zivatarok, amelyek kiugróan nagyszámú FEOEM megjelenését okozzák (7. ábra). A tárgyalt 7 év alatt két alkalommal fordul elő, hogy egy éjszaka száznál több FEOEM-et rögzített a bajai kamera: 2016. szeptember 5-én (102 esemény) valamint 2017. augusztus 10-én (132 esemény). A 7. ábrán látható hisztogram egyértelműen tükrözi az egy zivatar által keltett FEOEM-ek számának eloszlására talált hatványfüggést (Arnone és társai, 2020).

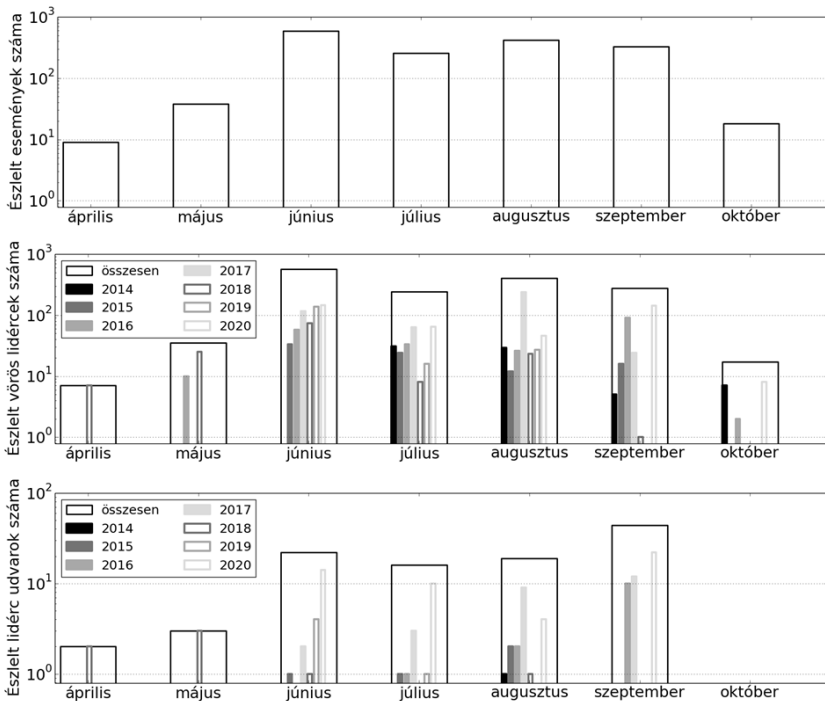


6. ábra. Éves átlagos FEOEM észlelésszámok Bajáról 2014 és 2020 között. **Balra:** Az események száma (logaritmus skálán ábrázolva) és típusa. **Jobbra:** sikeres észlelési éjszakákon a megfigyelt FEOEM-e átlagos száma a különböző években. Az ilyen éjszakák száma 2014-ben 9, 2015-ben 13, 2016-ban 15, 2017-ben 29, 2018-ban 24, 2019-ben 13, míg 2020-ban 34 volt. Az oszlopok fölött a szórásokat tüntettük fel.



7. ábra. A 2014 és 2020 között egy-egy éjszaka alatt Bajáról észlelt FEOEM-ek számának eloszlása. Az esetszámok logaritmusát ábrázoltuk.

Júniustól szeptemberig szinte mindegyik évben voltak észlelések 2014 és 2020 között, így az észlelt események számának hónapok közötti megoszlása leginkább az évnek ebben az időszakában tárgyalható (8. ábra). Látható, hogy a legtöbb FEOEM-et júniusban sikerült rögzíteni és ezek között is a vörös lidércek száma dominál. Az augusztusi érték csupán a 2017-es, extrém sok FEOEM-et kiváltó zivatar miatt ugrik ki. A 8. ábra középső és alsó panelei mutatják, hogy a vörös lidércekkel ellentétben a lidérc udvarok számát tekintve nem igazán emelhető ki egyetlen hónap sem. Itt is a szeptemberi, látszólag kiugró érték a 2020-as év szeptemberének



8. ábra. A 2014 és 2020 között Bajjáról megfigyelt FEOEM-ek száma hónapok szerinti bontásban. **Felül:** minden FEOEM. **Középen:** vörös lidércek. **Alul:** lidérc udvarok.

