

# Pozorování nadoblačných blesků typu tygří elfové z observatoře Nýdek

## Observation of above-cloud lightning of the tiger elves type from the Nýdek observatory

**Martin Popek**

Observatoř Nýdek  
739 95 Nýdek  
✉ brahe@volny.cz

**This special variety of above-cloud lightning of the ELVES type (called elfové in Czech) was only discovered in 2013. As the name suggests, the phenomenon at first glance looks like the sky scratched by tiger claws. The observed horizontal lines are actually density waves in the atmosphere, at levels around the mesopause. The so-called atmospheric gravitational waves are visible, either as inhomogeneities of atmospheric light radiation (airglow) or, as in the case of tiger elves – due to a strong lightning, accompanied by a huge light circle – an elf. In the first years after the discovery of tiger elves, not much attention was paid to this phenomenon by the author. Capturing elf-type cloud lightning phenomena is not that common, so capturing tiger elves was a big challenge for the author. The first tiger elves were successfully observed by him in the 2017 season, which was very rich in above-cloud lightning. Since then, tiger elves have been captured in nearly every observing season, providing a rare view of structures in the upper mesosphere.**

**KLÍČOVÁ SLOVA:** atmosféra – úkazy světelné přechodné – blesk nadoblačný – elfové tygří – observatoř Nýdek

**KEYWORDS:** atmosphere – transient light phenomena – above-cloud lightning – tiger elves – the Nýdek observatory

## 1. Úvod

Dříve než se dostaneme k problematice tygřích elfů, je vhodné připomenout, co jsou vlastně nadoblačné blesky a jejich velmi krátkou historii pozorování.

Elfové jsou jeden z mnoha druhů nadoblačných jevů, souhrnně známých pod zkratkou TLEs (Transient Luminous Events), což lze volně přeložit jako krátkodobé světelné události. Snad s výjimkou rudých skřítků jde o poměrně vzácné jevy, které není vůbec snadné pozorovat běžnými prostředky z důvodu

jejich velmi krátké doby trvání (elfové – 1/1 000 s a červení skřítki – 1/50 s). Až na velmi blízké a jasné výjimky jsou pro lidské oko téměř nepostřehnutelné, přičemž jejich dokumentaci umožnil v posledních letech až vývoj digitálních snímačů obrazu. Již dříve byly tyto jevy občas pozorovány, ale bez řádné fotografie nebo video dokumentace zůstaly TLE tajemnými a teoretickými jevy. Jako první se o šipkách světla vystupujících nad mraky zmiňují MacKenzie a Toynbee (1886), Everett (1903) viděl nad oblačností světelné stopy do výšky 15°, Malan (1937) pozoroval nad mraky málo jasné a dlouhé úkazy načervenalého zbarvení a Wood (1951) viděl nad bouřkovými oblaky útvary podobné obráceným kořenům stromů (Boeck a kol. 1998). Avšak až 6. června 1989 studenti Robert Franz a Robert Nemzek pod vedením profesora Johna Wincklera náhodně zaznamenali pár červených skřítků v minnesotské prérii při testech nových CCD kamer, a tak byly tyto úkazy definitivně uznány ve světle vědy.

TLE jsou velmi krátké optické emise v mezoféře (50–85 km), ale vzácněji se mohou vyskytnout i ve stratosféře (20–50 km) nebo spodní ionosféře (85–100 km). Jejich vznik je spjatý s intenzivním troposférickým bleskem CG+ nebo vzácněji CG– (blesk mezi oblakem a zemským povrchem s kladným nebo záporným nábojem). Nejlepší podmínky pro vznik těchto zdrojových blesků jsou v rozsáhlých bouřkových systémech (MCS – Mesoscale Convective System, MCC – Mesoscale Convective Complex nebo SQL – Squall Line), ale i v tomto oboru se mohou vyskytnout výjimky, a to hlavně u bouře zimního typu. Nadoblačné světelné jevy (obr. 1) můžeme rozdělit mezi relativně běžné a vzácné. První skupinu, které tvoří druhy relativně často pozorovatelné:

- Red sprites (červení skřítki),
- Sprites halo (halo),
- Elves (elves, elfové),
- Trolls (trolové).

Během pozorování vysoce citlivými kamerami v Nýdku statisticky vychází, že na sto pozorovaných červených skřítků připadá deset hal a po jednom elf a trol. Ostatní nadoblačné blesky již patří do skupiny velmi vzácných jevů s počty pozorování celosvětově jen v řádu desítek úkazů u jednotlivých druhů výtrysků. Zachycení výtrysků (tzv. jetu) je v našich zeměpisných šířkách velmi vzácné a nad Evropským kontinentem byly zachyceny za 20 let pozorování jen tři velké jety. Relativně méně vzácné jsou tyto úkazy u bouřek v rovníkových oblastech. Největší druhy výtrysků vystřelují z bouře až do výšky cca 80 km nad zemským povrchem (obr. 1):

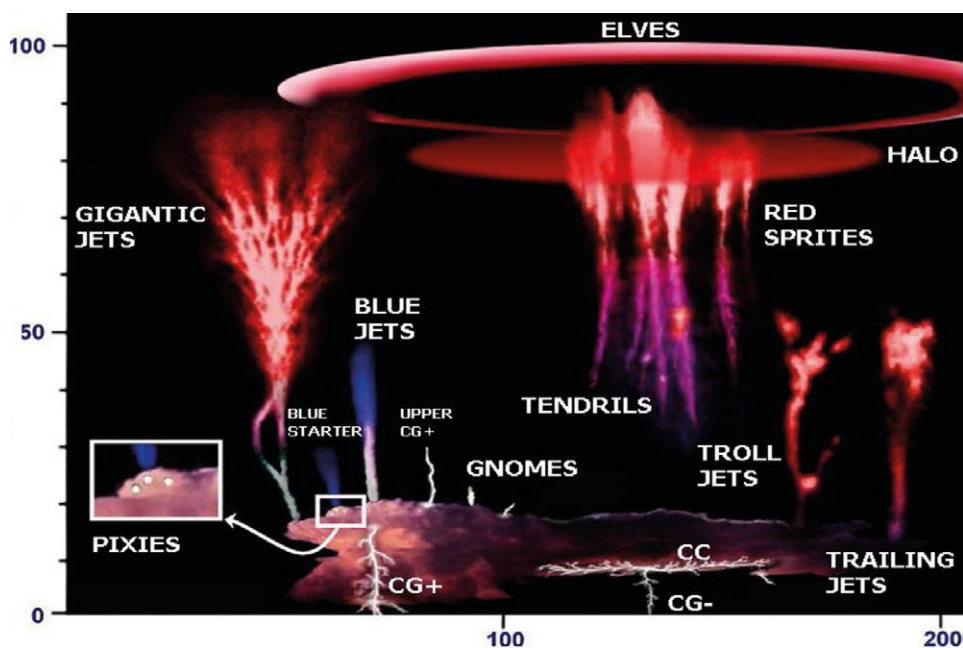
- Gigantic jets (obří výtrysk),
- Blue jets (modrý výtrysk),
- Blue starter (modrý startovač),
- Trailing jets (koncový výtrysk),
- Gnomes (trpaslík),
- Pixies (malý trpaslík).

## 2. Observatoř nadoblačných blesků v obci Nýdek

Inspirací pro pozorování těchto krátkodobých úkazů z ČR byl pro autora maďarský pozorovatel J. Bór. Tento profesionální pozorovatel úspěšně pozoruje TLE nad střední Evropou již od roku 2008. První pozorování nadoblačných blesků z Nýdku se povedlo 22. května 2011 z MCS bouře nad severem Čech. Od této doby kamery zachytily přes 4 608 TLE z 467 TLE aktivních bouří (395 pozorovacích nocí). Od roku 2011 spolupracuje observatoř v projektu Eurosprites (Arnone a kol. 2020), který má za úkol mapovat bleskovou činnost nad bouřemi tzv. TLE (obr. 2). Databáze pozorování je mimo jiné srovnávaná s daty z přístroje Atmosphere-Space Interactions Monitor (ASIM) umístěným na mezinárodní kosmické stanici ISS pro případné společné pozorování s pozemním pozorovatelem. Od roku 2016 byla observatoř v Nýdku zahrnuta pod Oddělení kosmické fyziky, Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR. A od roku 2019 spolupracuje observatoř s univerzitou AGH v Krakově a Centrum kosmického výzkumu PAS ve Varšavě na výzkumu TLE z dat tří družic SWARM (ESA 2021), které jsou primárně určené na průzkum a mapování zemského magnetického pole.

