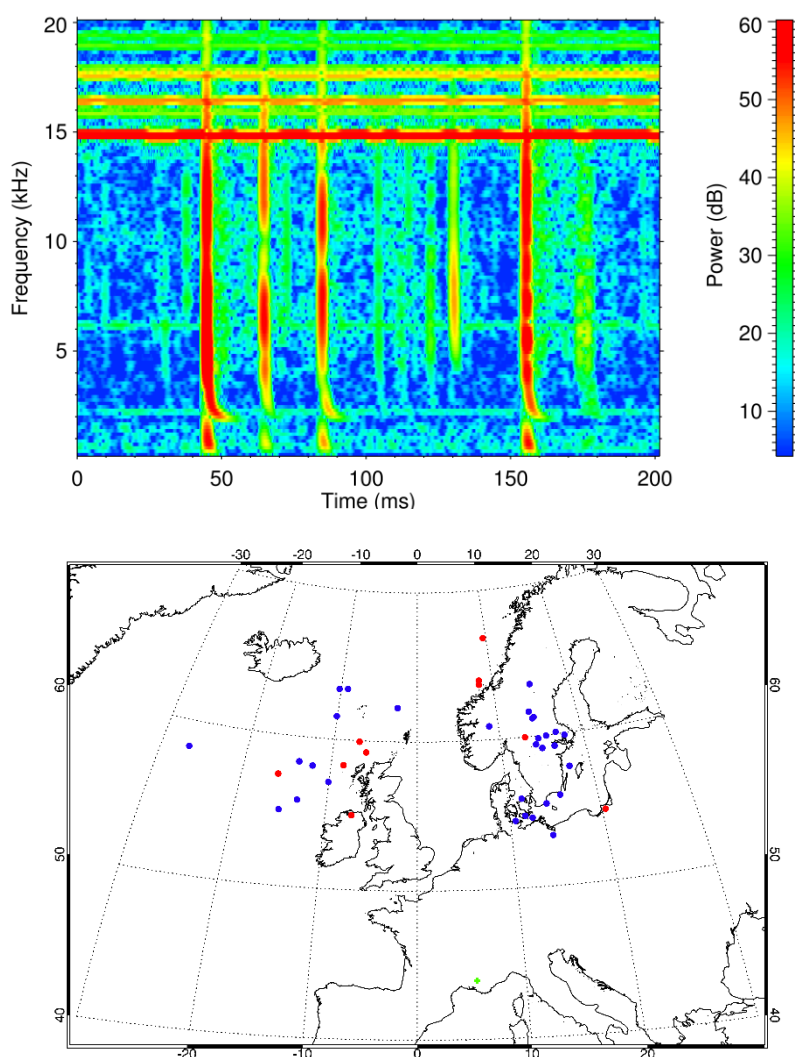


# Výsledky Oddělení kosmické fyziky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR zveřejněné v roce 2017

## 1. Elektromagnetické signály s neobvyklou disperzí pocházející ze severoatlantických zimních bouřek

Analyzovali jsme vlastnosti elektromagnetických signálů pocházejících ze zimních severoatlantických bouřek zaznamenaných několik tisíc kilometrů od jejich zdrojových bleskových výbojů. Signály vykazovaly disperzní vlastnosti velmi neobvyklé pro denní šíření ve vlnovodu tvořeného Zemí a ionosférou (tzv. denní tweeky). Pomocí nově vyvinuté metody pro analýzu třísložkového měření jsme určili polohu zdrojových výbojů a výšku ionosferické D-vrstvy, kde došlo k odrazu šířícího se signálu. Definovali jsme podmínky nutné pro vznik neobvyklé disperze.



