

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
76–2023

2

33 Meteorologické družice Meteosat třetí generace (MTG)

Martin Setvák – Blanka Piskala Gvoždíková – Jindřich Štástka

**42 Vyhodnocení radarových produktů pravděpodobnosti
výskytu krup a jejich využití v ČHMÚ**

Hana Kyznarová – Petr Novák

**52 Pozorování nadoblačných blesků typu
tygří elfové z observatoře Nýdek**

Martin Popek

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



33 Meteosat third generation (MTG) meteorological satellites

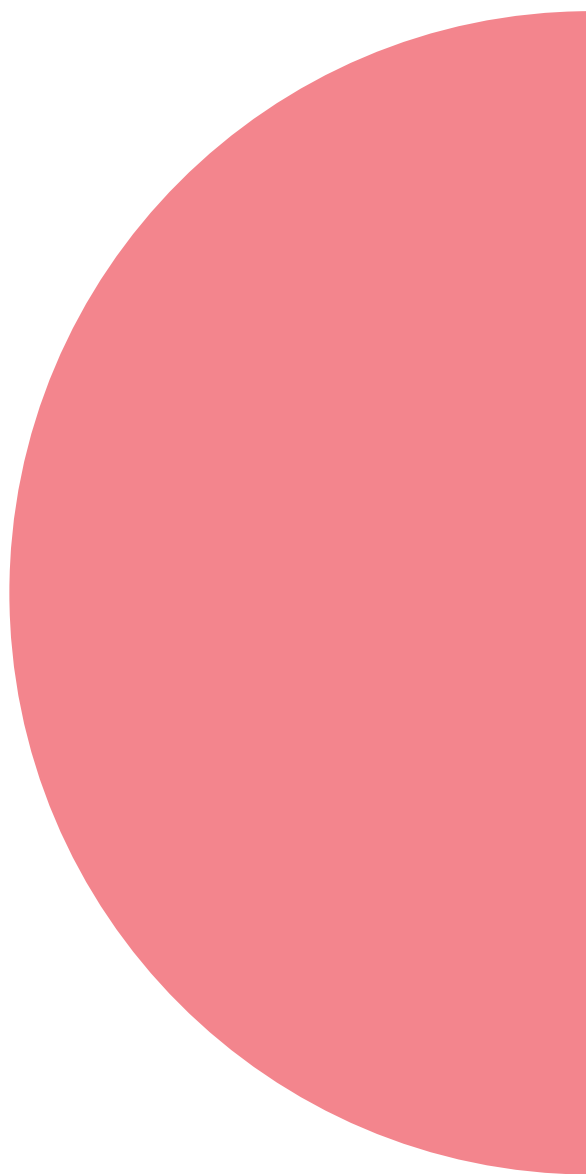
Martin Setvák – Blanka Piskala Gvoždíková – Jindřich Štástka

42 Evaluation of radar products estimating probability of hail occurrence and their use in CHMI

Hana Kyznarová – Petr Novák

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

Martin Popek



Rozšiřuje – Free booking:

Český hydrometeorologický ústav, tiskové a informační oddělení
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel.: 244 032 722, 244 032 724

Czech Hydrometeorological Institute, Press and Information Department
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4, Czech Republic, Phones: (+420) 244 032 722, (+420) 244 032 724

Meteorologické družice Meteosat třetí generace (MTG)

Meteosat third generation (MTG) meteorological satellites

Martin Setvák, Blanka Piskala Gvoždíková, Jindřich Štáštka

Český hydrometeorologický ústav
oddělení družicové
Generála Šišky 1/942, 143 00 Praha 412-Kamýk
✉ martin.setvak@chmi.cz

The article targets the Meteosat Third Generation (MTG) satellites, the first representative of which, MTG I1, was launched into orbit on 13 December 2022. It also describes briefly the Meteosat first and second generation satellites, the history of the MTG program preparations, and progress of development of the MTG satellites themselves. The paper also gives reasons for splitting the MTG program into two branches, MTG-Imager (MTG-I), focusing at imaging instruments, and MTG-Sounder (MTG-S), aimed at atmospheric soundings. Next, the paper focuses on detailed description of two main instruments of the MTG-I satellites, the Flexible Combined Imager (FCI) and the Lightning Imager (LI), and a brief description of two main instruments of the MTG-S satellites, the Infrared Sounder (IRS) and Sentinel-4. Furthermore, the paper also discusses commissioning of the MTG-I1 satellite and preparations for its operational use, foreseen for the end of 2023. Finally, the main expected benefits of the MTG satellites are briefly summarized.