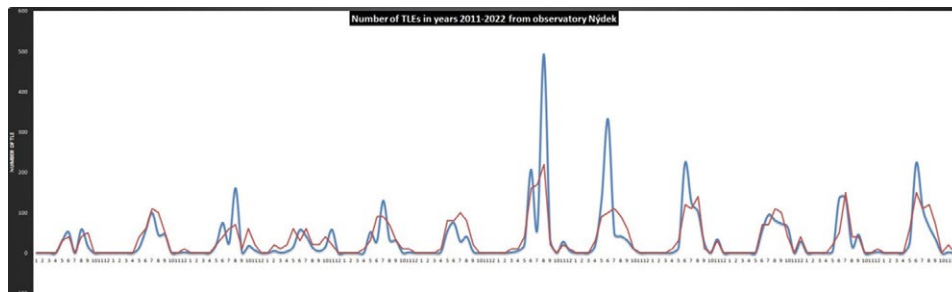
## 3. Co je elf a jeho odrůda tygří elf?

Existence přechodných světelných úkazů (Elves – Emissions of light and very low frequency perturbations from electromagnetic pulse sources) byla teoreticky předpovězena ve dvacátých letech minulého století skotským fyzikem C. T. R. Wilsonem (1924), dávno předtím, než byly poprvé pozorovány. Poprvé byl nadoblačný blesk typu elf zachycen v roce 1994 z paluby



**Obr. 1** Druhy nadoblačných blesků lze rozdělit na dvě skupiny. Ty, co vznikají v mezoféře a jsou relativně méně vzácné (červení skřítki, hala, elfové a trollové), a ostatní druhy, které lze sjednotit do skupiny výtrysků, které vznikají bezprostředně nad horní hranicí oblačnosti bouře. Ty jsou velmi vzácné, a to zvláště v zeměpisném pásmu, kde leží Evropský kontinent. Zdroj: C. Miralles (AeroVironment) and T. Nelson (FMA).

Fig. 1. Types of above-cloud lightning can be divided into two groups. Those that arise in the mesosphere and are relatively less rare (red sprites, halos, elves and trolls) and other species that can be united into a group of jets and their formation locates just above the upper cloud boundary of the storm. They are very rare, especially in the geographical area where the European continent extends. Source: C. Miralles (AeroVironment) and T. Nelson (FMA).



**Obr. 2** Celkový počet TLE zachycených v období květen 2011 až prosinec 2022 (modrá čára) a počet TLE aktivních bouří (červená čára) vynásobený průměrným počtem TLE na jednu bouři (10 TLE). Rozložení obou křivek v grafu ukazuje na období nadprůměrné nebo podprůměrné tvorby nadoblačných blesků v bouřích za posledních 12 let pozorování nadoblačných blesků v Nýdku.

Fig. 2. Total number of TLEs captured from May 2011 to December 2022 (blue line) and number of TLE active storms (red line) multiplied by the average number of TLEs per storm (10 TLEs). The distribution of both curves in the graph indicates the period of above-average or below-average formation of above-cloud lightning in storms for the last 12 years of observation of above-cloud lightning in Nýdek.

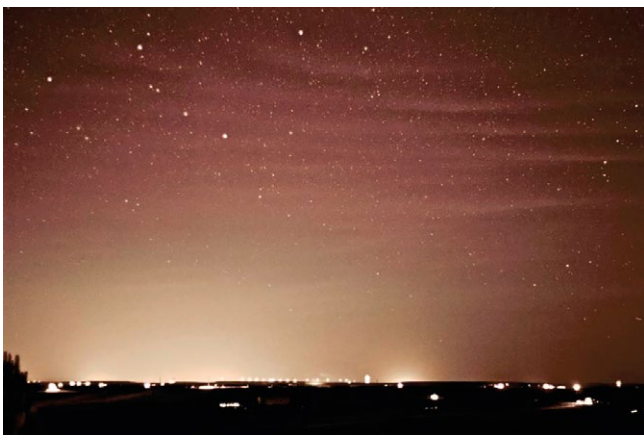
raketoplánu jako krátkodobé zvýšení jasu v horních vrstvách atmosféry.

Elfové lze zařadit mezi největší TLE v atmosféře (obr. 3). Jejich velikost může dosáhnout 300–500 km. Vypadají jako obří světelný „donut“, s velmi krátkou dobou trvání: jen kolem jedné tisíce sekund. Objevují se těsně pod spodní hranicí ionosféry, která se v noci nachází ve výšce kolem 90 km nad zemským povrchem. Celkově se může horní a dolní výška světelného kruhu elfa pohybovat od 75 do 105 km nad zemským povrchem.



**Obr. 3 Výrazný elf z neobvyklé kontinentální jarní bouřky malého rozsahu nad jihem Čech 2. dubna 2017 (Kolmašová a kol. 2021). Foto: autor.**

Fig. 3. A distinct elf from an unusual small-scale continental spring storm over southern Bohemia on 2 April 2017 (Kolmašová et al. 2021). Photo: author.



**Obr. 4 Na obrázku ze zrcadlovky (DSLR) můžete jen rozeznat vlnění gravitačních vln v horní části snímku. Porovnáním tohoto obrázku a dalších podobných obrázků s vysokorychlostním videem elfů byli vědci schopni potvrdit, že pruhy elfů byly způsobeny gravitačními vlnami, které se pohybovaly směrem ven z bouře nad západní Nebraskou. Zdroj: HBSciU (2015).**

Fig. 4. In the DSLR image above, the rippling of gravitational waves at the top of the image can just be identified. By comparing this image and other similar images to high-speed video of the elf, scientists were able to confirm that the elf streaks were caused by gravity waves moving outward from the storm over western Nebraska. Source: HBSciU (2015).



**Obr. 5 Kamera Watec 910HX s objektivem Computar 4,5–12,5/1,2 a GPS video vkladáč času TIM-10.**

Fig. 5. Watec 910HX camera with Computar 4.5–12.5/1.2 lens and TIM-10 GPS video time-stamper.

Elfové se na spodní hranici ionosféry objeví jako světlý disk rychle se rozšiřující do vzdálenosti několika stovek kilometrů, přičemž tloušťka tohoto disku se pohybuje kolem 10–20 km. Elfy se často objevují současně se známějším druhem nadoblačných blesků, tzv. rudými skřítky, nicméně jejich vznik je odlišný.

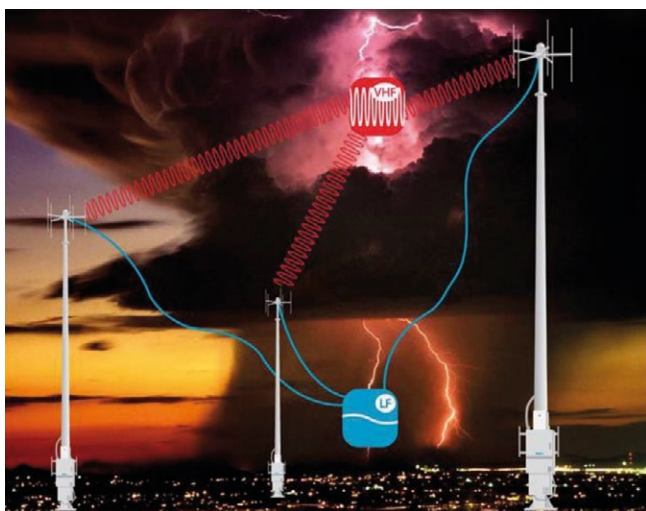
Zdrojem elfů jsou elektromagnetické pulsy pocházející od blesků s velkým špičkovým proudem, a tudíž i silným elektromagnetickým polem, které je výbojem vyzářené. Elektromagnetický puls pocházející od bleskového výboje excituje elektrony ve spodní části ionosféry (okolo 90 km) a způsobí další ionizaci. Dojde tak ke zvýšení koncentrace volných elektronů ve spodní části ionosféry až o jeden řád v místě nad bleskem. Červená barva vyzářeného světla je dána vlnovou délkou, na které vyzařují excitované molekuly dusíku  $N_2$  (673,0 nm). Emise světla se pak rozšiřuje až do tvaru obřího disku, který je někdy pozorovatelný i na Zemi. Samotnou podobu elfů určuje jak pohyb zdrojového blesku v troposféře, tak i samotné podmínky v mezoféře. Pokud je směr pohybu zdrojového blesku svislý, vytváří se kolem středu elfů typická tmavá oblast. V ostatních případech má elf tvar disku bez této středové oblasti. V případě výskytu gravitačních vln v mezoféře je tvar elfů deformován do mnohdy bizarních tvarů, mezi které můžeme počítat i světlý disk elfa jakoby zasažený drápy.

Koncem jara roku 2013 se Jia Yue, profesor katedry atmosférických a planetárních věd v Hampton University, a jeho spolupracovník Walter Lyons vydali pozorovat elfy (Yue, Lyons 2015). Pokoušeli se zachytit elfy na pozorovací stanici Yucca Ridge v městě Fort Collins (Colorado). Z tohoto místa, položeného asi 1 600 m n. m., mohli vidět stovky mil daleko nad Velké pláně (Great Plains). 12. června, když jejich kamery mířily na město Rapid City v Jižní Dakotě, zachytili elfy s neobvyklým rysem, měly výrazné pruhy. Ulovili tak vzácnou odrůdu elfů, tzv. tygří elfy.

