

Cumulonimbus, oblak známý i neznámý

Díl desátý – Blesky

Ivana Kolmašová^{1,3}, Jana Žďárská²

¹ Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401/1a, 141 31 Praha 4; iko@ufa.cas.cz

² Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

³ Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova

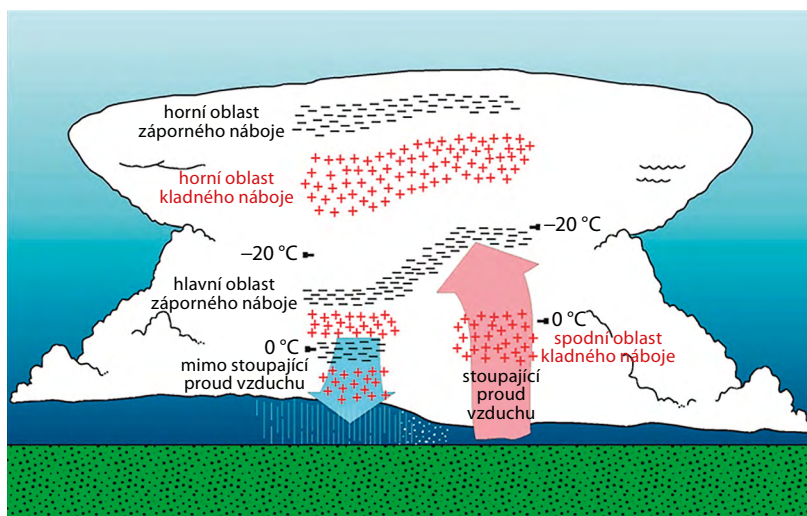
Blesk je silný přírodní elektrostatický výboj, vznikající během bouřky v bouřkovém oblaku cumulonimbu, a je provázen emisí světla. Elektrický proud protékající kanály bleskového výboje rychle zahřívá vzduch okolo kanálu, rychle se rozpíná a produkuje charakteristický zvuk hromu. Pojďme se společně podívat na to, co všechno je v současné době o blescích známo.

V minulých dvou dílech našeho seriálu o cumulonimbu jsme se podobně věnovali duze^{1,2}. V tomto, již desátém díle se pokusíme objasnit další zajímavý meteorologický fenomén, kterým jsou blesky. Dozvíme se, jakým mechanismem blesk vzniká, jaké jsou v bouřkovém oblaku nábojové oblasti a proč se napřiklad blesky dělí na kladné a záporné.

Dva tisíce bouřek, jež probíhají současně po celé zeměkouli a pokrývají přibližně 1 % jejího povrchu, vyprodukuje každou sekundu 50 až 100 bleskových výbojů mířících z oblaku do země (CG – cloud-to-ground). Tento počet však představuje pouze přibližně 10 % všech bleskových výbojů – zbývajících 90 % vzniká mezi oblaky nebo uvnitř oblaku (mezioblačné nebo vnitrooblačné výboje, IC – inter-cloud nebo intra-cloud).

Cumulonimbus³, mohutný bouřkový oblak, který sahá až k horní hranici troposféry, je klíčovým místem, kde se bleskové výboje rodí. Ledové a vodní částičky, tzv. *hydrometeory*, tlačeny dolů gravitační silou a nesený vzhůru výstupnými proudy vzduchu, se srážejí a předávají si elektrický náboj. Těžší hydrometeory se zpravidla nabíjejí záporně a lehčí kladně. Tím se v bouřkovém oblaku vytvoří oblasti s hydrometeory nesoucími stejnou polaritu náboje (obr. 1), mezi nimiž vznikne elektrické pole. Bouřkový oblak si tedy můžeme představit jako obří sestavu baterií, která je zdrojem energie pro bleskový výboj.

Situace ovšem není tak jednoduchá, jak by se mohlo zdát: Elektrická pole naměřená v bouřkovém oblaku



Obr. 1 Čtyři nábojové oblasti jsou zobrazeny v blízkosti výstupného proudu (*updraft*) a šest nábojových oblastí je znázorněno mimo výstupný proud, v konvektivní srážkové oblasti. Převzato z publikace [1]

dosahují jen desetiny průrazného napětí vzduchu [1]. Je tedy jasné, že do hry vstupuje ještě další faktor či faktory, kterým úplně nerozumíme. Jednou možností jsou lokálně zvýšená elektrická pole v blízkosti hrotů špičatých hydrometeorů, kde může nastartovat korónový výboj. Dalším aktérem mohou být spršky sekundárního kosmického záření, jež obsahuje i elektrony s energiemi vyššími než 100 keV. Takto rychlé elektrony se málo srážejí s okolními částicemi a stávají se tzv. ubíhajícími (*runaway*) elektrony, neboť urychlující síla elektrického pole bouřkového oblaku převládne nad brzdící silou způsobenou srážkami. Lavina ubíhajících elektronů lokálně zvyšuje ionizaci prostředí v bouřkovém oblaku a tím vlastně účinně snižuje potřebné průrazné napětí vzduchu [2, 3].