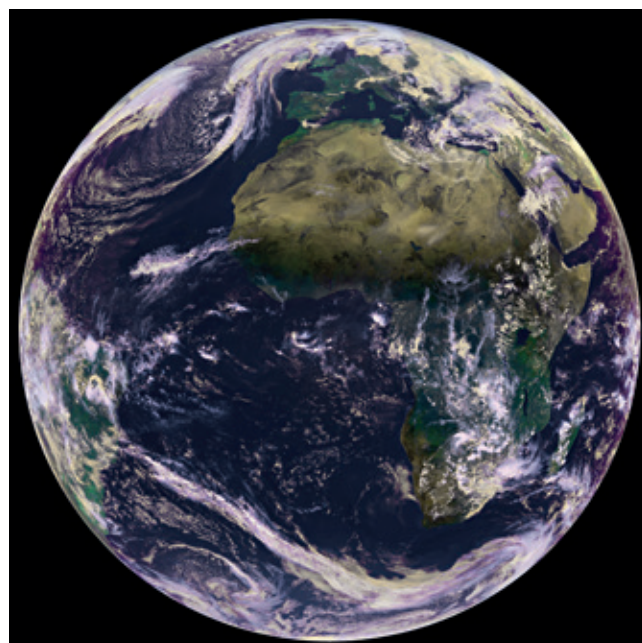
KLÍČOVÁ SLOVA: družice meteorologická – Meteosat – MSG – MTG – EUMETSAT

KEYWORDS: Meteorological satellite – Meteosat – MSG – MTG – EUMETSAT

Úvod

Dne 13. prosince 2022 byla vypuštěna nová meteorologická družice, MTG-I1, první zástupce družic Meteosat třetí generace (Meteosat Third Generation, MTG). Družice MTG navazují na předchozí dvě generace družic Meteosat, postupně provozované od roku 1977. Družice Meteosat jsou evropskými meteorologickými družicemi, financovanými a provozovanými organizací EUMETSAT (viz níže), umístěnými na geostacionární dráze – tedy zdánlivě „zavěšenými“ nad určitým pevným místem na Zemi ve výšce přibližně 35 790 km, snímajícími neustále stejnou část zemského disku. První z nich, Meteosat-1, byl vypuštěn v roce 1977 a patřil k první generaci družic Meteosat, která čítala celkem sedm družic. Data z družic Meteosat (první generace) se v ČHMÚ začala pravidelně přijímat od roku 1991