Objev pruhovaného elfa nepřišel jako úplné překvapení. Harvey Rowland a jeho kolegové z Naval Research Laboratory, předpověděli jejich existenci před téměř dvěma desítkami let (Rowland a kol. 1996). V té době bylo známo, že se v atmosféře někdy vytváří gravitační vlny, kde se střídají prstence o různé hustotě atmosféry, co pak vypadají na obloze jako vlnky na rybníku. Vzhledem k tomu, že světlo elfů je výsledkem toho, že se elektrony srážejí s molekulami dusíku, Rowland a jeho tým usoudili, že když elfové zkříží cestu gravitační vlně, měly by zářit nejjasněji v kruzích, kde je vzduch nejhustší, tam, kde je většina molekul dusíku.

Zaznamenat a určit původ pruhovaného elfa není jednoduché, protože elfové trvají jen zlomek milisekundy, nelze je spatřit lidským okem ani zaznamenat konvenčními kamerami. Vyso-





**Obr. 6** Lokalizace troposférických blesků v síti Global Lightning Dataset GLD360. Zdroj: Vaisala.

Fig. 6. Localization of tropospheric lightning in the Global Lightning Dataset GLD360 network. Source: Vaisala.

korychlostní kamery dostatečně rychlé na to, aby zahlédly tento světelný jev, obvykle neposkytují snímky s vysokým rozlišením, jaké jsou potřeba k odhalení přítomnosti gravitační vlny. Řešením Yue a Lyonse bylo nafilmovat událost současně dvěma kamerami – vysokorychlostní kamerou Phantom, která zahlédla elfa, a upravenou digitální zrcadlovkou (DSLR) Canon (obr. 4), která zobrazovala gravitační vlny viditelné ve světelné stopě elfa (Yue, Lyons 2015).

Odkaz na video s tygřím elfem z rychloběžné kamery Phantom (6 000 snímků za sekundu) ze dne 12. června 2013 je na <http://www.weathervideohd.tv/detail/9048>.

## 4. Optická detekce TLE a data z měření

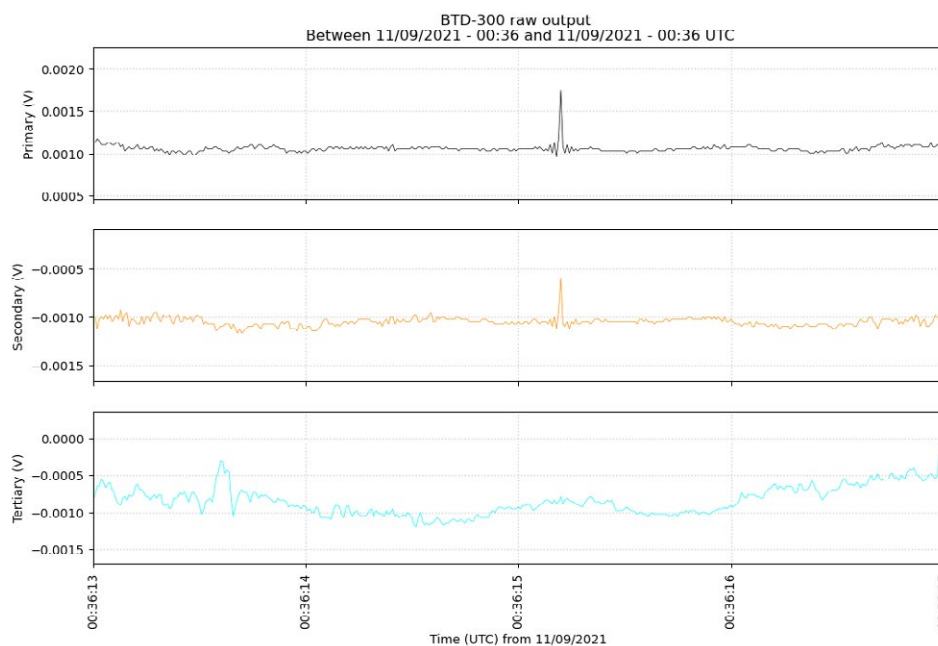
Místo pozorování TLE se nachází v obci Nýdek (49,7° N, 18,8° W) ve vzdálenosti 706–413 km od zdrojových bouřek, které vytvořily tygří elfy, jež byly zařazeny do této publikace. Video z několika totožných analogových kamer Watec 910HX od stejnojmenné firmy (obr. 5), bylo zaznamenáno v detekčním programu upraveném rozlišení 720 × 576 pixelů. Video z těchto kamer má standardních 25 snímků za sekundu s efektivním časovým rozlišením 40 ms. Ohniskové vzdálenosti objektivů v kamerách typu Computar a Tevidon jsou 12 a 25 mm s efektivním horizontálním zorným polem cca 37° a 12°. Kamery jsou vybaveny GPS video vkladači času TIM-10, které poskytují infor-

mace o čase začátku a konce expozice pro každý snímek videa z přesnosti času 0,1 ms. Pro převod signálu z analogových kamer do digitálního tvaru, pozorovací systém používá převodník Dazzle DVC 100. Softwarový balík pro detekci a analýzu událostí UFOCapture V2 (<http://sonotaco.com/>) se používá k záznamu přechodných optických jevů a ke zpracování jejich záznamů (UFOAnalyzer).

## 5. Blesková detekční síť GLD 360 použitá pro hledání zdrojových blesků

Detekční síť firmy Vaisala GLD 360 (Global Lightning Dataset) je globální síť, která každý rok zaznamená více než dvě miliardy blesků vyskytujících se kdekoli na Zemi (obr. 6). Detekuje jak vnitrooblačové blesky (IC-intracloud), tak blesky mezi oblakem a zemí (CG-cloud-to-ground). Systém umí i správně rozlišit kladné a záporné náboje bleskových výbojů. Vaisala má možnost detekovat blesky po celém světě, má rozmístěné své senzory v 45 státech světa (Vaisala 2022).

V řadě zemí má umístěné nové kombinované senzory, které měří vlny vyzářené bleskovými výboji jak na nízkých frekvencích (VLF/LF), tak na velmi vysokých frekvencích (VHF). Signály VHF jsou vhodné pro detekci vnitrooblačových blesků a signály VLF/LF jsou nejvhodnější pro detekci blesků oblak-země, neboť vlnová délka elektromagnetického signálu vyzářeného bleskovým výbojem je závislá na délce bleskového kanálu. Blesky typu oblak-země mají bleskové kanály dlouhé několik kilometrů, tedy nejsilněji září v oblasti velmi nízkých frekvencí. Vnitrooblačové kanály jsou obvykle výrazně kratší a září na vyšších frekvencích. Ukázalo se, že díky kombinaci těchto dvou technologií se daří



**Obr. 7** Ukázka detekce kvazistatické změny elektrického pole vyvolané elfem 11. září 2021. Stanice BTD Portishead (Pizzuti a kol. 2019). Zdroj: Alec Bennett.

Fig. 7. Demonstration of elf-induced quasi-static electric field change detection on 11 September 2021. BTD Portishead station (Pizzuti et al. 2019). Source: Alec Bennett.

určit správně typ blesků ve více než 90 procentech případů, kdy se zjišťovalo, zda se blesk vyskytl uvnitř bouřkového oblaku, či nikoliv.

Pro lokalizaci blesků je potřeba, aby jeho elektromagnetický signál zachytily alespoň tři antény detekční sítě. Sensory zachycují signály od blesků v okruhu několika set až tisíce kilometrů, ovšem signály od silných blesků se ve VLF frekvencích mohou šířit až 10 000 km. Síť pracuje na principu metody TOA (time of arrival). Vzhledem k tomu, že se signály od blesků šíří konečnou rychlostí blízkou rychlosti světla, tak se ke každé stanici dostanou za trošku rozdílnou dobu. A z rozdílu těchto časů se dá vypočítat poloha blesku, který daný signál vyzářil. Účinnost detekce sítě měří, jaké procento blesků je skutečně detekováno. Síť Vaisala má vynikající účinnost detekce. V popisu svého nejmodernějšího senzoru typu Total Lightning Processor (serie TLP 200) uvádí, že senzor detekuje více než 90 % všech blesků, a to jak těch mezi oblakem a zemí, tak blesků vnitrooblakových.

## 6. Detekce kvazistatické změny proudu

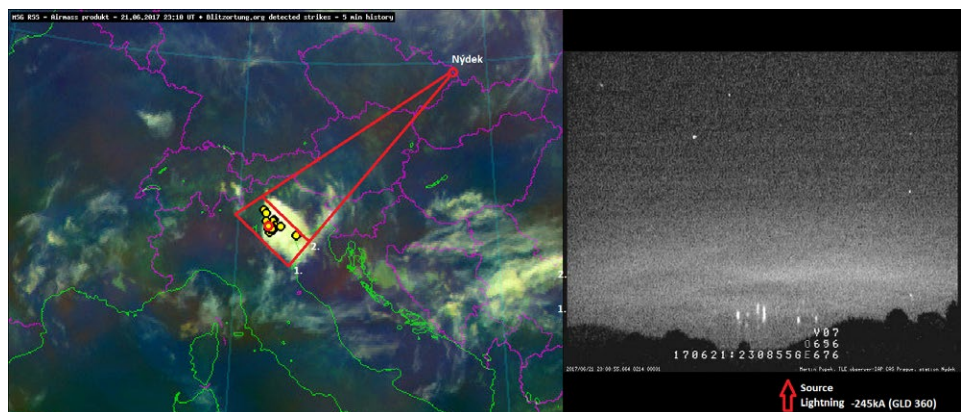
Monitory kvazistatických změn vertikálního elektrického pole (BTD-300) byly navrženy, zkonstruovány a provozovány společností Biral, britským výrobcem meteorologických senzorů.