1 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý i neznámý. Díl osmý – Tornáda. Čs. čas. fyz. 75, 147–149 (2025).

2 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý i neznámý. Díl devátý – Kde leží duha. Čs. čas. fyz. 75, 235–237 (2025).

3 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý i neznámý. Díl první – Oblak. Čs. čas. fyz. 74, 60–62 (2024).



Obr. 2 Bleskové výboje zachycené u Nýdku u Ostravy. Foto: M. Popek, ÚFA

Nejčastější blesky typu oblak–země jsou výboje mezi hlavním centrem záporného náboje a zemí (90 až 95 %), tzv. záporné blesky. Méně často jsou detekovány výboje mezi horním centrem kladného náboje a zemí, tzv. kladné blesky. Výboje typu oblak–země cestují nejprve vnitřkem bouřkového oblaku, až dorazí k jeho spodní základně. Poté co výboj opustí oblak, se šíří dál k zemi jako tzv. *vůdčí výboj*, který si připravuje ionizovanou cestu po krocích dlouhých asi 50 metrů. Vůdčí výboj se šíří průměrnou rychlostí 10^5 – 10^6 m/s. Jakmile se dostane až k zemi, vytvoří se plně ionizovaný vodivý bleskový kanál propojující zemi a oblak. Tímto kanálem, který je široký až deset centimetrů a teplota v něm dosahuje až 30 000 °C, teče elektrický proud tzv. *zpětného výboje* o velikosti desítek až stovek kiloampérů. Proudová vlna se rychle šíří bleskovým kanálem směrem vzhůru asi třetinou rychlosti světla. Vůdčí výboj je vděčným objektem fotografů (obr. 2).

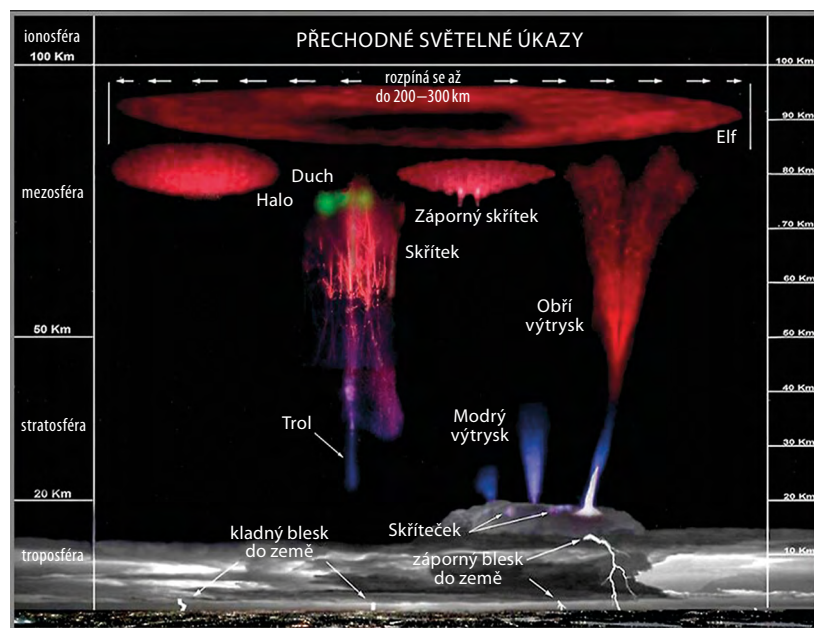
Kladné blesky jsou nejen vzácnější, ale vážou se k nim i další pozoruhodné jevy. Pokud se kladný výboj šíří bouřkovým oblakem několik kilometrů vodorovně a vystupuje z horní, větrem unášené části oblaku, která přesahuje jeho spodní okraj, může situace z pohledu pozorovatele vypadat, jako by blesk udeřil „z čistého nebe“. Horní část kovadliny bouřkového oblaku bývá totiž výše než 10 km nad zemí a pozorovatel ho ze země vidí jako modrou oblohu.

