

PŘECHODNÉ SVĚTELNÉ ÚKAZY SOUVISEJÍCÍ S BOUŘKOVOU ČINNOSTÍ

Martin Popek, Amateur Stormchasing Society a Eurosprites, martin.brahe@o2active.cz

Jan Bednář, Matematicko-fyzikální fakulta UK, katedra meteorologie a ochrany prostředí, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, jan.bednar@mff.cuni.cz

Transient Luminous Events associated with thunderstorms. In this paper some observations of Transient Luminous Events (TLE) in the Czech Republic are presented and main sorts of these phenomena are described here. The possible connections with thunderstorm electricity are also mentioned on the base of electrical structure of Cb.

KLÍČOVÁ SLOVA: úkazy světelné přechodné – pole elektrické v atmosféře – struktura kumulonimbu elektrická – blesky
KEY WORDS: Transient Luminous Events – atmospheric electric field – electrical structure of Cb – lightnings

1. ÚVOD

V poslední době se zejména v internetových publikacích věnuje mimořádná pozornost pozorování souboru jevů, jež jsou označovány jako „přechodné světelné úkazy“ (TLE – Transient Luminous Events). Tyto jevy bývají pozorovány v oblastech s prostorově rozsáhlou a silnou bouřkovou činností v širokém rozmezí výšek nad horní hranicí vertikálně mohutných kumulonimbů. V zásadě lze TLE rozdělit na dvě skupiny:

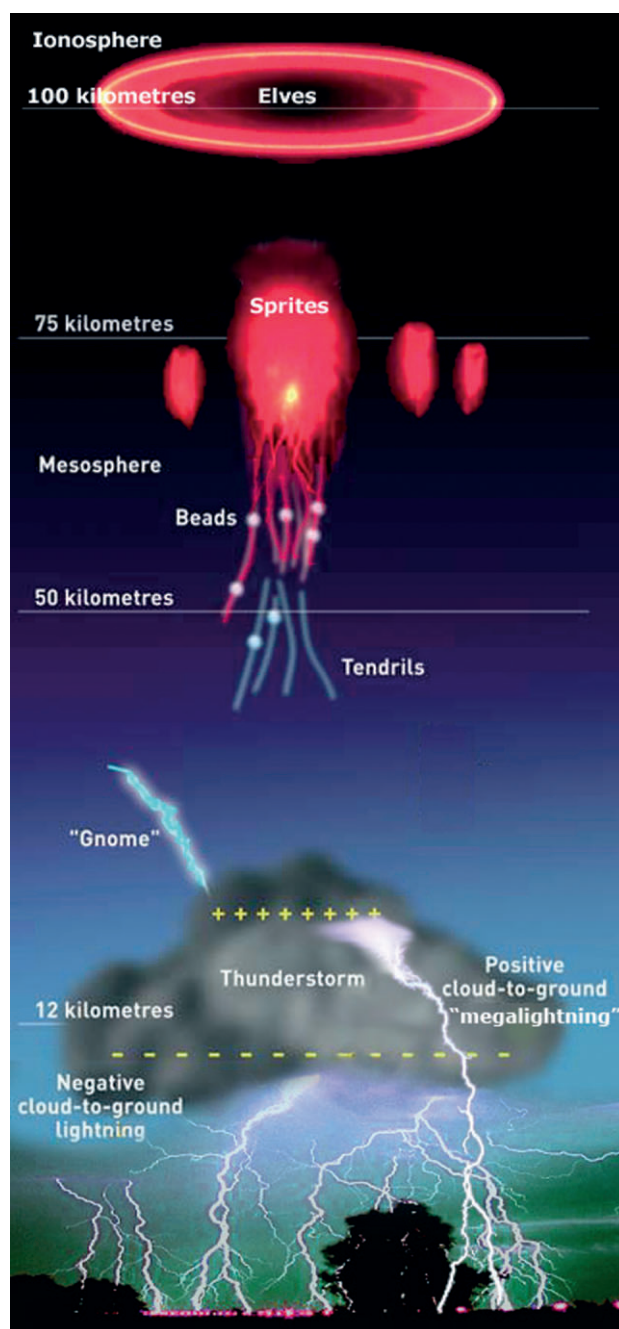
1. *Světelné záblesky krátkého trvání (zlomky sekund)*, jež „padají“ dolů z vyšších hladin a/nebo se v těchto hladinách horizontálně rozšiřují do prostoru. Mají převážně zbarvení do červených odstínů a bývají pozorovány ve výškovém rozmezí cca 30–100 km, převážně v mezoféře (dolní ionosféře) a řidčeji v horních vrstvách stratosféry. Informativní popis a podrobnější členění těchto úkazů dle jejich vzhledu uvádíme v další části tohoto příspěvku, většinou však dosahují pouze do horní stratosféry.
2. *Tzv. „jetý“ (výtrysky)*, jež jsou rovněž blíže popsány spolu s dalšími podobnými úkazy v následujícím textu. Projevují se jako kužely modravého nebo načervenalého světla slabší intenzity vystřelující z horní části bouřkového oblaku vzhůru až do výšek kolem 100 km, většinou však dosahují pouze do horní stratosféry.