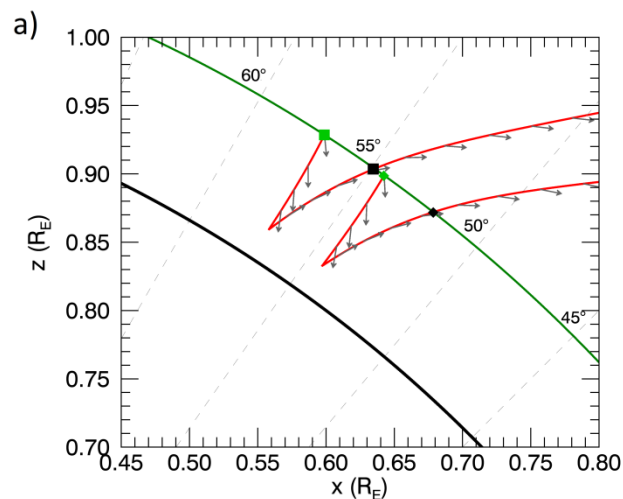
*(nahore) Frekvenčně-časový spektrogram obsahující elektromagnetické signály s neobvyklou disperzí (9. 1. 2015 12:36:48.2); (dole) Poloha zdrojových bleskových výbojů pro pozorované denní tweeky; červené a modré body jsou použity pro znázornění kladných a záporných zdrojových bleskových výbojů, zelený křížek označuje umístění naší pozemní měřicí stanice v jižní Francii*

## Reference:

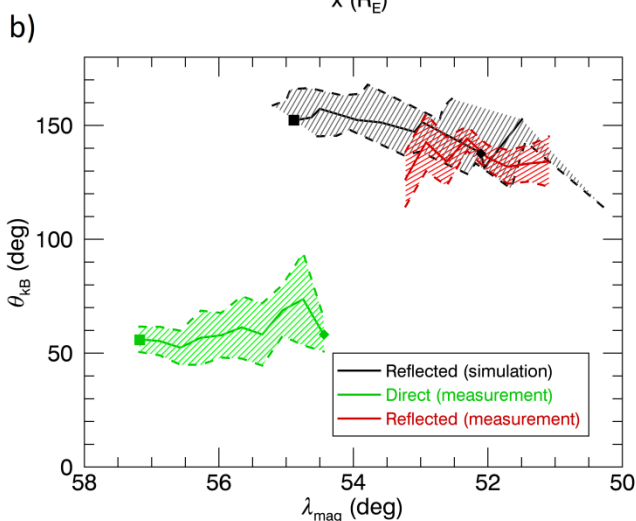
Santolík, O., and I. Kolmašová (2017), Unusual Electromagnetic Signatures of European North Atlantic Winter Thunderstorms, *Scientific Reports* 7, 13948, doi:10.1038/s41598-017-13849-4.

## 2. Pozorování elektromagnetických vln velmi nízkých frekvencí družicí DEMETER.

Na družici DEMETER bylo zaznamenáno několik událostí, při nichž elektromagnetické quasiperiodické (QP) emise ve hvizdovém modu vykazovaly prudkou změnu orientace vlnového a Poyntingova vektoru. K této změně docházelo pouze v úzkém intervalu geomagnetických šířek. Pozorované chování vysvětlujeme v naší práci jako důsledek odrazu vln v ionosféře. Toto tvrzení je podpořeno paprskovými simulacemi („ray tracing“), jejichž výsledky jsou ve shodě s naměřenými změnami orientace vlnového vektoru. Pomocí paprskových simulací jsme také odhadli pravděpodobnou polohu zdrojové oblasti emisí a docházíme k závěru, že zdroj leží na vnitřní hraně plazmapauzy, která zde navíc hraje roli vlnovodu pro šířící se hvizdové vlny.



a) Detail ionosférického odrazu paprsku, získaný z počítačových simulací. Silná černá čára představuje povrch Země, silná zelená čára oběžnou vzdálenost družice DEMETER. Šedé šipky představují směr vlnového vektoru každých 0.01 sekundy. Paprsky byly vypuštěny z orbity družice na šířkách 54.4° a 57.2°. b) Závislost normálového úhlu vlnového vektoru na geomagnetické šířce. Zelená oblast představuje dopadající vlny, červená odražené, oblast s mixem obou typů je vynechána. Černá oblast představuje výsledky simulace získané z počátečních zelených hodnot. Silné čáry představují střední hodnoty, čárkované směrodatnou odchylku oběma směry. V případě černé oblasti představuje silná čára výsledky získané z počátečních hodnot na silné zelené čáře, podobně pro čárkované. Překryv černé oblasti s červenou ukazuje na shodu simulace s měřením.