Pracují na frekvencích od 1 do 45 Hz. Sensory detekují signál indukovaný na třech kovových elektrodách senzoru, když jsou vystaveny změnám okolního atmosférického elektrického pole vytvářeného bleskovým výbojem. Každá elektroda generuje posuvný proud, tekoucí z povrchu vodiče do země, který odpovídá rychlosti změny místního elektrického pole, měřeného pomocí elektrometrického proudového zesilovače. Systém používá vzorkovací frekvenci 100 Hz. Detektor využívá pasivní elektrody o velikosti přibližně 0,1 m<sup>2</sup>, jejichž geometrie byla zvolena tak, aby na nich nedocházelo k vytváření korónových výbojů v silném elektrickém poli místní bouřky. Vzhledem k tomu, že byly detektory schopné zaznamenat signály spojené se vzdálenými skřítky a jevy typu halo díky rozsáhlým horizontálním změnám v hustotě elektronů na dně ionosféry – vyvolaným skřítky, bylo očekáváno, že budou detekovat i signály související s tygřími elfy. Kvazistatické změny elektrického pole měří dvě stanice v Anglii, Chilbolton (51,2° N, 1,4° W) a Portishead (51,5° N, 2,8° W) (obr. 7) a jedna francouzská stanice, CRA (Centre de Recherches Atmosphériques) v Lannemezan (43,1° N, 0,4° W).

## 7. Pozorování tygřích elfů v letech 2017–2021 stanicí Nýdek

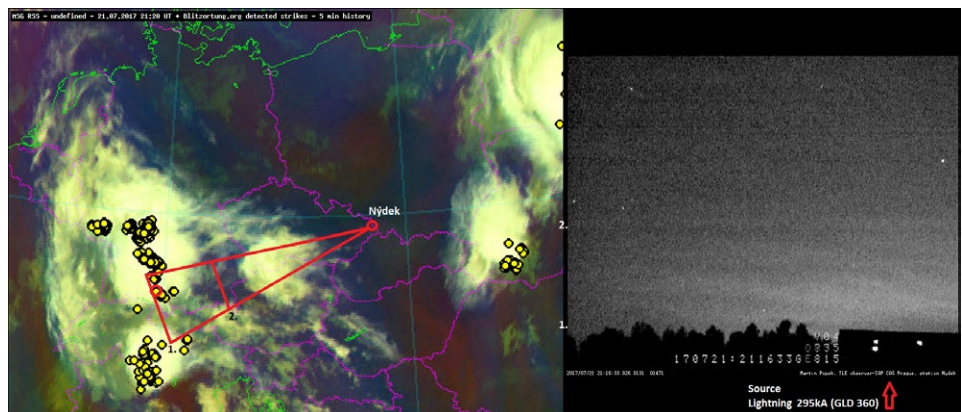
Od roku 2017 bylo pozorováno 12 případů tygřích elfů. Na první pohled ovšem tyto úkazy často vypadají jako obyčejná troposférická oblačnost, nasvícená buď samotným bleskem, nebo pozemními světelnými zdroji (světelným smogem). Tak se zde nabízí otázka, jak správně identifikovat tygří elfy:

1. V první řadě si je třeba uvědomit, že jde o velmi krátkodobý úkaz o životnosti několika mikrosekund, proto zde není šance, že by byl viditelný na více než jednom snímku z videa. Pro jistotu je třeba shlédnout i videa předchozích nebo později zachycených TLE, zda tam není podobný artefakt. Úkazy, které neodpovídaly této podmínce byly vyřazeny z této publikace. Hranice vzdálenosti pro pozorovatelnost podobně bleskem nasvícené vysoké oblačnosti má své hranice kolem 200 km. Od této vzdálenosti veškeré podobné spekulace odpadají. Důležitá je i vzdálenost troposférické oblačnosti, kterou může zdrojový blesk ozářit. U vybraných úkazů v publikaci by se tato vzdálenost u vysoké oblačnosti pohybovala od 200 do 500 km.
2. Blesk o vysokém špičkovém proudu je zárukou a je nutnou podmínkou vzniku elfů a je známo, že blesky nad 200 kA často vytvářejí vhodné podmínky pro vznik elfů. Průměrná



**Obr. 8 Tygří elfové nad severní Itálií 21. června 2017 (kapitola 7.1). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/325921496>.**

Fig. 8. Tiger elves over Northern Italy on 21 June 2017 (Chapter 7.1). The video link: <https://vimeo.com/325921496>.



**Obr. 9 Tygří elf nad JZ Německem 21. července 2017 (kapitola 7.2). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713726967>.**

Fig. 9. Tiger elf over SW Germany on 21 July 2017 (Chapter 7.2). The video link: <https://vimeo.com/manage/videos/713726967>.



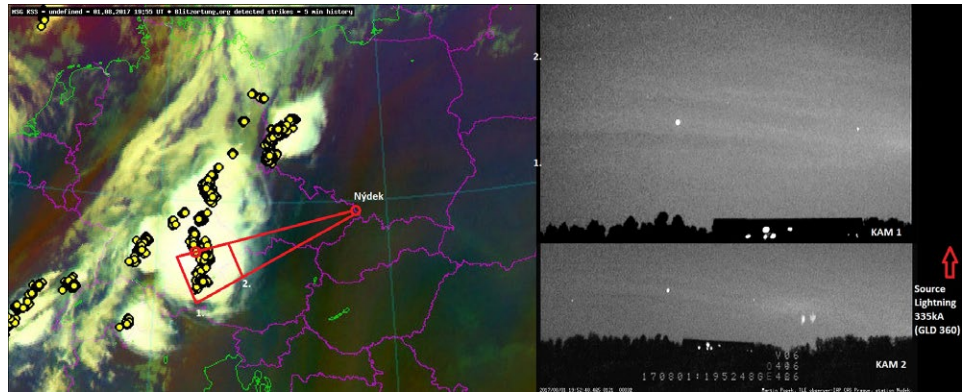
hodnota špičkového proudu elfů pozorovaných nad Evropským kontinentem se pohybuje mezi 200–250 kA (van der Velde a kol. 2011). V závislosti na podmínkách to může být i méně s teoretickou hranicí kolem 90 kA. Takové hodnoty špičkového proudu zdrojových blesků nebo jim blízké se mohou objevovat u tygřích elfů o velmi malé jasnosti. Málo jasní tygří elfové jsou většinou zachyceni jen díky doprovodným úkazům jako např. skřítkům.

3. Detekce kvazistatické změny elektrického pole je velmi pádný argument pro existenci elfů. Úkaz ale musí být dostatečně silný, aby vyvolal rozsáhlé horizontální změny v hustotě elektronů ionosféry a také dostatečně blízko pro zaznamenání této změny ze tří stanic v Anglii a Francii. Přes malý počet zachycených úkazů potvrdila tato metoda, že některé relativně problematické struktury světelného záření atmosféry byly vlastně tygří elfové.

4. Posledním teoretickým argumentem pro existenci vln promítnutých na zachycení elf je pozorování koncentrických gravitačních vln generovaných bouřemi z družic Suomi-NPP a NOAA-20 (obě družice přístroj VIIRS, kanál DNB). Tato možnost byla přes veškeré snahy a omezené přelety nad bouřemi neúspěšná. Dalším problémem při zachycení podobných struktur jsou rozměry samotných bouřkových systémů, v jejichž jasu zanikají jakékoliv slabší struktury v atmosféře. Navíc tyto struktury lze sledovat pouze nad temným zemským povrchem, což je nad světelným smogem znečištěným Evropským kontinentem značný problém. I když se u žádného níže uvedených úkazů nepovedlo dohledat podobné struktury, byl tento argument zmíněn v této publikaci jako jedna z možností, jak identifikovat tygří elfy (Yue, Lyons 2015).