Na tomto místě bude též vhodné vysvětlit jednu zkratku užívanou v souvislosti s TLE v tomto článku: **MCS** (**Mesoscale convective system**, mezoměřítkový konvekční systém), jedná se o organizovaný komplex bouřek na podstatně větší ploše, než bývá obvyklá velikost bouřky. Tato plocha má většinou přibližně oválný tvar a horizontální rozměry až stovky kilometrů.

2. DRUHY TLE

Red sprite(s) („rudý skřítek“, „rudí skřítki“): Nejběžnější typ TLE. Výška nad zemským povrchem se nejčastěji pohybuje v rozmezí 60–90 km, někdy se však vyskytují již ve výškách nad 30 km. Při výskytu spolu s vlásečnicemi Tendrils (viz dále) se může velikost tohoto jevu až zdvojnásobit. Obvykle mají Red sprites podobu mrkve, sloupu nebo, ve spojitosti s Tendrils, vypadají jako medúzy (Jellyfish). Někdy se však objeví jen světlejší mlžné útvary neurčitého tvaru. Tento druh TLE má zjevnou spojitost se silnými elektrickými výboji v bouřkových oblacích. Doba trvání bývá 1/50–1/100 s, avšak délka úkazu se občas prodlužuje v důsledku postupného šíření jednotlivých skupin skřítků.

Tendrils („vlásečnice“): Mají jemné struktury vláken, které obvykle ze skřítků dále směřují dolů do stratosféry a někdy dosahují i pod výšku 30 km nad zemským povrchem. Doba trvání je obdobná jako u skřítků.



Obr. 1 Hlavní druhy TLE dle [1].

Fig. 1. Main types of TLE by [1].

Sprites halo jsou disky nebo elfům (viz dále) podobné kruhy, ale nalézají se v poněkud nižších nadmořských výškách (ca 85 km) a jsou menší. Mohou však vykazovat pohyb vzhůru až do výšek kolem 100 km. Mají průměrnou životnost kolem 1/100–1/300 s a bývají někdy následovány skřítky, kteří zřejmě vznikají z disku samotného hala. Lze připustit, že to může být počáteční fáze při vzniku skřítků, která však není ve všech případech viditelná.

Elves, česky „elfové“ (**Emissions of Light and Very low frequency perturbations from Electromagnetically pulsed Sources**) jsou z TLE ty nejrychlejší a největší úkazy. Produkují intenzivní světelný svazek o krátké době trvání, zpravidla kratší než milisekunda. Objevují se ve výškách kolem 100 km a šíří se prostorem ve tvaru kruhů do vzdálenosti několika stovek kilometrů. Ve vzácnějších případech mohou být spojeny s výskytem skřítků a připouští se možnost, že tyto úkazy souvisí s elektrickými výboji o vysokých energiích směřujícími z horní části bouřkových oblaků vzhůru (viz dále). Dlouho se spolehlivě nevědělo, jakou mají Elves typickou barvu, ale pozorování z vesmíru potvrdilo většinou obdobnou červenou barvu jako u skřítků.

Blue jet („Modrý výtrysk“) je kužel světla slabší intenzity vystřelující z bouřkového oblaku do výšky až 45 km. Jedná se o pozorovatelsky dosti vzácný úkaz, který bývá spojen s vysokou intenzitou bouřek projevujících se v nižších hladinách. Potíže při pozorování modrého výtrysku jsou způsobeny jednak relativně nízkou nadmořskou výškou úkazu (zpravidla dosti níže, než se vyskytují již zde zmínění skřítky) a skutečností, že modré světlo se ve vzduchu vlivem molekulárního rozptylu (účinnost tohoto rozptylu úměrná čtvrté mocniny převrácené hodnoty vlnové délky) rozptyluje mnohem více než světlo červené. Kromě toho jsou vysokorychlostní kamery málo citlivé na modrou barvu. Určitým řešením by bylo pozorování těchto jevů z letadel, což je však velmi náročné z hlediska nákladů a technické realizace.

Blue starter („Modrý spouštěč“) představuje úkaz v podobě malého modrého výtrysku a často je podél svých boků doprovázen záblesky nebo samostatnými světelnými body, které se tvoří nad kovanými bouřkových oblaků, což se může jevit jako nedokonale vyvinutý modrý výtrysk. Maximální výška se pohybuje v rozmezí kolem 20 km. Zdá se, že modrý spouštěč byl poprvé identifikován v roce 1994 a v následujícím roce se začal popisovat v literatuře. Mohl by vznikat za stejných podmínek, při kterých produkují bouřkové oblaky modré výtrysky. Nebyl pozorován v souvislosti s bouřkami s vertikálním dosahem kumulonimbů nižším než 13 km. Doba trvání je kolem 1/20–1/40 s.

Troll jet, česky „Trolí výtrysk“ (**Transient Red Optical Luminous Lineament**) je úkazem přechodně velmi jasným a skřítkům podobným, ale bývá ve srovnání s nimi níže položen. K úkazu obvykle dochází po výskytu několika skřítků velké intenzity, přesněji řečeno vzniká zpravidla pod skřítky, kde se nalézají nebo končí vlasečnice (Tendrils). První případy byly pozorovány jako červené skvrny se slabými oáskami v místech, kde končí modrý výtrysk (Blue jet).