kiemelkedően aktív zivatartevékenységének köszönhető, amikor is 22 lidércudvart figyeltünk meg. A kétféle FEOEM típus észlelési számainak hónapok szerint eltérő változása arra utal, hogy a nyarat követő koraőszi zivatarokban, ahogy a villámaktivitás területileg délebbre tolódik (Arnone és társai, 2020; Kotroni & Lagouvardos, 2016), megváltozhatnak a villámkisülések tulajdonságainak a statisztikai (Rakov & Uman, 2007, 2.8 és 8. fejezetek). A 9. ábrán a rögzített FEOEM-ek közül látható néhány szép példa.

## Összefoglalás

Célzottan a FEOEM-ek tudományos kutatását támogató, második hazai észlelő-állomás Baján létesült a Szegedi Tudományegyetem Bajai Csillagászati Observatóriumában 2014-ben. A telepítéstől 2020-ig 1648 FEOEM-ről készült felvétel a megfigyelhető terület fölött Közép-Európában. A rögzített fényjelenségek túlnyomó többségben vörös lidércek, de 106 lidérc udvar is szerepel a felvételeken. Három gyű-



## Irodalomjegyzék

- AllMetSat (2021). [https://hu.allmetsat.com/kepek/sat24\\_europe\\_ir.php](https://hu.allmetsat.com/kepek/sat24_europe_ir.php), *Utoljára letöltve: 2021. nov. 15.*
- Arnone, E., Bór, J., Chanrion, O. et al. (2020). Climatology of Transient Luminous Events and Lightning Observed Above Europe and the Mediterranean Sea. *Surveys in Geophysics*, 41, 167–199, <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09573-5>
- BlitzOrtung (2021). <https://www.blitzortung.org>, *Utoljára letöltve: 2021. nov. 15.*
- Bór, J., Sători G., & Betz H.D. (2009). Observation of TLEs in Central Europe from Hungary Supported by LINET. *AIP Conference Proceedings*, 1118(73), <https://doi.org/10.1063/1.3137716>
- Bór J. & Barta V. (2011). Vörös lidércek - gigantikus "tűzijáték" a felsőlégkörben. *Fizikai Szemle, LXI. évfolyam* 10. szám, pp. 343-349.
- Bór, J. (2013). Optically perceptible characteristics of sprites observed in Central Europe in 2007–2009. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 92, 151-177, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2012.10.008>
- Bór, J., Zelkó, Z., Hegedüs, T., Jäger, Z., Mlynarczyk, J., Popek, M., & Betz, H.D. (2018). On the series of +CG lightning strokes in dancing sprite events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 11,030–11,047, <https://doi.org/10.1029/2017JD028251>
- ESTOFEX (2021). <https://www.estofex.org>, *Utoljára letöltve: 2021. nov. 15.*
- Gordillo-Vázquez, F.J., & Pérez-Invernón, F.J. (2021). A review of the impact of transient luminous events on the atmospheric chemistry: Past, present, and future. *Atmospheric Research*, 252, 105432, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105432>
- Hegedüs, T., Sztarmáry, K., & Vinkó, J. (1992). Light-curve and O-C Diagram Analysis of RZ Cassiopeiae. *Astrophysics and Space Science*, 187, 57-74., <https://doi.org/10.1007/BF00642687>
- Hsu, R.-R., Su, H.-T., Chen, A. B.-C., & Kuo, C.-L. (2017). Selected results from the ISUAL/FORMOSAT2 mission. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic sciences journal*, 28, 525-544, <https://doi.org/10.3319/TAO.2016.08.23.01>