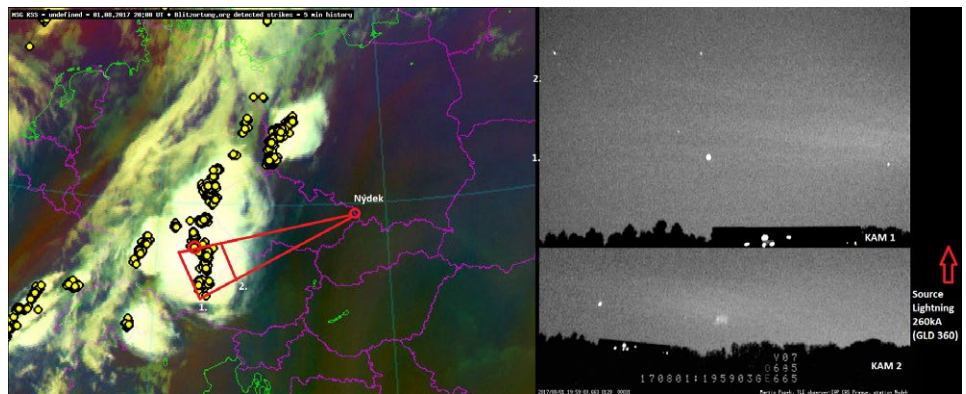
## 7.1 Tygří elfové nad severní Itálií 21. června 2017 (obr. 8)

Úkazový a první případ pozorování tygřího elfa z observatoře Nýdek byl doprovázený skřítky ve tvaru sloupů tzv. columns. Vzdálenost od místa pozorování byla 706 km. Poměrně drobný mezosynoptický konvektivní systém (MCS) vytvořil celkově 10 TLE (8 skřítků, 1 halo a 1 elfa) nad severní Itálií. Špičkový proud zdrojového blesku tygřího elfa byl  $-245 \text{ kA}^1$ ,



**Obr. 10 Tygří elf 1. srpna 2017, 19:52 UT (kapitola 7.3). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/328491827>.**

Fig. 10. Tiger elf on 1 August 2017, 19:52 UT (Chapter 7.3). The video link: <https://vimeo.com/328491827>.



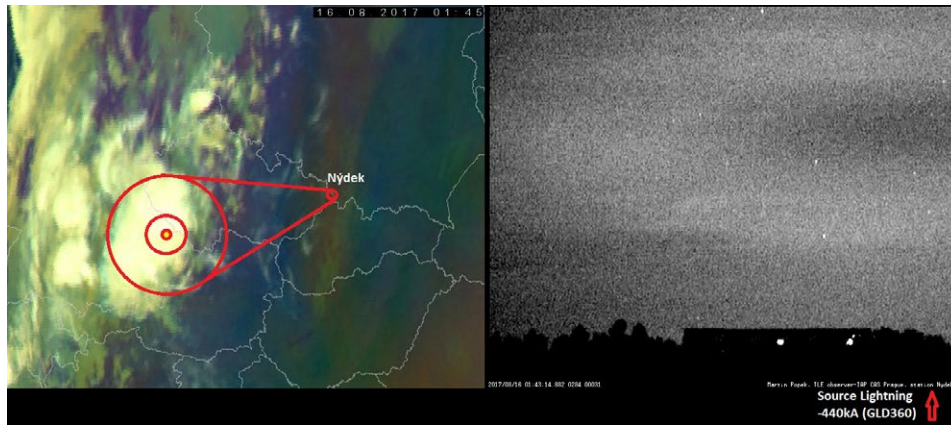
**Obr. 11 Tygří elf 1. srpna 2017, 19:59 UT (kapitola 7.3). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713724363>.**

Fig. 11. Tiger elf on 1 August 2017, 19:59 UT (Chapter 7.3). The video link is: <https://vimeo.com/manage/videos/713724363>.

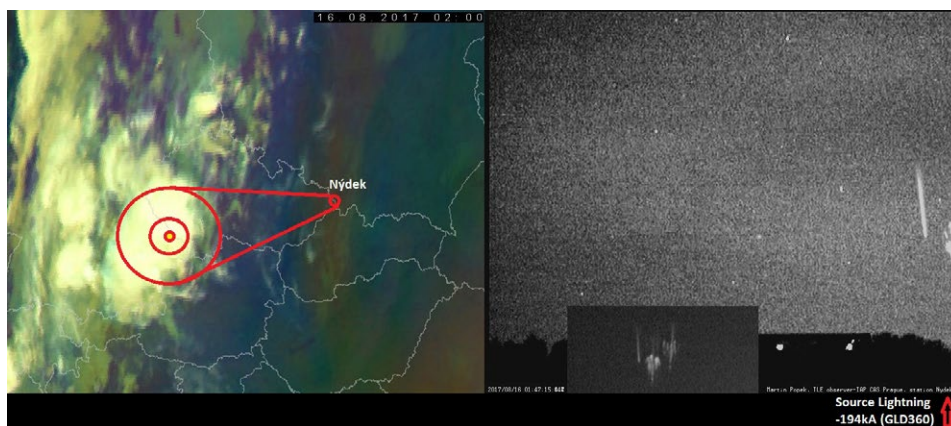
tedy měl typickou průměrnou hodnotu pro vytvoření úkazu typu elf. Silná kvazistatická změna elektrického pole vyvolaná tímto tygřím elfem byla zaznamenána na stanici BTDC Chilbolton.

Úkaz byl zachycený na dvou kamerách s objektivy 12 a 25 mm a zorným polem  $12 \times 7^\circ$  a  $37 \times 23^\circ$ . Pro analýzu byly použité soubory zachycené kamerou s 25mm objektivem. Jen u elfa s dírou byly analyzovány soubory z 12mm objektivu, a to z důvodu celkového pohledu na velikost úkazu. Na snímcích elfů zachycených 25mm objektivem, jsou díky většímu rozlišení jednotlivé vlny jasnější a snáze rozlišitelné. Poloha obyčejného elfa s typickou dírou je velmi dobře měřitelná díky výrazně ohraničeným vnějším okrajům díry. U tygřích elfů je proměření v programu UFOAnalyzer problematické. A tak zde byla zvolena metoda proměření polohy jednotlivých pásů od levého k pravému okraji fotografie (bod 1 a 2) vzhledem k průměrné výšce pro elfy (90 km nad zemským povrchem). Výsledná přibližná poloha byla přenesena na snímek z družice Meteosat (produkt airmass) v čase, kdy bouře vytvořila tygřího elfa (bod 1 a 2 na levém okraji pravého obr. 8). Na družicovém snímku jsou bleskové výboje ze sítě Blitzortung v 5minutové historii a v červeném kruhu je označena přibližná poloha zdrojového blesku. Poloha zdrojového blesku je vyznačena i pod fotografií tygřího elfa.

<sup>1</sup> Polarita proudu blesku je dána polaritou samotného bleskového výboje.



**Obr. 12 Tygří elf 16. srpna 2017, 01:43 UT (kapitola 7.4). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713731449>.**  
 Fig. 12. Tiger elf on 16 August 2017, 01:43 UT (Chapter 7.4). The video link: <https://vimeo.com/manage/videos/713731449>.



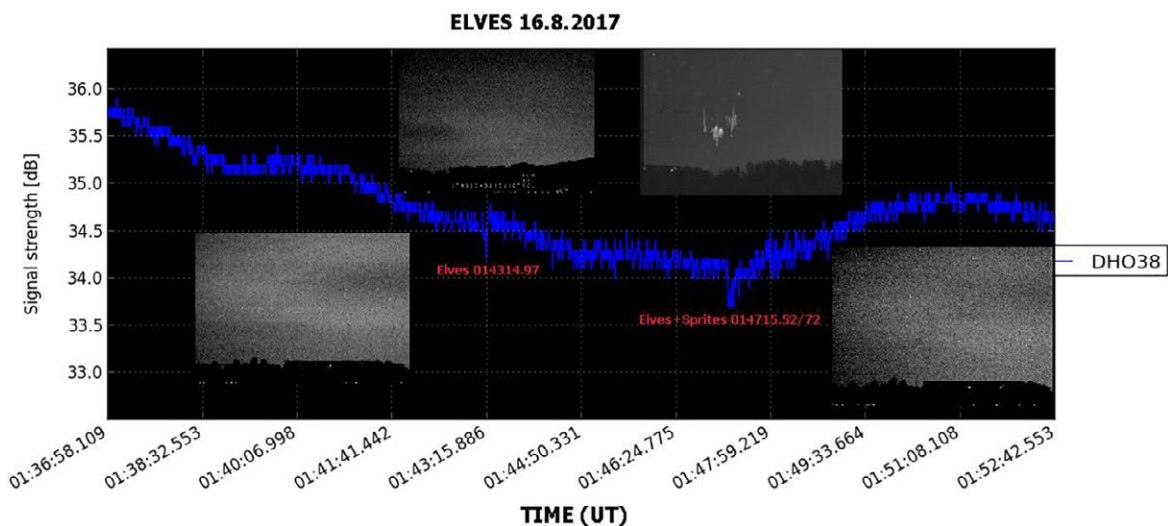
**Obr. 13 Tygří elf 16. srpna 2017, 01:47 UT (kapitola 7.4). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713734922>.**  
 Fig. 13. Tiger elf on 16 August 2017, 01:47 UT (Chapter 7.4). The video link: <https://vimeo.com/manage/videos/713734922>.