Gigantic jet („obří výtrysk“) lze charakterizovat jako hybrid mezi skřítky a modrými výtrysky. Spodní partie úkazu připomíná modrý výtrysk, který však putuje až do výšky kolem 100 km. Doba trvání je na spodní hranici trvání modrého výtrysku.

Gnomes („trpaslíci“) jsou velmi malé světelné, tvarově bodově protáhlé jevy nad kumulonimby. Mají bílou barvu a velmi krátkou životnost. Směřují nahoru, aniž vycházejí

přímo z bouřkového oblaku. Nejsou širší než 200 m a bývají dlouhé i přes 1 km. Trvají jen v rozmezí ca 30–150 ms.

Pixies jsou ještě menší než Gnomes (trpaslíci), takže se jeví téměř jako světelné body. Jejich šířka se odhaduje maximálně na 100 m. Jak Pixies, tak Gnomes mají bílou barvu podobně jako troposférické blesky, ale mezi těmito úkazy zřejmě není přímá spojitost. Doba trvání 1–50 ms.

Jako upřesňující informaci lze uvést, že názvy Troll jet, Gnomes a Pixies se frekventovaněji vyskytují spíše na webových stránkách amatérských pozorovatelů než v ryze odborné recenzované literatuře.

Informativní přehledovou informaci o přibližné podobě hlavních úkazů TLE a o výškovém rozmezí jejich výskytů ukazuje obr. 1 převzatý z [1].

3. ZÁKLADNÍ POZNATKY O ELEKTRICKÉ STRUKTUŘE KUMULONIMBŮ

Elektrickou strukturu bouřkových oblaků budeme zde popisovat vůči pozadovému elektrickému poli v atmosféře, které odpovídá tzv. „podmínkám klidného ovzduší“ (jasná obloha nebo jen velmi malá oblačnost, bez mlhy, silného větru apod., angl. termín *fine weather conditions*, zde uvedený volný český překlad použit např. v [2]). Toto pole má vertikální strukturu (jeho horizontální složky jsou zanedbatelné vůči složkám vertikálním), jeho polarita odpovídá zápornému náboji zemského povrchu a převažujícímu kladnému náboji rozestřenému v atmosféře, má řádově intenzitu stovek V/m, střední hodnoty v blízkosti zemského povrchu dosahují 130–140 V/m. V meteorologické literatuře bývá obvyklé označovat takovou polaritu jako kladnou, této konvence se přidržíme i v tomto příspěvku. Nutno však upozornit, že chceme-li pak, aby elektrické siločáry směřovaly při této polarizaci vzhůru, musí vycházet ze záporného náboje, což je jejich opačná orientace ve srovnání s konvencí běžnou v obecné fyzikální literatuře. Budeme-li dále mluvit o polaritě elektrického pole uvnitř oblaku, nad nebo pod ním, budeme kladnou polarizací rozumět jeho orientaci shodnou s právě zmíněným pozadovým elektrickým polem, a proto v opačném případě se bude jednat o zápornou polarizaci oblačného elektrického pole.

Bouřkový oblak Cb má dvě hlavní centra elektrického náboje, ve své horní části centrum náboje kladného a v části dolní centrum náboje záporného. Separování elektrického náboje v oblaku, vedoucí ke vzniku těchto center, je výsledkem vzájemného spolupůsobení několika procesů, jež souvisejí s přítomností ledové fáze, a zejména jsou podmíněny intenzivním narůstáním ledových částic, rychlým namrzáním kapiček přechlazené vody na těchto částicích, jejich vzájemnými srážkami, třišťením apod. Tyto procesy jsou ve svých základních principech popisovány v učebnicové literatuře (viz např. [2, 3, 4]), avšak stále probíhá intenzivní výzkum ohledně nich, neboť je zde dosud řada otevřených otázek, souvisejících především s kvantifikací vlivů mikrostrukturálních oblačných dějů (teplota ledových částic a kapek přechlazené vody ve vztahu k jejich velikostnímu spektru, rozložení pevné a kapalně složky vodního obsahu v oblaku apod.). Kumulonimbus tedy můžeme s dobrým přiblížením interpretovat jako elektrický dipól vložený do již zmíněného pozadového elektrického pole. Pro jednoduchost nyní uvažujeme vertikální orientaci tohoto dipólu, avšak v reálných případech bývá jeho vertikální osa i dosti výrazně skloněna. Dolní záporný náboj bouřkového oblaku indukuje bezprostředně pod sebou, na jinak převážně záporně nabitým zemským povrchem, kladný náboj. V důsledku toho má elektrické pole pod základnou kumulonimbu zápornou pola-

ritu (ve smyslu naší právě zmíněné konvence) a jeho intenzita bývá zpravidla asi o dva řády větší ve srovnání s intenzitou pozadového pole, tj. dosahuje hodnot řádově desítek tisíců V/m. Obdobně zesílené, avšak s kladnou polaritou, elektrické pole existuje i uvnitř bouřkového oblaku mezi dolním záporným a horním kladným centrem elektrického náboje. Horní kladné centrum přitahuje z výše ležících již silněji ionizovaných vrstev atmosféry (z tzv. elektrosféry) záporný náboj a v důsledku toho nad vršky kumulonimbů opět existuje záporné elektrické pole o velké intenzitě. Z terminologického hlediska připomeňme, že jako elektrosféra se v literatuře zpravidla označují atmosférické hladiny kolem výšky 50 km a nad ní. Můžeme tedy konstatovat, že vertikální elektrické pole uvnitř kumulonimbu, pod a nad ním vykazuje svého druhu symetrii.