- Ill M. (1983). *A felsőlégkör szerkezete a műholdak fékeződése és fedélzeti mérések alapján*. [Doktori disszertáció, Magyar Tudományos Akadémia], Baja. REAL-d. <http://real-d.mtak.hu/1039/>
- Kotroni, V. & Lagouvardos, K. (2016). Lightning in the Mediterranean and its relation with sea-surface temperature. *Environmental Research Letters*, 11(3), 034006, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034006>
- LightningMaps.org (2021). <https://www.lightningmaps.org>, *Utoljára letöltve: 2021. nov. 15.*
- Meteologix (2021). <https://meteologix.com/hu/lightning/europe>, *Utoljára letöltve: 2021. nov. 15*
- Mitnyan, T., Bódi, A., Szalai, T., Vinkó, J., Szatmáry, K., Borkovits, T., Bíró, B.I., Hegedüs, T., Vida, K., & Pál, A. (2018). The contact binary VW Cephei revisited: Surface activity and period variation. *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91, 14 p., <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201731402>
- Neubert, T., Østgaard, N., Reglero, V. et al. (2019). The ASIM Mission on the International Space Station. *Space Science Reviews*, 215, 26, <https://doi.org/10.1007/s11214-019-0592-z>
- Pasko, V.P., Yair, Y., & Kuo, C.L. (2012). Lightning Related Transient Luminous Events at High Altitude in the Earth's Atmosphere: Phenomenology, Mechanisms and Effects. *Space Science Reviews*, 168, 475–516, <https://doi.org/10.1007/s11214-011-9813-9>
- Rakov, V.A. & Uman, M.A. (2007). *Lightning: Physics and Effects*. New York, USA: Cambridge University Press, ISBN 9781107268555
- Saltikoff, E., Haase, G., Delobbe, L., Gaussiat, N., Martet, M., Idziorek, D., Leijnse, H., Novák, P., Lukach, M., & Stephan, K. (2019). OPERA the Radar Project. *Atmosphere*, 10(6), 320, <https://doi.org/10.3390/atmos10060320>
- Siingh, D., Singh, R.P., Singh, A.K. et al. (2012). Discharges in the Stratosphere and Mesosphere. *Space Science Reviews*, 169, 73–121, <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9906-0>
- Singh, A.K., Siingh, D., Singh, R.P., & Mishra, S. (2011). Electrodynamical Coupling of Earth's Atmosphere and Ionosphere: An Overview. *International Journal of Geophysics*, 2011, 971302, <https://doi.org/10.1155/2011/971302>



- Schmetz, J., Tjemkes, S.A., Gube, M., & van de Berg, L. (1997). Monitoring deep convection and convective overshooting with METEOSAT. *Advances in Space Research*, 19(3), 433-441, [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)00051-3)
- Soula, S., Defier, E., Füllekrug, M., van der Velde, O., Montanya, J., Bousquet, O., Mlynarczyk, J., Coquillat, S., Pinty, J.-P., Rison, W., et al. (2015). Time and space correlation between sprites and their parent lightning flashes for a thunderstorm observed during the HyMeX campaign. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 11552–11574, <https://doi.org/10.1002/2015JD023894>
- Surkov V.V. & Hayakawa M. (2020). Progress in the Study of Transient Luminous and Atmospheric Events: A Review. *Surveys in Geophysics*, 41, 1101-1142, <https://doi.org/10.1007/s10712-020-09597-2>
- van der Velde, O.A., Montanyà, J., Soula, S., Pineda, N., & Mlynarczyk, J. (2014). Bidirectional leader development in sprite-producing positive cloud-to-ground flashes: Origins and characteristics of positive and negative leaders. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 12755–12779, <https://doi.org/10.1002/2013JD021291>
- Vinkó, J., Sárneczky, K., Takáts, K., Marion, G.H., Hegedüs, T., Bíró, I.B., Borokovits, T., Szegedi-Elek, E., Farkas, A., Klagyivik, P., Kiss, L.L., Kovács, T., Pál, A., Szakáts, R., Szalai, N., Szalai, T., Szatmáry, K., Szing, A., Vida, K., & Wheeler, J.C. (2012). Testing supernovae Ia distance measurement methods with SN 2011fe. *Astronomy & Astrophysics*, 546, A12, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220043>
- Wang, Y., Lu, G., Ma, M., Zhang, H., Fan, Y., Liu, G., Wan, Z., Wang, Y., Peng, K-M, Peng, C., Liu, F., Zhu, B., Ni, B., Gu, X., Chen, L., Yi, J., & Zhou, R (2019). Triangulation of red sprites observed above a mesoscale convective system in North China. *Earth and Planetary Physics*, 3, 111-125, <http://doi.org/10.26464/epp2019015>