## Reference:

Hanzelka, M., O. Santolík, M. Hajoš, F. Němec, and M. Parrot (2017), Observation of ionospherically reflected quasiperiodic emissions by the DEMETER spacecraft, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8721–8729, doi:10.1002/2017GL074883.

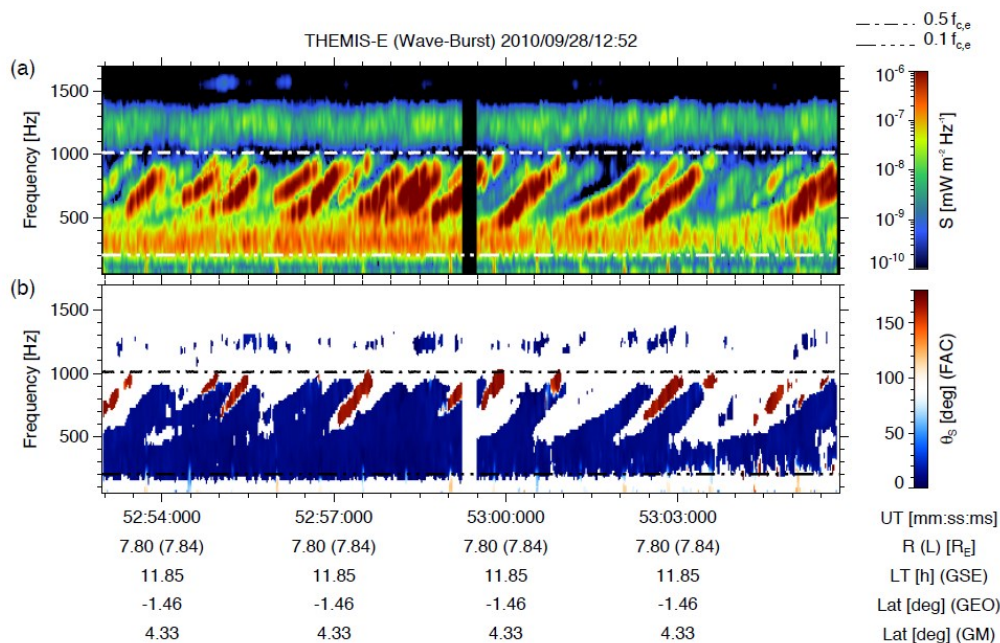
### Související reference:

Chen, L., **O. Santolík**, M. Hajoš, L. Zheng, Z. Zhima, R. Heelis, **M. Hanzelka**, R. B. Horne, and M. Parrot (2017), Source of the low-altitude hiss in the ionosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2060–2069, doi:10.1002/2016GL072181.

Nemec, F., K. Čížek, M. Parrot, **O. Santolík**, and J. Zhlava (2017), Line radiation events induced by very low frequency transmitters observed by the DEMETER spacecraft, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 7226–7239, doi:10.1002/2017JA024007.

### 3. Chorus a radiační pásy

Analyzovali jsme vlastnosti elektromagnetické emise typu chorus naměřené družicemi THEMIS přímo ve zdroji této emise v oblasti geomagnetického rovníku ve vnějším radiačním pásu Země. Pozorovali jsme výskyt skupin diskretních elementů emise typu chorus, které se šířily opačnými směry – od rovníku směrem na sever a na jih. Zjistili jsme, že se tyto skupiny elementů lišily i ve svých frekvenčních vlastnostech. Použili jsme model tzv. zpětného oscilátoru k vysvětlení nelineárního procesu vzniku emise typu chorus. Analyzovali jsme také data z družic Van Allen Probes a MMS, družicová měření jsme doplnili daty z pozemní měřicí stanice Kannuslehto ležící za severním polárním kruhem.