Běžnými typy blesků jsou tzv. vnitřní blesky (označované IC – intra-cloud discharges), tj. zejména bleskové výboje mezi dvěma právě uvedenými hlavními centry elektrického náboje v Cb, nebo tzv. blesky do země (z hlediska oblaku vnější blesky), nejčastěji přenášející z dolního centra záporný náboj k zemskému povrchu (označované CG– negative cloud-to-ground discharges). Mnohem řídkěji se vyskytují bleskové výboje (označované jako Cg+ positive cloud-to-ground discharges) mezi horním kladným centrem a zemí. Mohou se objevit při velkém sklonu vertikální osy elektrického dipólu kumulonimbu, v klasické učebnicové literatuře, např. [3], se též uvádí, že se mohou vyskytnout v pozdních fázích vývoje bouřkových buněk, celkově již zachvacovaných sestupnými pohyby vzduchu. Tento typ blesku se často vyznačuje velkou silou úderu, neboť elektrický výboj překonává relativně velkou vertikální odlehlost a velký rozdíl v poli elektrického potenciálu. Při běžném pozorování bouřek se někdy setkáváme se skutečností, že bouřka na daném místě končí jedním nebo několika časově si blízkými masivními údery blesku, což bývá v pozorovatelské praxi spojováno právě s blesky tohoto typu. V současné časopisecké literatuře (např. [5]) se však v souvislosti s těmito kladnými blesky uvažuje především role vzájemného horizontálního posunutí hlavních center elektrického náboje, určitá role se připisuje i podružnému centru kladného náboje, které se za k tomu vhodných okolností často vytváří v blízkosti základny bouřkového oblaku (ohledně tohoto centra viz [2–4]), popř. se berou v úvahu i další možné faktory související s vlastní vnitřní strukturou bleskových výbojů. Vzácněji pozorovaným jevem je kladný elektrický výboj z horního centra směrem vzhůru, stratosférou k elektrosféře. Relativní vzácnost pozorování tohoto jevu je však zřejmě důsledkem spíše obtížnějších pozorovacích podmínek. Z hlediska rozložení elektrických nábojů a struktury elektrických polí v bouřkových oblacích a v jejich okolí je tento typ elektrického výboje evidentně zcela přirozený a logický. V dalším textu zde bude ještě podrobněji zmiňován.

Bleskový výboj se obecně projevuje skokovými změnami elektrického pole v okolí aktivního bouřkového oblaku. Podle velikosti, polarity a případných změn této polarity v závislosti na horizontální vzdálenosti pozorovatele od bouřky pak lze na záznamech časového průběhu intenzity elektrického pole rozlišit, zda příslušné impulsy pocházejí od vnitřního blesku, od záporného či kladného blesku do země, nebo od elektrického výboje směřujícího z horní části Cb vzhůru. Této skutečnosti se dnes využívá k identifikacím a rozlišení charakteru bleskových výbojů ze záznamů soudobých sítí registrátorů blesků. Podrobnější popis této problematiky se vymyká

z možného rozsahu tohoto článku, avšak pro tuto chvíli nám postačí konstatování a vědomí, že takovéto rozlišování je alespoň v principu možné.

Zamyslíme-li se nad již zmíněnou symetrií ve struktuře elektrického pole kumulonimbu, snadno si uvědomíme, že protějškem elektrického výboje směřujícího z horní kladné nabitě části oblaku vzhůru je záporný blesk z dolní části oblaku směrem dolů (do země). Tato symetrie je v literatuře známa již dlouho, např. v [3] na str. 377 se uvádějí odkazy na práce již od 20. let minulého století, v nichž jsou identifikovány výboje kladného náboje z horní části Cb vzhůru, a dokonce se zde konstatuje, že k nim dochází spolu se silnými údery záporného blesku z dolní části oblaku do země nebo s kratičkým časovým odstupem po nich. Záporný blesk do země evidentně oslabí záporné elektrické pole pod oblakem, ale zároveň symetricky zesílí záporné elektrické pole nad ním, což zde podstatně usnadní podmínky pro vznik kladného výboje směrem vzhůru. Obdobný vliv však může v některých případech mít i vnitřní blesk. V současné odborné literatuře je tomuto typu elektrických výbojů věnována značná pozornost. Např. v [6, 7] se potvrzuje právě zmiňovaná časová souvislost se zápornými blesky do země nebo s vnitřními blesky a vzhůru směřující elektrické výboje se zde dávají do přímé souvislosti (možno říci, že se prakticky ztotožňují) s již námi zmíněnými modrými nebo gigantickými výtrysky. Právě uvedené skutečnosti by jistě mohly být velmi inspirativní z pohledu využití dat, pocházejících z konstrukčně vhodných registrátorů blesků, k identifikování mj. kladných blesků mezi vršky kumulonimbů a výše ležícími vrstvami atmosféry. Dalším krokem by pak logicky mohlo být analyzování časových souvislostí registrací příslušných elektrických výbojů a registrací výskytu jednotlivých druhů TLE.