V rozlehlých oblastech se silnou bouřkovou aktivitou, jako jsou mezoměřítkové konvektivní systémy^{4,5}, jsou kladné blesky občas doprovázeny spektakulárními optickými jevy, tzv. *nadoblačnými výboji*, z nichž některé jsou pozorovatelné pouhým okem. Nad bouřkami můžeme zachytit červeného skřítky (*red sprite*), halo, modrý spouštěč (*blue starter*), modrý výtrysk (*blue jet*) či obří výtrysk (*gigantic jet*).

Mezi nejrychlejší nadoblačné blesky patří rozsáhlý elf (*elves – Emissions of Light and Very low frequency perturbations due to Electromagnetic pulse Sources*) a zelený duch (*ghost – Green emissions from excited Oxygen in Sprite Tops*). Celá plejáda nadoblačných blesků včetně výšky jejich obvyklého výskytu je znázorněna na přehledovém obrázku 3. Vědci je začali studovat až po roce 1990, kdy bylo publikováno jejich první pozorování [4], nicméně nás pravděpodobně provázejí odedávna, stejně jako běžné blesky a jejich akustické projevy.

Neméně zajímavé jsou tzv. pozemské gama záblesky (*TGF – Terrestrial Gamma-ray Flashes – TGFs*), které byly objeveny v roce 1994 poměrně neočekávaně rentgenovým detektorem umístěným na družici COMPTON kvůli monitorování rentgenového záření přicházejícího z vesmíru [5]. Krátké energetické spršky pozemských gama záblesků však přicházely k družici z atmosféry z míst s intenzivní bouřkovou činností. Mechanismus vzniku gama záblesků již tajemstvím není – jeho zdrojem je brzdné záření vznikající při zpomalování elektronů pohybujících se v silném elektrickém poli bouřkového oblaku. Dalším jevem spojeným s brzdným zářením a bouřkami jsou gama záře (*gamma glow*), které trvají od jedné do stovek sekund a byly detekovány převážně na vysokohorských observatořích, kde je atmosféra ještě neutlumila [6, 7].

Až do roku 2024 nebylo jasné, zda jsou pozemské gama záblesky ojedinělým vzácným jevem, jak se zdálo z pozorování z vesmíru, nebo jsou poměrně časté a jen je neumíme dobře detekovat. Letadlo ER-2 opatřené citlivými gama detektory a vyslané měřit těsně nad vršky bouřkových oblaků v Mexickém zálivu a Karibiku v rámci mise ALOFT přineslo průlomová zjištění [8, 9]. Ukázalo, že vršek mohutného bouřkového oblaku při pohledu zblízka vypadá jako „bublající hrnec“ (obr. 4), ze kterého v aktivní fázi bouřky vychází jedna sprška



Obr. 3 Přehled nadoblačných blesků. Převzato z <https://spaceweatherarchive.com>

- 4 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý i neznámý – mezoměřítkové konvektivní systémy I. Čs. čas. fyz. 74, 391–393 (2024).
- 5 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý i neznámý, měřítkové konvektivní systémy II. Čs. čas. fyz. 74, 465–467 (2024).

rentgenového záření za druhou. V záznamech se také objevily skupiny velmi pravidelných, nepříliš silných gama záblesků, které na rozdíl od běžných gama záblesků nevyzářily detekovatelný radiový signál. Pro jejich pravidelnost dostaly název FGF (*flickering gamma ray flashes*) a vzhledem k délce svého trvání 20–250 ms pravděpodobně tvoří chybějící díl mezi pozemskými gama záblesky a gama zářemi. Jejich radiové mlčení ovšem zůstává záhadou.

Nadoblačné blesky a gama záře potkáme nejčastěji v tropech a subtropích, nicméně se nevyhýbají ani Česku. První elfové byli zaznamenáni nad naším územím na jaře 2017 během poměrně malé bouřky, která se nacházela nedaleko od Domažlic (obr. 5 vlevo). Proudý bleskových výbojů, které tyto rychle se rozšiřující kruhy na spodku ionosféry vytvořily, přesahovaly 350 kA [10]. Během bouřky, která se prohnala Českem 4. června 2025, se nad oblaky roztančilo dokonce více než sedmdesát skřítků (obr. 5 vpravo). Observatoř Ústavu fyziky atmosféry AV ČR na Milešovce⁶ (837 m n. m.) se rozhodně nedá považovat za vysokohorskou observatoř, nicméně se díky příznivé shodě okolností podařilo gama záři nejméně dvakrát zachytit [11, 12].