Časově-frekvenční spektrogram znázorňující a) spektrální výkonovou hustotu Poyntingova vektoru a b) jeho polární úhel vzhledem k okolnímu magnetickému poli (emise zaznamenaná sondou THEMIS-E 28. září 2010)

### Reference:

Taubenschuss, U., A.G. Demekhov, and **O. Santolík**, Interpretation of whistler mode chorus observations with the backward wave oscillator model (2017), in *Planetary Radio Emissions VIII*,

edited by G. Fischer, G. Mann, M. Panchenko, and P. Zarka, Austrian Academy of Sciences Press, Vienna, 233–242.

#### **Související reference:**

Demekhov, A. G., J. Manninen, **O. Santolík**, and E. E. Titova (2017) Conjugate ground-spacecraft observations of VLF chorus elements, *Geophys. Res. Lett.* 44, doi.org/10.1002/2017GL076139.

Breneman, A. W., A. Crew, J. Sample, D. Klumpar, A. Johnson, O. Agapitov, M. Shumko, D. L. Turner, **O. Santolík**, J. R. Wygant, C. A. Cattell, S. Thaller, B. Blake, H. Spence, C. A. Kletzing (2017). Observations directly linking relativistic electron microbursts to whistler mode chorus: Van Allen Probes and FIREBIRD II, *Geophys. Res. Lett.* 44, doi.org/10.1002/2017GL075001.

Demekhov, A. G., U. Taubenschuss, and **O. Santolík** (2017), Simulation of VLF chorus emissions in the magnetosphere and comparison with THEMIS spacecraft data, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 166-184, doi:10.1002/2016JA023057.

Ripoll, J.- F., **O. Santolík**, G. D. Reeves, W. S. Kurth, M. H. Denton, V. Loridan, S. A. Thaller, C. A. Kletzing, and D. L. Turner (2017), Effects of whistler mode hiss waves in March 2013, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 7433-7462, doi:10.1002/2017JA024139.

Hartley, D. P., C. A. Kletzing, W. S. Kurth, G. B. Hospodarsky, S. R. Bounds, T. F. Averkamp, J. W. Bonnell, **O. Santolík**, and J. R. Wygant (2017), An improved sheath impedance model for the Van Allen Probes EFW instrument: Effects of the spin axis antenna, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 4420-4429, doi:10.1002/2016JA023597.