Z hlediska srovnávání vizuálních podob blesků do země a elektrických výbojů mezi kumulonimbem a elektrosférou bude však třeba vzít v úvahu alespoň dvě podstatné skutečnosti:

Údery blesku do země jsou koncentrovány především na ta místa, kde na zemském povrchu existují podmínky pro tzv. vstřícný výboj. Ve volné atmosféře nad bouřkovými oblaky jsou však podmínky z tohoto hlediska přirozeně odlišné, a lze proto předpokládat určitou „difúznější“ podobu elektrického výboje, možno zřejmě uvažovat až v podobě „výtrysku“.

Kromě toho nutno brát v úvahu, že výboje směřující z oblaku vzhůru lze opticky pozorovat pouze z velkých vzdáleností, a nutno proto počítat s vlivy zakalení atmosféry (např. padajícími srážkami) mezi pozorovatelem a pozorovaným úkazem.

Velmi delikátní a obtížné zřejmě bude nalezení jednoznačného a konkrétního mechanismu vzniku „přechodných světelných“ úkazů“ ve výškách 30–100 km. Z jejich podoby lze usuzovat, že mohou souviset s excitací molekul řídkých atmosférických plynů při vysokoenergetických srážkách, resp. s výskytem shluků plazmatu. V tomto smyslu se zejména na amatérských webových stránkách např. objevují úvahy o jakési formální či hlubší analogii s hrotovými výboji pod základnami bouřkových oblaků (Eliášovo světlo) a snad i s populárním výskytem tzv. kulových blesků. Podstatnou otázkou by pak ovšem bylo, co např. v těchto výškách reálně hraje roli obdobnou hrotům, v jejichž okolí dochází v blízkosti zemského povrchu k výrazným zahuštěním elektrického pole. Na právě zmíněných webových stránkách se též objevují představy o elektrických výbojích obloukového typu mezi hroty ledových jehliček, jejichž přítomnost, a to zejména

Tab. 1 Přehled uskutečněných pozorování.

Table 1. Overview of performed observations.

	Datum	Pozorovací čas (UT)	Typ bouřek	Amplitudy	Počet TLE	Místo výskytu bouřek	Vzdálenost TLE (km)
1	22/23. 5.	20:32–21:23	MCS	16–31 kA	3	V Čechy, SZ Polsko	231–236
2	26/27. 5.	20:07–20:27	MCS	20–55 kA	9	JV Německo, SZ Rakousko	370–408
3	26/27. 5.	21:30–22:11	MCS	18–163 kA	13	JZ až SV Čechy	192–271
4	5/6. 6.	23:34–23:42	MCS	–	2	J Maďarsko	cca 390
5	6/7. 6.	21:25–23:25	MCS	23–88 kA	9	Z Čechy a S Německo	349–379
6	7/8. 6.	20:58–23:40	MCS	14–145 kA	35	SV Rakousko až SZ Maďarsko	237–330
7	8/9. 6.	20:13–20:14	Bouř.	–	1	Morava	114
8	22/23. 6.	20:41–20:42	MCS	67 kA	1	Morava/Čechy	173
9	3/4. 8.	20:41–00:48	MCS	12–176 kA	18	SV Rakousko až SZ Morava	272–341
10	24/25. 8.	22:15–00:43	MCS	6–22 kA	22	SV Čechy a SZ Polsko	304–343
11	27/28. 8.	18:49–19:22	MCS	5–158 kA	10	SV Rakousko	202–228
12	1/2. 9.	19:44–21:15	MCS	–	5	JZ Maďarsko	cca 350
13	11/12. 9.	19:26–19:27	MCS	–	1	Z Polsko	cca 430
14	11/12. 9.	23:23–23:24	MCS	–	1	Z Polsko	cca 315
15	17/18. 9.	19:39–19:40	MCS	–	1	JZ Rakousko	cca 415
16	17/18. 9.	20:22–00:25	MCS	103 kA	8	Z Polsko	391–420