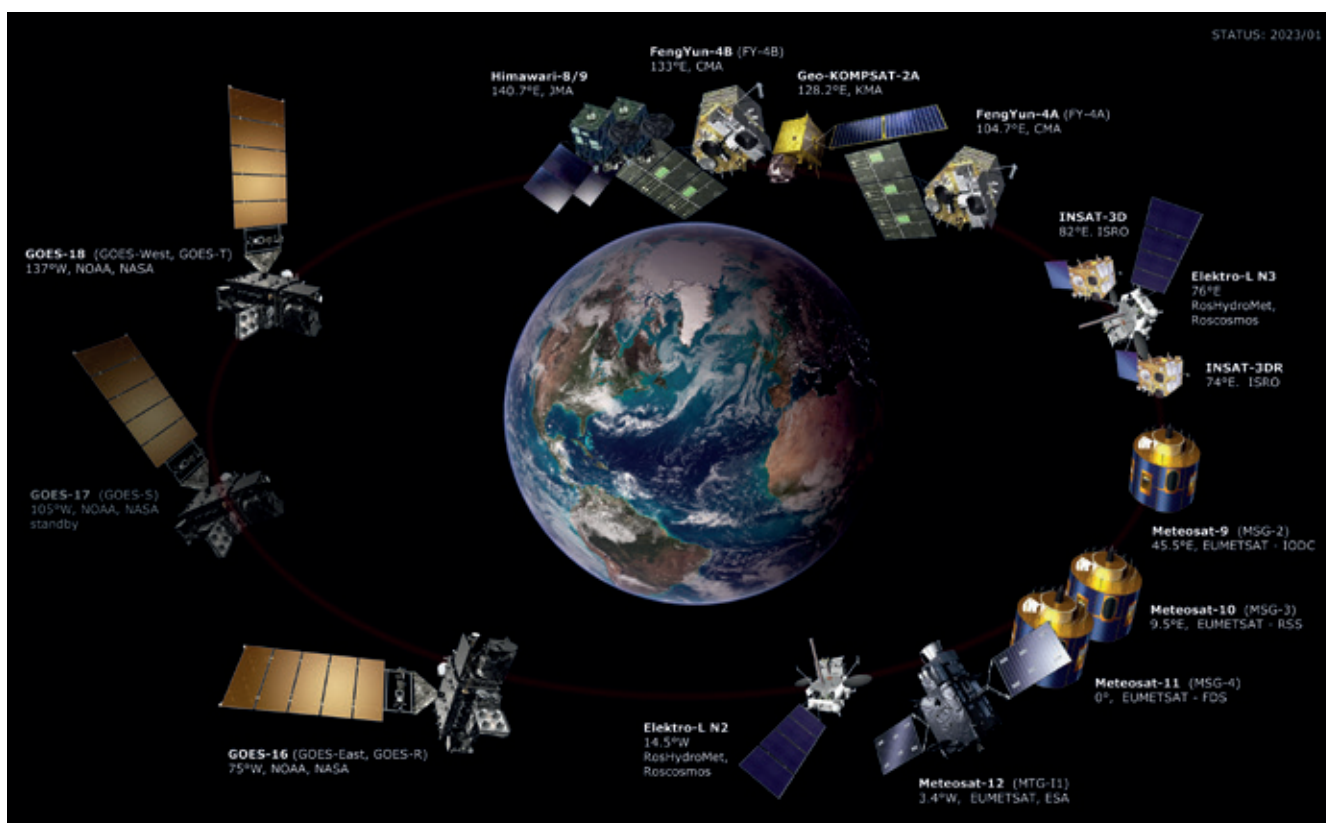
– nejdříve v analogovém režimu WEFAX (Weather Facsimile) systémem SDUS (Secondary Data User Station), od roku 1995 pak v digitálním režimu HRI (High Resolution Imagery) systémem PDUS (Primary Data User Station, Setvák et al. 1996). V srpnu 2002 byl vypuštěn první z Meteosatů druhé generace (Meteosat Second Generation, MSG – Schmetz et al. 2002; Setvák 2004), družice Meteosat-8 (MSG-1)¹; pravidelný příjem dat z MSG začal v ČHMÚ v prosinci 2004. V současnosti jsou



Obr. 1 Geografické pokrytí Země z pohledu družic Meteosat, umístěných nad průsečíkem rovníku a nultého poledníku. RGB kompozitní snímek složený z kanálů VIS 0.6, VIS 0.8 a IR 10.8 přístroje SEVIRI družic MSG, provozně v ČHMÚ označovaný jako VIS-IR produkt.

Fig. 1. Geographic coverage of the Earth as seen by Meteosat satellites, located above intersection of the equator and 0° meridian. RGB composite image of VIS 0.6, VIS 0.8, and IR 10.8 bands of the SEVIRI instrument, operationally referred to as the VIS-IR product in CHMI.

¹ Většina současných meteorologických družic má zpravidla dva názvy, resp. jména. Prvním z nich je výrobní či programové označení družice (zpravidla nějaká technická zkratka), pod kterým je družice vyvíjena, sestavována a vypouštěna na oběžnou dráhu. Druhé jméno je pak obecnější, pořadové, které je družici přiřazeno po dosažení oběžné dráhy a jejím operativním zprovozněním. Například „MSG-1“ znamená první z družic Meteosat druhé generace (MSG), „Meteosat-8“ je pak pořadové označení téže družice po jejím operativním zprovoznění, v rámci všech dosavadních družic Meteosat, bez ohledu na generaci konkrétní družice. Zdůrazňujeme, že „Meteosat“ je jménem družice, zatímco „EUMETSAT“ je zkratka názvu organizace, která družice Meteosat provozuje.



Obr. 2 Schematické rozložení v současnosti aktivních meteorologických geostacionárních družic kolem Země. U většiny družic je uvedeno jak výrobní, tak pořadové označení družice, zeměpisná délka umístění družice a její provozovatel. Grafické znázornění jednotlivých družic přibližně odpovídá jejich skutečnému vzhledu, snahou rovněž bylo zachování přibližného poměru velikostí družic. Zdroj jednotlivých obrázků družic: webové stránky jejich provozovatelů, upraveno jedním z autorů článku (MS).