V příštím, závěrečném dílu našeho seriálu o cumulonimbu se budeme věnovat Amatérské meteorologické společnosti a jejím aktivitám. Dozvíte se, jak vypadají výjezdy lovců bouřek a že nejsou vždy úspěšné. Budeme hovořit o jejich technickém vybavení lovců bouřek a také o jejich spolupráci s ČHMÚ. A můžete se těšit i na perličku týkající se čapů – aneb od pozorování oblaků ke sledování čapů.

Literatura

- [1] M. Stolzenburg, W. D. Rust, & T. C. Marshall: Electrical structure in thunderstorm convective regions: 3. Synthesis. *J. Geophys. Res.* **103** (D12), 14097–14108 (1998). DOI:10.1029/97JD03545.
- [2] A. V. Gurevich & A. N. Karashtin: Runaway Breakdown and Hydrometeors in Lightning Initiation. *Phys. Rev. Lett.* **110**, 185005 (2013). DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.185005.
- [3] R. Solomon, V. Schroeder & M. B. Baker: Lightning initiation – conventional and runaway-breakdown hypotheses. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **127**, s. 2683–2704 (2001). DOI:10.1002/qj.49712757809.
- [4] R. C. Franz, R. J. Nemzek & J. R. Winckler: Television image of a large upward electrical discharge above a thunderstorm system. *Science* **249**, 48–51 (1990). DOI:10.1126/science.249.4964.48.

⁶ P. Zacharov, J. Žďárská: Milešovka 120 let. *Čs. čas. fyz.* **75**, 326–328 (2025)



Obr. 4 Na výtvarném znázornění mise ALOFT nese vysoko letící letoun NASA ER-2 přístrojové vybavení určené k záznamu gama záření (pro ilustraci vyznačeného fialovou barvou) vycházejícího z bouřkových oblaků. Kredit: NASA/ALOFT Team

- [5] G. J. Fishman et al.: Discovery of Intense Gamma-Ray Flashes of Atmospheric Origin. *Science* **264**, 1313–1316 (1994). DOI:10.1126/science.264.5163.1313.
- [6] A. Chilingarian, A. Daryan, K. Arakelyan et al.: Ground-based observations of thunderstorm correlated fluxes of high-energy electrons, gamma rays, and neutrons. *Phys. Rev. D.* **82**, 043009. (2010). DOI:10.1103/PhysRevD.82.043009.
- [7] K. Kudela, J. Chum, M. Kollárik et al.: Correlations between secondary cosmic ray rates and strong electric fields at Lomnický štít. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **122**, 10,700–10,710 (2017). DOI:10.1002/2016JD026439.
- [8] M. Marisaldi, N. Østgaard, A. Mezentsev et al.: Highly dynamic gamma-ray emissions are common in tropical thunderclouds. *Nature* **634**, 57–60 (2024). DOI:10.1038/s41586-024-07936-6.
- [9] N. Østgaard, A. Mezentsev, M. Marisaldi et al.: Flickering gamma-ray flashes, the missing link between gamma glows and TGFs. *Nature* **634**, 53–56 (2024). DOI:10.1038/s41586-024-07893-0.
- [10] I. Kolmašová, O. Santolík, P. Kašpar et al.: First observations of elves and their causative very strong lightning discharges in an unusual small-scale continental spring-time thunderstorm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **126**(1) (2021). DOI:10.1029/2020JD032825.
- [11] I. Kolmašová, O. Santolík, J. Šlegl et al.: Continental thunderstorm ground enhancement observed at an exceptionally low altitude. *Atmospheric Chemistry and Physics* **22**, 12 (2022). DOI:10.5194/acp-22-7959-2022.
- [12] J. Šlegl, Z. Sokol, P. Pešice et al.: First reported detection of a winter continental gamma-ray glow in Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics* **25**, 8443–8454 (2025). DOI:10.5194/acp-25-8443-2025.



Obr. 5 Vlevo: Elf zachycený 2. 4. 2017 nad překvapivě malou bouřkou. Vpravo: Skřítek ve tvaru mrkve s kořínky (*carrot sprite*) z noci 4. června 2025. Záznam M. Popek, pozorovatel ÚFA AVČR