v mezoférických výškách, bývá spojována např. s tzv. nočními svítícími (stříbřitými) oblaky (angl. noctilucent clouds), dále úvahy o interakcích s kosmickým zářením, slunečním větrem atd. Takovéto představy však mohou mít zatím charakter pouze pracovních hypotéz, k jejichž ověření, potvrzení nebo naopak falzifikování bude ještě třeba náročný výzkum. Pokud se definitivně potvrdí, že typické úkazy TLE jsou prostorově a časově zcela jednoznačně vázány na oblasti právě probíhající intenzivní bouřkové činnosti, nemusí to ještě nutně znamenat, že tyto úkazy jsou přímo a v kauzálním smyslu vytvářeny elektrickými výboji mezi bouřkovými oblaky a elektrosférou. V meteorologii se velmi často setkáváme se situacemi, kdy dva současně se vyskytující jevy jsou spojeny přes nějakou další „třetí“ příčinu. V případě vztahů „troposférické“ bouřkové elektřiny a TLE by roli takového spojovacího můstku mohla dobře hrát silná elektrická pole mezi bouřkovými oblaky a elektrosférou a jejich prudké časové změny při oblačných elektrických výbojích typu vnitřních blesků a blesků do země. Přímým důsledkem by pak velmi přirozeně mohly být jak jevy v podobě „výtrysků“, tak ty druhy TLE které se vyskytují ve větších výškách, kde v důsledku malé hustoty vzduchu roste délka volné dráhy molekul, a zlepšují se tak podmínky pro ionizaci nárazem. Vzájemné interakce impulsů zdola (troposférická bouřková elektřina) i shora z oblasti zemské magnetosféry a případně i z vnějšího prostoru (kosmické záření, sluneční vítr apod.) však nejsou nijak vyloučeny ze hry a zřejmě je zde otevřena zajímavá a náročná cesta pro další výzkum. V tomto článku se snažíme přednostně upozorňovat na význam dat ze sítí pozemních registrátorů bleskových výbojů, neboť předpokládáme, že většina čtenářů bude patřit mezi profesně orientované meteorology a o existenci těchto dat budou mít alespoň povšechné povědomí. Velmi podstatný podíl na takovém výzkumu však budou mít i družicová měření. V tomto směru a s ohledem na zapojení institucí z ČR zmiňme např. projekt TARANIS [1], na němž se z naší strany účastní Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze přípravou přístroje IDEE pro měření energetických elektronů a Ústav fyziky atmosféry AV ČR přípravou širokopásmového analyzátoru elektrického pole IME-HFA a souvisejících pozem-

ních a balonových měření analyzátozem BLESKA (podrobněji viz <<http://ufa.cas.cz/html/plasma/taranis>>).

4. UKÁZKY POZOROVÁNÍ TLE V ČR

Inspirací ke zde dále popsáným pozorováním TLE, jež uskutečnil první z uvedených autorů tohoto článku, byla předchozí pozorování Josefa Bora z maďarské Šoproně, jež pomocí citlivé kamery zdokumentoval pozoruhodné nadoblačné záblesky typu Red sprites nad ČR. Autor zde uváděných obrázků začal, takto inspirován, v roce 2011 systematicky provádět sledování vzdálených silných bouřek. Za dvě období, 15. 6.–30. 6. a 16. 7.–17. 9. 2011, zaznamenal z 16 bouřkových komplexů typu MCS 136 případů především Red sprites, v menším počtu pak případů Tendrils, Sprites halo, Elves a rovněž byly pozorovány optické projevy přímo související s elektrickými výboji mezi oblaky a elektrosférou.

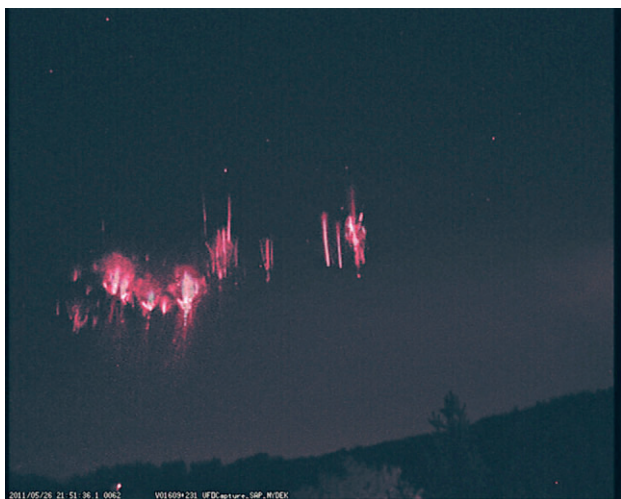
Přehled všech právě zmíněných pozorování lze nalézt v tab. 1. Dále bude pozornost věnována především čtyřem termínům těchto pozorování, z nichž byla získána nejkvalitnější fotografická dokumentace. V tab. 1 jsou uvedena data a časy (UT) jednotlivých pozorování, přibližná geografická lokalizace polohy bouřkových komplexů a horizontální vzdálenosti pozorovaných jevů od stanoviště pozorovatele. Dostí rozdílné počty registrovaných TLE svědčí jednat o velmi proměnných četnostech jejich výskytu, avšak mohou též odrážet složité a velmi rozmanité podmínky na relativně dlouhé vzdálenosti pozorovatele od místa výskytu jevu. Všechna zde zmiňovaná pozorování se uskutečnila v katastru obce Nýdek vzdálené ca 10 km od Třince v Moravskoslezském kraji. Při popisu obrázků v této části článku preferujeme pro jednotlivé druhy TLE anglické názvy, což jednoznačně odpovídá komunikační praxi nejen v mezinárodní, ale i v české komunitě znalců TLE.