Fig. 2. Schematic distribution of currently active meteorological geostationary satellites around the Earth. For most satellites, both the production and serial designations of the satellite, the longitude of the satellite's location and its operator are given. The graphical representations of the individual satellites correspond approximately to their actual appearance, and an attempt has been made to maintain an approximate ratio of satellite sizes. Source of the individual satellite images: websites of the satellite operators, modified by one of the authors of the article (MS).

aktivními družice Meteosat-10 (MSG-3) a Meteosat-11 (MSG-4, poslední ze čtyř družic série MSG), poskytující detailní meteorologické informace z oblasti Evropy, Afriky, části Jižní Ameriky a přilehlých částí Atlantského a Indického oceánu, obr. 1. Předchozí družice Meteosat-9 (MSG-2) organizace EUMETSAT provozuje nad západním Indickým oceánem, kde doplňuje pozorování starších, méně vyspělých indických družic INSAT a ruské družice Elektro-L N3. Nejstarší, Meteosat-8 (MSG-1), již byl naveden na hřbitovní dráhu (graveyard orbit), kde byl deaktivován.

Družice Meteosat jsou navrhovány, vyvíjeny, financovány a provozovány mezinárodní organizací EUMETSAT (European Organization for Exploitation of Meteorological Satellites, Evropská organizace pro využití meteorologických družic), v úzké spolupráci s organizací ESA (European Space Agency, Evropská vesmírná agentura). Sídlo organizace EUMETSAT je v německém Darmstadtu, jižně od Frankfurtu. Česká republika byla spolupracujícím členským státem EUMETSATu od roku 2005, plným členem organizace je od roku 2010. Členem ESA je ČR od roku 2008. Členství ČR v EUMETSATu je v gesci Ministerstva životního prostředí.

Družice Meteosat jsou součástí globálního pozorovacího systému Světové meteorologické organizace (World Meteorological Organization, WMO) meteorologických geostacionárních družic, jehož aktuální schéma je na obr. 2.

1. Meteosat třetí generace – historie

Historii programu Meteosat třetí generace (Meteosat Third Generation, MTG), od prvního návrhu systému navazujícího na družice Meteosat druhé generace (MSG), až po vypuštění první z družic MTG, MTG-I1, lze dohledat v systému EUMEDS (2023). Jedná se o neveřejný systém distribuce elektronických dokumentů pro jednotlivá zasedání Rady organizace EUMETSAT a jednání jejich podpůrných vědeckých, technických, administrativních a legislativních skupin, a zároveň o archiv všech obdobných dokumentů z předchozích let, od roku 1986 – rok vzniku nezávislé mezinárodní organizace EUMETSAT² – až do současnosti.

² Rada (Council) je vrcholným rozhodovacím orgánem organizace EUMETSAT. Rada se zpravidla schází dvakrát ročně (koncem jara a koncem podzimu), jednotlivé členské státy reprezentují tzv. Vedoucí delegací (Head of Delegation) nebo jmenovaní zástupci Vedoucího. Vedoucími delegací jsou zpravidla ředitelé národních meteorologických služeb. Rozhodnutím Rady předchází jednání v různých odborných podpůrných skupinách, předkládajících svá doporučení Radě. Rada schvaluje všechny povinné a volitelné programy EUMETSATu a jejich případné změny, rozpočet na jednotlivé roky, datové licenční záležitosti, kontrakty a další smlouvy uzavírané s třetími stranami, atd.

První diskuze o budoucím programu, který by nahradil systém MSG, spadají do konce roku 1999. V té době se na 43. zasedání Rady zvažuje i možnost rozšíření série družic MSG ze čtyř na šest. Tento návrh se ale nakonec (především z důvodu dalších odkladů startu MSG-1 – nakonec až na srpen 2002) neprosadil, a postupně je rozhodnuto systém MSG nahradit systémem provizorně označovaným jako „post-MSG“ program.

Na 50. zasedání Rady (květen 2002) je schválen harmonogram příprav konceptu budoucího post-MSG systému, pro který se ustaluje označení *Meteosat Third Generation*, MTG. Na tomto zasedání Rady je rozhodnuto, že přípravné studie a přípravné programy by měly proběhnout do roku 2009, dále že vývoj, výroba a testování systému MTG proběhne v období 2009–2014, a konečně že start prvního MTG se uskuteční v roce 2015.