## 7.2 Tygří elf nad JZ Německem 21. července 2017 (obr. 9)

Velmi zajímavý případ tygřího elfa, kdy nebyl vidět žádný doprovodný TLE, nebo byl již pod obzorem nepozorovatelný. Úkaz vytvořila MCS bouře nad jihozápadem Německa ve vzdálenosti 695 km od místa pozorování. Z této bouře nebyly pozorovány další TLE, ale důvodem mohla být velká vzdálenost bouře, kdy byly skřítkové již nepozorovatelné pod obzorem. Zdrojový blesk měl nadprůměrnou hodnotu špičkového proudu +295 kA. Silná kvazistatická změna elektrického pole vyvolána tímto tygřím elfem byla zachycena na stanicích BTD Portishead a BTD Chilbolton.

## 7.3 Dva tygří elfové nad JZ Německem 1. srpna 2017 (obr. 10 a 11)

Dvojice zajímavých tygřích elfů doplněných TLE typu halo a skřítků z aktivní MCC (Mesoscale convective complex) bouře nad JZ Německem (vzdá-



**Obr. 14 Záznam ionosférických poruch vyvolaných elfy (16. srpna 2017) zaznamenaný úzkopásmovým přijímačem Slovenské organizace pro vesmírné aktivity (SOSA) v Bojnicih, Slovensko (48,8° N, 18,6° E). Na záznamu nízkofrekvenčního signálu vysílače DHO38, který je ve vlastnictví německého námořnictva a slouží ke komunikaci s ponorkami, je vidět vliv přechodných světelných jevů na šíření signálu. Vysílač se nachází v blízkosti obce Rhauderfehn, Německo (53,1° N, 7,6° E). DHO38 vysílá na frekvenci 23,4 kHz s výkonem až 800 kW. Vysílaný signál se šíří z Německa k přijímači na Slovensku vícenásobnými odrazy mezi Zemí a ionosférou. Zdroj: Rudolf Šlosiar.**

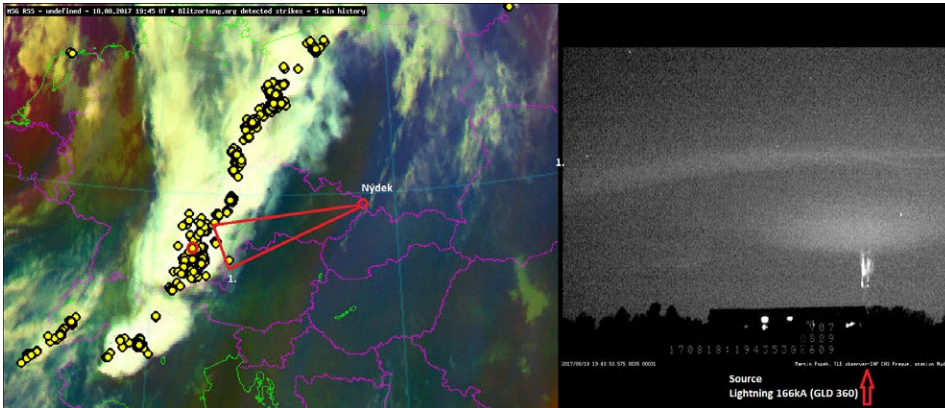
Fig. 14. Record of elves-induced ionospheric disturbances (16 August 2017) recorded by the narrowband receiver of the Slovak Space Activities Organization (SOSA) in Bojnice, Slovakia (48.8° N, 18.6° E). On the recording of the low-frequency signal of the DHO38 transmitter, which is owned by the German Navy and is used to communicate with submarines, the effect of transient light phenomena on signal propagation can be seen. The transmitter is located near Rhauderfehn, Germany (53.1° N, 7.6° E). DHO38 transmits at a frequency of 23.4 kHz with a power of up to 800 kW. The transmitted signal propagates from Germany to the receiver in Slovakia by multiple reflections between the Earth and the ionosphere. Source: Rudolf Šlosiar.



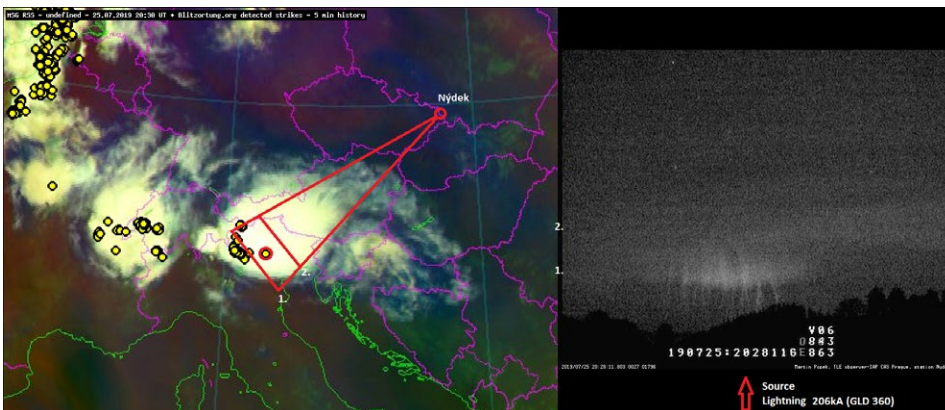
lenost 520 a 530 km). MCC bouře s gradací aktivity v nočních hodinách vytvořila velké množství TLE. Za 99 minut aktivity vytvořila 58 TLE (46 skřítků, 9 hal, 3 elfy a 1 trola). Zdrojové blesky měly hodnoty špičkových proudů typických až nadprůměrných pro vytvoření elfů (+335 a +260 kA). Kvazistatická změna elektrického pole vyvolaná touto dvojicí tygřích elfů nebyla v tomto případě zaznamenána. Na obr. 10 a 11 jsou záběry z obou kamer (12 a 25 mm).

## 7.4 Dva tygří elfové nad JZ Německem 16. srpna 2017 (obr. 12 a 13)

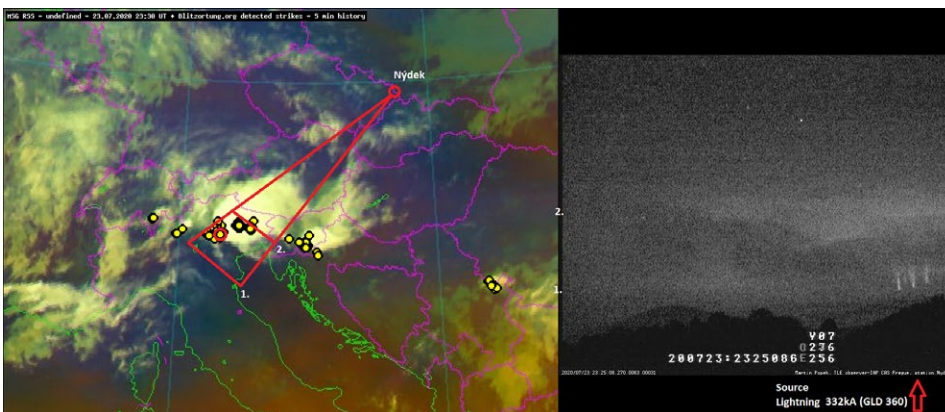
Ukázkový příklad tygřích elfů, kdy vlastně jde o typického elfa s dírou, na kterém je vidět výrazná pásová struktura. Výrazněji je vidět na prvním elfovi v čase 01:43 UT (obr. 12). Dvojici elfů ve vzdálenosti 413 a 420 km od stanice v Nýdku vytvořily negativní zdrojové blesky o hodnotách špičkových proudů –440 a –194 kA. Druhý elf (obr. 13) s výrazně menší jasností byl doprovázen skřítky. Oba úkazy vytvořila aktivní MCC bouře nad JZ Německem. Bouře vytvořila v ranních hodinách za 2,5 h aktivity 18 TLE (13 skřítků, 3 hala a 2 elfy). Na snímku z družice Meteosat (bez bleskových dat ze sítě Blitzortung) je pohled na celkovou velikost elfů. Elfové byli analyzováni z dat kamery s větším polem 37° (12mm objektiv). Ve složeném obrázku je záznam z 25mm objektivu (12°). Slabší kvazistatická změna elektrického pole touto dvojicí tygřích elfů byla detekována na stanici BTDC Chilbolton.



**Obr. 15 Tygří elf nad JZ Německem 18. srpna 2017 (kapitola 7.5). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713733232>.**  
Fig. 15. Tiger elf over SW Germany on 18 August 2017 (Chapter 7.5). The video link: <https://vimeo.com/manage/videos/713733232>.



**Obr. 16 Tygří elf nad severní Itálií 25. července 2019 (kapitola 7.6). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/350313484>.**  
Fig. 16. Tiger elf over northern Italy on 25 July 2019 (Chapter 7.6). The video link: <https://vimeo.com/350313484>.



**Obr. 17 Tygří elf nad severní Itálií 23. července 2020 (kapitola 7.7). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/441349329>.**  
Fig. 17. Tiger elf over northern Italy on 23 July 2020 (Chapter 7.7). The video link: <https://vimeo.com/441349329>.