V tab. 1 uvádíme též údaje o proudových amplitudách (sloupec Amplitudy) předpokládaných zdrojových blesků, s nimiž pozorované TLE mohly souviset. Tyto amplitudy představují maximální hodnoty elektrického proudu v kanálu blesku a poněkud zjednodušeně, avšak názorně řečeno, charakterizují jeho sílu. Byly vyhodnoceny na základě výpisů z detektorů blesků poskytnutých z ČHMÚ a za tuto spo-



Obr. 2 Nýdek, 26. 5. 2011 – Druh Elves spolu se sloupcovitými Red sprites. Foto M. Popek.

Fig. 2. Nydek, 26. 5. 2011 – Elves with column Red sprites. Photo M. Popek.



Obr. 3 Nýdek, 26. 5. 2011 – Velmi výrazná skupina sloupcovitých a mrkvovitých Red sprites spolu s Tendrils v podobě Jellyfish. Foto M. Popek.

Fig. 3. Nydek, 26. 5. 2011 – Very conspicuous group of column and carrot Red sprites with Tendrils (Jellyfish). Photo M. Popek.



Obr. 4 Nýdek, 7. 6. 2011 – Red sprites spolu s dlouhými Tendrils vytvářejícími podobu medúzy (Jellyfish). Foto M. Popek.

Fig. 4. Nydek, 7. 6. 2011 – Conspicuous Red sprites with long Tendrils (Jellyfish). Photo M. Popek.



Obr. 5 Nýdek, 3. 8. 2011 – Skupina mrkvovitých Red sprites. Foto M. Popek.

Fig. 5. Nydek, 3. 8. 2011 – Group of carrot Red sprites. Photo M. Popek.



Obr. 6 Nýdek, 27. 8. 2011 – Výrazná dvojice mrkvovitých Red sprites a Tendrils. Foto M. Popek.

Fig. 6. Nydek, 27. 8. 2011 – Conspicuous couple of carrot Red sprites and Tendrils. Photo M. Popek.

luprání patří díky zejména RNDr. Petru Novákovi z pracoviště ČHMÚ v Praze-Libuši. Tyto výsledky nutno zatím považovat za informativní a předběžné, třeba je chápat především jako názorné upozornění na zřejmě velké možnosti srovnávání fotografických pozorování TLE s daty, jejichž zdrojem jsou soudobé sítě zmíněných detektorů blesků.

Zde zmiňovaná a prezentovaná fotografická pozorování TLE byla získána pomocí vysokocitlivé kamery WATEC 902H2 Ultimate s objektivem Computar 8/1,3, převodníku Dazzle DVC 100 (pro převod analogového záznamu kamery na digitální záznam) a byl využit program UfoCapture. Použití vysokocitlivé kamery je naprostou nutností vzhledem k velmi krátké (malé zlomky s) době trvání jevů TLE, jichž si z tohoto důvodu např. jen velice zřídka povšimneme pouhýma očima. Jevy skřítků (Sprites) a elfů (Elves), nalézající se ve větších výškách, se nejlépe fotograficky registrují ze vzdáleností 100–500 km, níže se vyskytující jevy výtrysků (jets) bývají nejuspěšněji registrovány ze vzdáleností do 200 km. Zvláštní postavení má v tomto ohledu obří výtrysk (Gigantic jet), jenž vertikálním rozsahem svých výskytů spojuje obě právě zmíněné kategorie TLE. Při pozorováních nutno poči-

tat s tím, že u menších horizontálních vzdáleností pozorovatele od pozorovaného jevu TLE může být dosti významný rušivý vliv počasí souvisejícího s bouřkovými komplexy a nesmí existovat husté optické překážky (např. stínící oblaky) mezi pozorovatelem a místem výskytu TLE. Tento náročný požadavek evidentně silně omezuje možnosti optických sledování TLE ze země a činí je poměrně vzácnými.

A nyní se již budeme krátce věnovat vybraným situacím, a zejména přistoupíme k prezentaci nejvíce charakteristických fotografií.

1. Situace 26. 5. 2011

Šlo o pozorování TLE souvisejících se dvěma komplexy bouřek typu MCS nad severním Rakouskem a Čechami. Byly pozorovány zejména úkazy Red sprites a Tendrils, ale i velmi krátkodobé jevy Sprites halo a Elves. Jako typické ukázky uvádíme dva obrázky. Na obr. 2 je patrný druh Elves, jenž bývá většinou osamocen, ale zde byl viditelný spolu se sloupcovitými (column) Red sprites. Velmi zajímavý je obr. 3, na němž je zachycena výrazná skupina sloupcovitých a mrkvovitých Red sprites. V tomto případě se postupně vytvořily tři skupiny zmíněných jevů, jež „putovaly“ ionosférou. Spolu s některými Red sprites byly přítomny viditelné i Tendrils (vlásečnice), čímž vznikala podoba medúzy (Jellyfish).

2. Situace 7. 6. 2011

Bouřkový komplex typu MCS nad severovýchodním Rakouskem a severozápadním Maďarskem. Obr. 4 ukazuje zajímavou kombinaci výrazného Red sprite mrkvovitého tvaru s Tendrils značné délky. Takovýto kombinovaný útvar se též označuje jako Jellyfish (medúza).