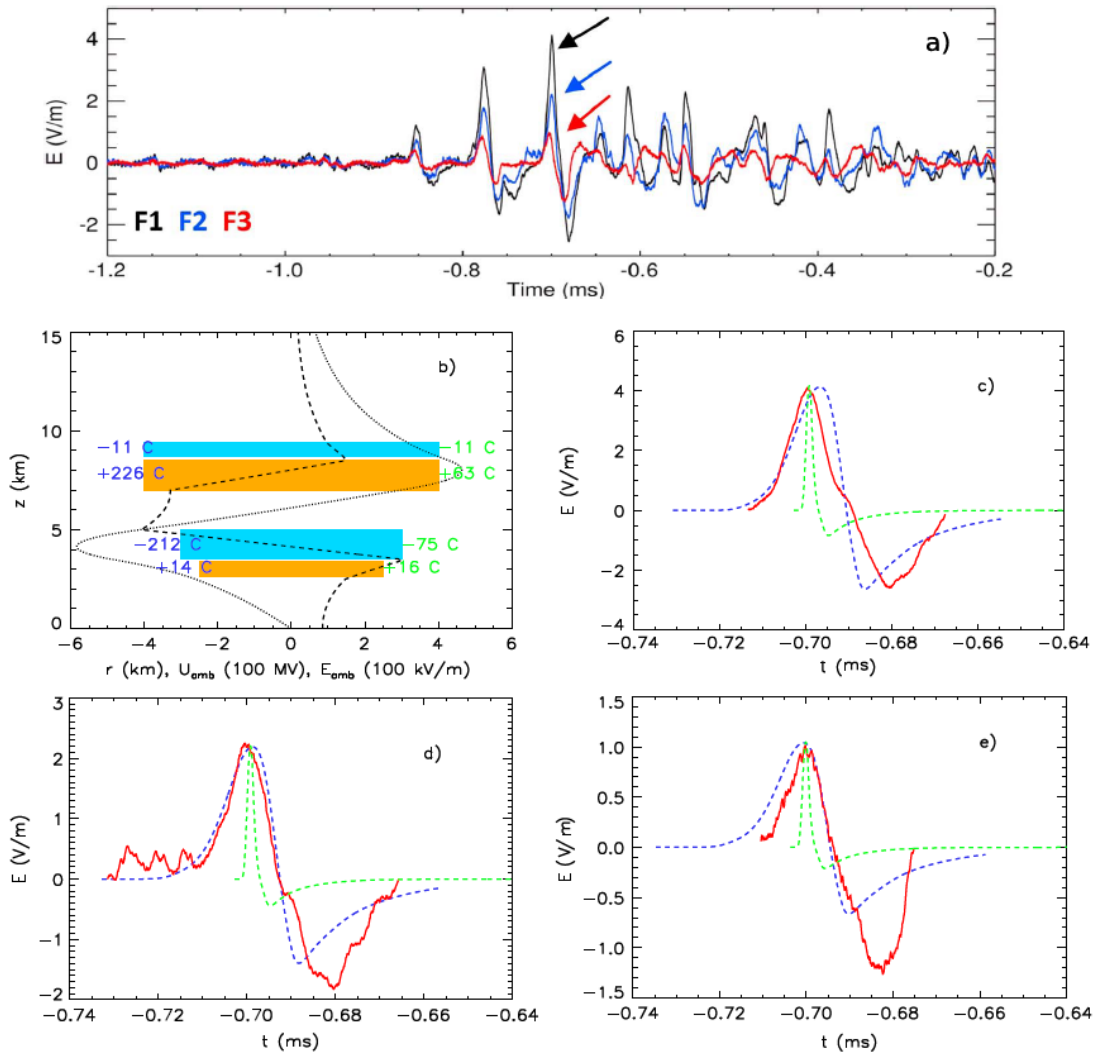
Turner, D. L., Lee, J. H., Claudepierre, S. G., Fennell, J. F., Blake, J. B., Jaynes, A. N., ..., **Santolík, O.** (2017). Examining coherency scales, substructure, and propagation of whistler mode chorus elements with Magnetospheric Multiscale (MMS). *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122, 11, doi:10.1002/2017JA024474.

#### **4. Model iniciačních pulsů charakterizujících vznik bleskového výboje**

Vytvořili jsme realistický model elektromagnetických iniciačních pulsů umožňující zkoumat vzájemný vztah amplitudy elektrického pole těchto pulsů a špičkových proudů tekoucích vnitroblovými bleskovými kanály v době vzniku bleskového výboje. Ukázali jsme, že vnitroblové proudy mohou přesahovat hodnotu 200 kA a že tyto elektromagnetické pulsy nesou dostatek energie ke spouštění emisí fotonů nazývaných pozemské gama záblesky.

#### **Reference:**

**Kaspar P., O. Santolík, I. Kolmasova**, and T. Farges (2017), A model of preliminary breakdown pulse peak currents and their relation to the observed electric-field pulses, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 596-603, doi:10.1002/2016GL071483.