## 7.5 Tygří elf nad JZ Německem 18. srpna 2017 (obr. 15)

Tento zvláštní tygří elf ve tvaru jedné horní vlny vytvořila velmi aktivní MCC bouře s gradací aktivity v nočních hodinách. Za 5 h vytvořila tato bouře 82 TLE (66 skřítků, 21 hala a 1 elfa). Tygří elf doplněný skřítkem a výrazným halem se objevil ve vzdálenosti 548 km od místa pozorování a zdrojový blesk měl podprůměrnou hodnotu špičkového proudu +166 kA. Kvazistatická změna elektrického pole nebyla v tomto případě detekována.

## 7.6 Tygří elf nad severní Itálií 25. července 2019 (obr. 16)

Pěkný případ tygřího elfa doplněného halem a skřítkem. U skřítků jsou prakticky viditelné jen vlásečnice (tendrils) bez typických těl tzv. decapites sprites. MCS bouře vytvořila celkově 6 TLE (3 skřítky, 2 hala a 1 elfa) za 1 hodinu aktivity. Vzdálenost úkazu od místa pozorování byla 659 km a zdrojový blesk měl průměrnou



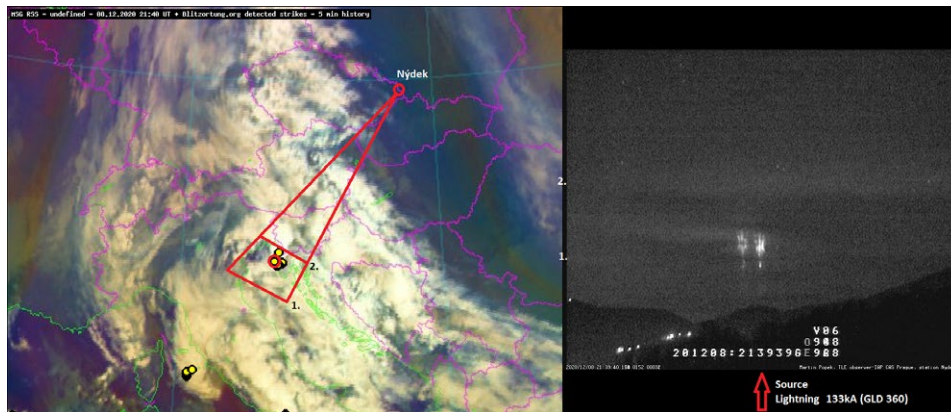
hodnotu špičkového proudu +206 kA. Kvazistatická změna elektrického pole nebyla ani v tomto případě zachycena.

## 7.7 Tygří elf nad severní Itálií 23. července 2020 (obr. 17)

Tygří elf se zvláštní strukturou doplněný sloupcovitým skřítkem. Úkaz vytvořila drobná, ale aktivní MCS bouře nad seve-

rem Itálie ve vzdálenosti 661 km od místa pozorování. Zdrojový blesk měl nadprůměrnou hodnotu špičkového proudu +332 kA. Bouře celkově vytvořila za 3 hodiny 21 TLE (15 skřítků, 5 hal a 1 elfa). Slabá kvazistatická změna elektrického pole byla v tomto případě zaznamenána na francouzské stanici Lannemezan.

## 7.8 Tygří elf nad severním Chorvatskem 8. prosince 2020 (obr. 18)

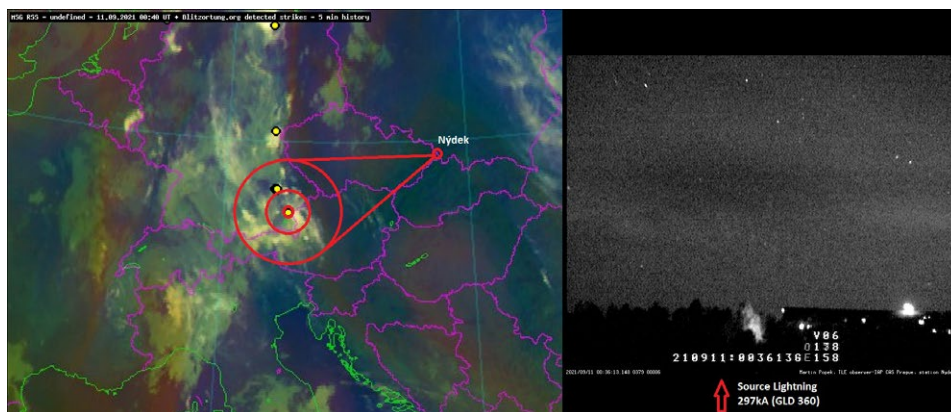


**Obr. 18 Tygří elf nad severním Chorvatskem 8. prosince 2020 (kapitola 7.8). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/488972523>.**

Fig. 18. Tiger elf over northern Croatia on 8 December 2020 (Chapter 7.8). Video link: <https://vimeo.com/488972523>.

Tento případ tygřího elfa doplněný skřítky ve tvaru mrkve je jediný v tomto článku, který vytvořila bouře zimního typu. Úkaz vytvořila bouře nad Jaderským mořem ve vzdálenosti 642 km od místa pozorování. Bouře vytvořila za 3 hodiny aktivity 9 TLE (5 skřítků, 3 hala a 1 elfa). Zdrojový blesk měl podprůměrnou hodnotu špičkového proudu jen +133 kA. Kvazistatická změna elektrického pole nebyla v tomto případě zaznamenána.

## 7.9 Tygří elf nad JZ Německem 11. září 2021 (obr. 19)



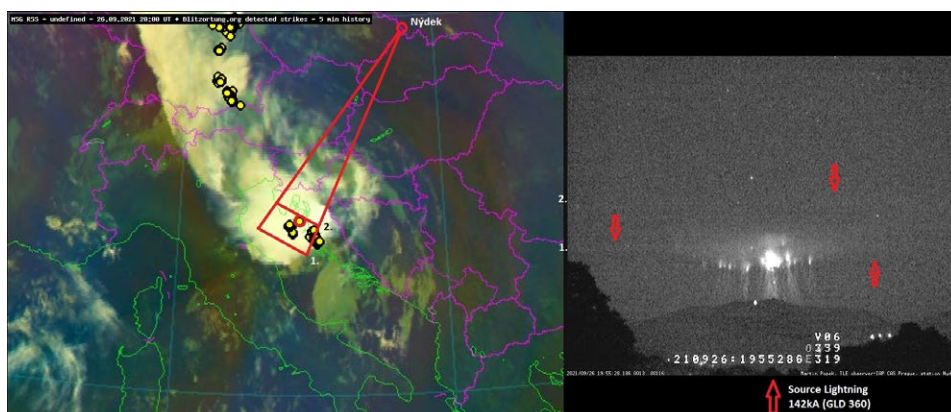
**Obr. 19 Tygří elf nad JZ Německem 11. září 2021 (kapitola 7.9.). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/602515421>.**

Fig. 19. Tiger elf over SW Germany on 11 September 2021 (Chapter 7.9). Video link: <https://vimeo.com/manage/videos/602515421>.

Ukázkový příklad tygřího elfa, kdy jde vlastně o typického elfa s dírou, na kterém jsou vidět světelné pásy. Atypická miniaturní bouře nad jihozápadním Německem s velmi malým počtem blesků vytvořila jen jeden nadoblačný blesk. Jeho vzdálenost byla 472 km od místa pozorování. Zdrojový blesk měl nadprůměrnou hodnotu špičkového proudu potřebného pro vytvoření elfa (+297 kA).

Na snímku z družice Meteosat je pohled na celkovou velikost elfa. Elf byl analyzován z dat kamery, kde bylo použito pro pozorování větší pole 37° (12 mm objektiv). V obrázku pod textem je záznam z 25 mm objektivu (12°). Silná kvazistatická změna elektrického pole vyvolaná tímto tygřím elfem byla zaznamenána na stanici BTD Portishead.

## 7.10 Tygří elf nad severním Chorvatskem 26. září 2021 (obr. 20)



**Obr. 20 Tygří elf nad severním Chorvatskem 26. září 2021 (kapitola 7.10). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/616808855>.**

Fig. 20. Tiger elf over northern Croatia on 26 September 2021 (Chapter 7.10). Video link: <https://vimeo.com/manage/videos/616808855>.

Příklad extrémně slabých pruhů na tygřím elfovi doplněným vý-



**Obr. 21. Tygří elf 21. června 2017 z 12 a 25 mm objektivu. Zorné pole bylo  $12 \times 7^\circ$  a  $37 \times 23^\circ$ .**

Fig. 21. Tiger elf on 21 June 2017 from 12 and 25 mm lens. The field of view was  $12 \times 7^\circ$  and  $37 \times 23^\circ$ .

razným skřítkem (ve tvaru medúz) a halem. Úkaz nad Jaderským mořem byl vzdálený 673 km od pozorovatele a zdrojový blesk měl podprůměrnou hodnotu špičkového proudu +142 kA. Celkově vytvořila tato MCS bouře 35 TLE (25 skřítků, 8 hal a 1 elfa). Kvazistatická změna elektrického pole nebyla v tomto případě detekována.