3. Situace 3. 8. 2011

Bouřkový komplex typu MCS se tentokrát opět nalézal přibližně nad severozápadním Maďarskem a severovýchodním Rakouskem. Jako charakteristické ukázky pozorování TLE v tomto případě uvádíme obr. 5 se skupinou Red sprites tvaru mrkve.

4. Situace 27. 8. 2011

Pozorování TLE v souvislosti se silnými bouřkami nad severem Rakouska. Obr. 6 ukazuje výraznou dvojici mrkvovitých Red sprites a Tendrils.

Hlavní internetové odkazy, kde možno získat další rozsáhlé informace o pozorováních TLE:

Články na Astro.cz, kde jsou ke stažení videa některých ukázek zmiňovaných v tomto článku:

<<http://www.astro.cz/article/5055>>

<<http://www.astro.cz/article/5052>>

Projekt na pozorování TLE v Česku:

<<http://www.bourky.cz/projekt-tle>>

Fórum japonských pozorovatelů TLE:

<<http://sonotaco.jp/forum/viewforum.php?f=4>>

Evropský výzkum TLE, Eurosprite:

<<http://eurosprite.blogspot.com/>>

Fórum italských pozorovatelů TLE:

<<http://meteore.forumattivo.com/f23-tle-transient-luminous-events-eventi-luminosi-transienti-in-atmosfera>>

Články o pozorování TLE v Polsku:

<<http://www.pkim.org/?q=pl/taxonomy/term/174>>

Stránky pozorovacího projektu TLE v Izraeli:

<<http://tau-geo.tau.ac.il/ilan/Default.aspx>>

Stránky Oscara van Velde:

<<http://www.lightningwizard.com/>>

Platnost právě uvedených webových stránek není časově omezena, lze tedy předpokládat jejich dlouhodobou využitelnost.

5. ZÁVĚR

Primárním cílem tohoto článku je poskytnout širší odborné meteorologické veřejnosti v ČR základní informace o TLE (Transient Luminous Events – Přechnodných světelných úkazech), jejich pozorování v ČR, a to v alespoň informativně podaných souvislostech s vlastní bouřkovou elektřinou. Téma by si však nesporně zasloužilo rozvinutí mnohem širší a systematictější pozornosti, zaměřující se prioritně na tematickou oblast elektrických výbojů a elektrických polí nad horními partiemi kumulonimbů, resp. bouřkových buněk, neboť právě zde zřejmě třeba hledat reálné vazby a „spojovací můstky“ mezi troposférickou bouřkovou elektřinou a úkazy TLE, vyskytujícími se někdy již ve stratosféře, avšak častěji v ještě vyšších hladinách atmosféry. Elektrické výboje vyvolávají v okolním elektrickém poli pulzní změny a podle polaritý těchto změn v závislosti na vzdálenosti od zdrojového blesku lze rozlišovat druhy blesků (vnitřní blesk, záporný nebo kladný blesk do země, elektrické výboje směřující z horní části bouřkových oblaků vzhůru apod.) Současné sítě registrátorů blesků pokročilejší konstrukce, založené právě na zaznamenávání a vyhodnocování těchto pulzních změn, by mohly při vhodném a systematickém využití svých výstupů poskytnout excelentní materiál právě z hlediska registrací a analýz dosud poněkud opomíjených elektrických výbojů směřujících z horních partií kumulonimbů vzhůru. Při přesné časové dokumentaci těchto záznamů, a současně i výskytu pozorování TLE, by takto získaný materiál zřejmě nabízel rozsáhlé možnosti při hledání konkrétních procesů provazujících vlastní troposférickou bouřkovou elektřinu s jevy pozorovanými ve spodní ionosféře. Velmi zásadní podíl na takovémto výzkumu budou zřejmě mít i družicová měření (viz např. [1]). Pokud by tento článek podpořil v širší meteorologické veřejnosti zájem o rozvíjení takového komplexně pojatého výzkumu, splnil by i svůj nadstavbový, dosti ambiciózní cíl.

Literatura:

- [1] Dostupné na WWW: <http://smc.cnes.fr/TARANIS/GP_science.htm>.
- [2] BEDNÁŘ, J., 1989. Pozoruhodné jevy v atmosféře. Praha: Academia. 236 s. ISBN 80-200-0054-2.
- [3] CHALMERS, J., 1967. Atmospheric Electricity. 2nd ed., Oxford: Pergamon Press, 515 s.
- [4] MASON, B., J., 1957. The Physics of Clouds. Oxford: Clarendon Press. 481 s.
- [5] NAG, A. et al., 2012. Positive lightning: An overview, new observations, and inferences. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **117**, D08109, doi:10.1029/2012JD017545, 2012.
- [6] PASKO, V., 2010. Recent advances in theory of transient luminous events. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **115**, A00E35, doi 10.1029/2009JA014860, 2010.
- [7] KREHBIEL, P., R. et al., 2008. Upward electrical discharges from thunderstorms. *Nature Geoscience* **1**, s. 233–237, doi 10.1038/ngeo162.

Lektor (Reviewer): Ing. Ivana Kolmašová