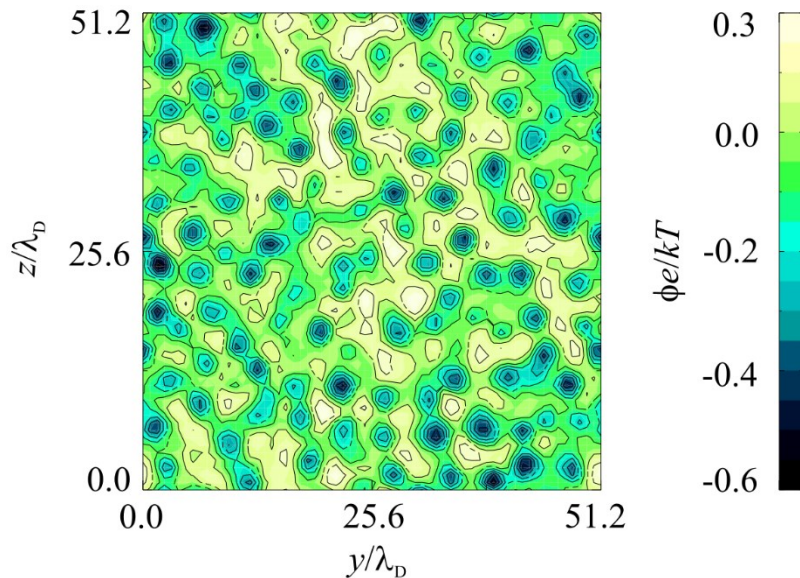
a) Příklad sekvence iniciačních pulsů naměřených v různých vzdálenostech od bleskového výboje. b) Rozložení náboje v bouřkovém oblaku použité pro modelování pulsu s největší amplitudou. c) – e) Detail největšího pulsu naměřeného v různých vzdálenostech od bleskového výboje (červeně) a jeho model (modře a zeleně) pro různé velikosti nábojových center.

## 5. Numerické simulace typu „particle in cell“

V článku studujeme, jak rozlišení termálního elektronového cyklotronového poloměru na simulační mřížce při 3D Particle-In-Cell (PIC) simulaci silně magnetizovaného plazmatu ovlivní stabilitu simulace. Ukázali jsme, že pokud není elektronový gyrační poloměr rozlišen, dojde k rozvoji numerické nestability, jež ohřívá elektrony až na teplotu, při které je elektronový poloměr velmi dobře rozlišen. Zároveň dochází k filamentaci elektrického potenciálu rovnoběžně s magnetickým polem. Použitím váhování vyššího řádu lze numerický ohřev v některých speciálních případech snížit, nikoliv však potlačit na nulovou hodnotu. V článku jsou také diskutovány možnosti vzniku této numerické nestability. Ačkoliv byl výzkum realizován na elektrostatickém kódu, tak z literatury je zřejmé, že obdobný nefyzikální ohřev se týká i elektromagnetických PIC kódů.

## Reference:

**M. Horký**, W. J. Miloch, and V. A. Delong (2017), Numerical heating of electrons in particle-in-cell simulations of fully magnetized plasmas, *Phys. Rev. E* 95, 043302.



*Filamentace elektrického potenciálu v důsledku numerické nestability. Obrázek zobrazuje elektrický potenciál v řezné rovině kolmé na externí magnetické pole. Osy jsou normalizovány k Debyeovskému poloměru a potenciál je normalizovaný ku  $kT/e$ , kde  $k$  je Boltzmannova konstanta,  $T$  je počáteční teplota elektronů a  $e$  je elementární náboj elektronu.*

## 6. Kosmické počasí:

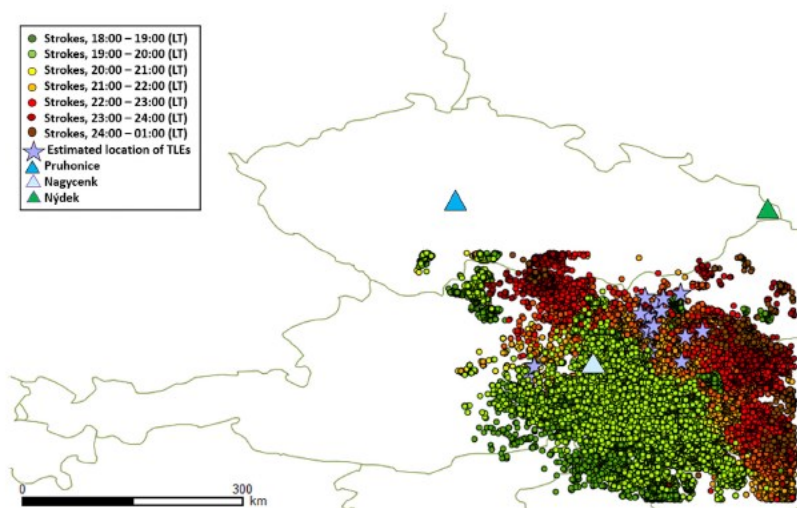
### Reference:

C. Möstl, A. Isavnin, P. D. Boakes, E. K. J. Kilpua, J. A. Davies, R. A. Harrison, D. Barnes, **V. Krupar**, J. P. Eastwood, S. W. Good, R. J. Forsyth, V. Bothmer, M. A. Reiss, T. Amerstorfer, R. M. Winslow, B. J. Anderson, L. C. Philpott, L. Rodriguez, A. P. Rouillard, P. Gallagher, T. Nieves-Chinchilla, and T. L. Zhang (2017), Modeling observations of solar coronal mass ejections with heliospheric imagers verified with the Heliophysics System Observatory, *Space Weather*, 15, 955–970, doi:10.1002/2017SW001614.

Miteva, R., S. W. Samwel, and **V. Krupar** (2017), Solar energetic particles and radio burst emission, *J. Space Weather Space Clim.* 2017, 7, A37, doi.org/10.1051/swsc/2017035.

## 7. Pozorování přechodných světelných jevů

Záznamy pozorování světelných přechodných jevů na stanici v Nýdku (pozorovatel oddělení kosmické fyziky M. Popěk) byly použity při hledání vlivu bouřkové aktivity na vlastnosti ionosférické sporadické E-vrstvy a dále při analýze pozorování fragmentace většího meteoritu z roje Perseid.



*Mapa ukazující polohy bleskových výbojů (barevné body), přechodných světelných jevů (hvězdičky) a pozorovacích stanic (trojúhelníky) použitých v analýze*

### Reference:

Barta, V., Ch. Haldoupis, G. Satori, D. Buresova, J. Chum, M. Pozoga, K. A. Berenyi, J. Bor, **M. Popěk**, A. Kis, P. Bencze (2017), Searching for effects caused by thunderstorms in midlatitude sporadic E layers, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 161, 150–159.

### Související reference:

Koten, P. D. Capek, P. Spurný, J. Vaubaillon, **M. Popěk**, and L. Shrbeny (2017), September Epsilon Perseid cluster as a result of orbital fragmentation, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 600, doi.org/10.1051/0004-6361/201630246.

## **Oddělení kosmické fyziky, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v roce 2017**

1. Marek Basovník, PhD student, částečný úvazek 60%
2. Benjamin Grison, vědecký pracovník
3. Michajlo Hajoš, vědecký pracovník
4. Miroslav Hanzelka, student, částečný úvazek 20%
5. Miroslav Horký, postdoktorand, částečný úvazek 20% do 31. března, 100% od 1. dubna
6. Petr Kašpar, postdoktorand
7. Vratislav Krupař, vědecký pracovník, 100% do 30. dubna, částečný úvazek 50% od 1. května
8. Oksana Krupařová, vědecká pracovnice, 100% do 30. dubna, 75% od 1. května
9. Radek Lán, odborný pracovník výzkumu a vývoje
10. Jan Lukačevič, odborný pracovník výzkumu a vývoje, částečný úvazek 60% od 1. července
11. Martin Pauer, odborný pracovník výzkumu a vývoje, částečný úvazek 20%
12. David Píša, vědecký pracovník
13. Martin Popek, pozorovatel, částečný úvazek 25%
14. Ondřej Santolík, vedoucí vědecký pracovník, vedoucí oddělení
15. Jan Souček, vedoucí vědecký pracovník, zástupce vedoucího oddělení
16. Ulrich Taubenschuss, vědecký pracovník
17. Alexander Tomori, PhD student, částečný úvazek 50%
18. Hana Špačková (roz. Zemanová), PhD studentka, částečný úvazek 50%