## 8. Závěr

Jak je vidět na dvanácti vybraných úkazech, tygří elfové mají velmi různorodé tvary. Od typických elfů s dírou, kdy je vidět pásová struktura na světelném kruhu elfa, až po různorodé pásy na obloze, které na první pohled jen vzdáleně připomínají tento druh TLE. I zdrojové typy bouří, ve kterých se vybraní tygří elfové vyskytli, jsou velmi různorodé. Od klasických SQL (Squall line), větší MCS nebo obří MCC s gradací aktivity v nočních hodinách, až po rozměrově velmi malou letní bouřku s nízkou bleskovou aktivitou a bouřku zimního typu. Vzdálenost jednotlivých úkazů od místa pozorování se pohybovala v rozmezí 706–413 km. Jak se časem ukázalo, jedním z důležitých faktorů pro úspěšné zachycení těchto poměrně vzácných úkazů bylo pozorování pomocí 25 mm objektivu Tevidon. Na menším pozorovacím poli s větším dosahem (co se týče jasnosti jednotlivých úkazů) jsou vidět i ty nejmenší podrobnosti, které dovoluje tento typ kamery Watec. Vše je dobře vidět při srovnání stejného úkazu z 12 a 25 mm objektivu. Zorné pole bylo  $12 \times 7^\circ$  a  $37 \times 23^\circ$  (obr. 21).

Špičkový proud zdrojových blesků se pohyboval od 440 do 133 kA s průměrnou hodnotou 245 kA, což je dokumentovaná horní hranice špičkových proudů zdrojových blesků pro vytvoření elfů nad Evropským kontinentem (200–250 kA). Nejmenší hodnota špičkového proudu zdrojového blesku (133 kA) se velmi přiblížila k teoretické hraniční hodnotě tohoto proudu pro tvorbu elfů, jež se pohybuje kolem 90 kA. Detekce kvazistatické změny elektrického pole vybraných tygřích elfů byla úspěšná v šesti případech s průměrnou hodnotou špičkového proudu zdrojového blesku 300 kA. Ve většině případů šlo o výraznější úkazy s nadprůměrnými hodnotami špičkových proudů zdrojových blesků (245–440 kA), což umožnilo úspěšnější detekci elfů v monitorech BTD-300.

## Poděkování:

Velké poděkování kolegům za data: Ivaně Kolmašové z Ústavu fyziky atmosféry za dohledání zdrojových blesků k jednotlivým úkazům a korekce části textu. Andrea Pizzuti a Alecu Bennetovi z Univerzity v Bath za data z detekce kvazistatické změny elektrického pole k zachyceným tygřím elfům. Martinu Setvákovi z ČHMU za pokusy o dohledání vln k vybraným úkazům na družicových snímcích.

## Literatura:

- ARNONE, E., BÓR, J., CHANRION, O., BARTA, V., DIETRICH, S. et al., 2020. Climatology of Transient Luminous Events and Lightning Observed Above Europe and the Mediterranean Sea. *Surveys in Geophys.*, Vol. **41**, s. 167–199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09573-5>. Dostupné také z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/337016237\\_Climatology\\_of\\_Transient\\_Luminous\\_Events\\_and\\_Lightning\\_Observed\\_Above\\_Europe\\_and\\_the\\_Mediterranean\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/337016237_Climatology_of_Transient_Luminous_Events_and_Lightning_Observed_Above_Europe_and_the_Mediterranean_Sea).
- BEDNÁŘ, J., SETVÁK, M., 2015. Přirozený svit noční oblohy a vlnové děje v atmosféře. *Meteorologické zprávy*, roč. **68**, č. 4, s. 108–115.
- BOECK, W., VAUGHAN, JR., O., BLAKESLEE, R., VONNEGUT, B., BROOK, M., 1998. The Role of the Space Shuttle Videotapes in the Discovery of Sprites, Jets, and Elves. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. **60**, s. 669–677. Dostupné z [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(98\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(98)00025-X). Dostupné také z WWW: <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/sprites.html>.
- ESA, 2021. The curious incident of Swarm and sprites in the night-time [online]. The European Space Agency [cit. 2. 11. 2022]. Dostupné z WWW: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/FutureEO/Swarm/The\\_curious\\_incident\\_of\\_Swarm\\_and\\_sprites\\_in\\_the\\_night-time](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Swarm/The_curious_incident_of_Swarm_and_sprites_in_the_night-time).
- EVERETT, W. H., 1903. Rocket lightning. *Nature*, Vol. **68**, s. 599. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/068599c0>.
- HBSciU, 2015. The tiger elves that live in the sky [online]. [cit. 16. 11. 2022]. Dostupné z WWW: <https://hbsci.com/2015/02/16/the-tiger-elves-that-live-in-the-sky/>.
- KOLMAŠOVÁ, I., SANTOLÍK, O., KAŠPAR, P., POPEK, M., PIZZUTI, A. et al. 2021. First Observations of Elves and Their Causative Very Strong Lightning Discharges in an Unusual Small-Scale Continental Spring-Time Thunderstorm. *JGR Atmospheres*, Vol. **126**, č. 1. Dostupné také z WWW: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020JD032825>.
- MACKENZIE, T., TOYNBEE, H., 1886. Meteorological phenomena. *Nature*, Vol. **33**, s. 246.
- MALAN, D. J., 1937. Sur les decharges orageuses dans la haute atmosphere. *Academie des Sciences*. November 3.
- Meteo Beskydy, 2022. Observatoř v Nýdku [online]. [7. 7. 2022]. Dostupné z WWW: <https://meteobeskydy.wixsite.com/meteo-beskydy/observator>.
- PIZZUTI, A., BENNETT, A., FULLEKRUG, M., 2019. Using a short-range quasi-electrostatic thunderstorm detector for lightning safety and research [online]. EGU General Assembly 2019 [cit.



16. 11. 2022]. Dostupné z WWW: [https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-7555\\_presentation.pdf](https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-7555_presentation.pdf).
- POPEK, M., 2014. Záblesk Elfa nad Jaderským mořem [online]. Česká astronomická společnost [7. 5. 2022]. Dostupné z WWW: <https://www.astro.cz/clanky/ukazy/zablesk-elfa-nad-jaderskym-morem.html>.
- POPEK, M., 2018. Jak pozorovat blesky v horních vrstvách atmosféry [online]. Česká astronomická společnost [7. 5. 2022]. Dostupné z WWW: <http://www.astro.cz/clanky/ukazy/jak-pozorovat-blesky-v-hornich-vrstvach-atmosfery.html>.
- ROWLAND, H. L., FERNSLER, R. F., BERNHARDT, P. A., 1996. Breakdown of the neutral atmosphere in the D region due to lightning driven electromagnetic pulses. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. **101**, č. A4, s. 7935–7945. Dostupné také z WWW: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/95JA03519>.
- STRUMIK, M., SLOMINSKI, J., SLOMINSKA, E., MLYNARCZYK, J., BLECKI, J. et al., 2021. Experimental Evidence of a Link Between Lightning and Magnetic Field Fluctuations in the Upper Ionosphere Observed by Swarm. *Geophysical Research Letters*, Vol. **48**, č. 4. Dostupné také z WWW: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020GL091507>.
- VAISALA, 2022. Global Lightning Detection Network GLD360 [online]. [cit. 16. 11. 2022]. Dostupné z WWW: <https://www.vaisala.com/en/products/systems/lightning/gld360>.
- VAN DER VELDE, O. A., MONTANYÀ, J., FÜLLEKRUG, M., SOULA, S., 2011. Gravity Waves, Meteor Trails and Asymmetries in Elves [online]. XIV International Conference on Atmospheric Electricity, August 08-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil [cit. 16. 11. 2022]. Dostupné z WWW: <https://core.ac.uk/download/pdf/41828896.pdf>.
- WILSON, C. T. R., 1924. The Electric Field of a Thundercloud and Some of its Effects. *Proceedings of the Physical Society of London*, Vol. **37**, č. 1, s. 32D–37D. Dostupné z: <https://doi.org/DOI10.1088/1478-7814/37/1/314>. Dostupné také z WWW: [https://web.archive.org/web/20140310135835/http://www.storm-t.iag.usp.br/pub/ACA0330/papers/Wilson\\_electricfield\\_thunderstorms\\_1924.pdf](https://web.archive.org/web/20140310135835/http://www.storm-t.iag.usp.br/pub/ACA0330/papers/Wilson_electricfield_thunderstorms_1924.pdf).
- YUE, J., LYONS, W. A., 2015. Structured elves: Modulation by convectively generated gravity waves. *Geophysical Research Letters*, Vol. **42**, č. 4. Dostupné také z WWW: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014GL062612>.
- WOOD, E. A., 1951. Detwinning ferroelectric crystals. *The Bell System Technical Journal*, Vol. **30**, č. 4, s. 945–955. ISSN 0005-8580. Dostupné z: [10.1002/j.1538-7305.1951.tb03690.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1951.tb03690.x).

**Lektoři (Reviewers):**

**prof. RNDr. Jan Bednář, CSc., RNDr. Martin Setvák, CSc.**