Na 55. zasedání Rady v květnu 2004 je předložena ke schválení první verze dokumentu MTG Mission Requirements Document, ve kterém jsou shrnuty požadavky budoucích uživatelů na systém MTG. V tomto dokumentu je mj. předběžně definováno základní přístrojové vybavení družic MTG, byť částečně pod jinými názvy, než jsou ustáleny později:

- High Resolution Fast Imagery (HRFI) – snímkování (části) Země ve vysokém rozlišení a s rychlou frekvencí
- Full Disk High Spectral Resolution Imagery (FDHSI) – multispektrální snímkování celého disku Země
- Lightning Imagery (LI) – optická detekce blesků
- Infrared Sounding (IRS) – infračervená (hyperspektrální) sondáž atmosféry
- UV/Visible sounding (UVS) – sondáž atmosféry v ultrafialovém a viditelném oboru záření

Současně je schválen technický dokument, ve kterém je poprvé zmíněna možnost různého přístrojového vybavení jednotlivých družic MTG. I nadále se předpokládá připravenost MTG-1 (osazeného přístroji HRFI, FDHSI a LI) ke startu v roce 2015. HRFI a FDHSI měly být původně dva odlišné, samostatné přístroje. V této době ještě není definován počet družic MTG.

Na 56. zasedání Rady v listopadu 2004 je předložen pro informaci návrh rozdělení programu MTG na dva samostatné programy. Na 60. zasedání Rady v listopadu 2006 je odsouhlaseno sloučení HRFI a FDHSI do jediného přístroje Flexible Combined Imager (FCI) tak, jak jej známe dnes, viz níže.

Přípravný program MTG je předložen ke schválení na 62. zasedání Rady v červenci 2007, poslední členské státy, které se zdržely hlasování na samotném zasedání Rady, jej schválily dodatečně (písemně) v průběhu roku 2008.

V říjnu 2008, na 65. mimořádném zasedání Rady, je schválena finální specifikace přístrojového vybavení družic MTG. Kromě jiného, přístroj UVS je přejmenován na UVN (Ultraviolet Visible Near-infrared Sounder), alternativně označovaný jako Sentinel-4 programu GMES (Global Monitoring for Environment and Security), později přejmenovaném na program Copernicus, provozovaný Evropskou komisí. Zároveň je potvrzeno rozdělení programu MTG na dvě větve, MTG-Imager (MTG-I) a MTG-Sounder (MTG-S). Stále se předpokládá start MTG-I1 v roce 2015. Na témže zasedání Rady je schválen draft smlouvy mezi EUMETSATem a ESA o spolupráci na vývoji systému MTG.

Návrh programu MTG byl předložen ke schválení mimořádnému 69. zasedání Rady v březnu 2010. Vzhledem k tomu, že nebylo dosaženo potřebné většiny (souhlas všech členských států),

byla schválena alespoň rezoluce o budoucím programu MTG a zároveň byl prodloužen přípravný program MTG do konce roku 2011. Návrh programu MTG byl nakonec postupně schválen zbývajících členskými státy začátkem roku 2011. Tou dobou již bylo odsouhlaseno odložení startu MTG-I1 na prosinec 2017.

Konečně, 21. 11. 2012 byla podepsána smlouva (kontrakt) mezi EUMETSATem a ESA, pokrývající vývoj a výrobu celkem čtyř družic MTG-I a dvou družic MTG-S. Následovalo období vývoje a testování jak jednotlivých přístrojů, tak samotného korpusu družice MTG-I1, doprovázené technickými problémy u všech přístrojů, což způsobilo další odklady startu MTG-I1. První z družic MTG-I nakonec odstartoval na oběžnou dráhu až 13. prosince 2022, tedy o sedm let později oproti původním plánům.

2. Základní popis a konfigurace systému MTG

Jak již bylo zmíněno výše, systém MTG je rozdělen na dvě samostatné větve, lišící se svým přístrojovým vybavením. Důvodem rozdělení je rozměr a váha jednotlivých přístrojů – pokud by všechny měly být umístěny na jediné družici, musela by tato družice být výrazně větší a těžší, čímž by enormně narostly náklady na start takovéto družice. Důvody jsou i technické – více přístrojů s krokujícími radiometry na jediné družici by znamenalo větší riziko vibrací celé družice, a tedy i potenciální ohrožení kvality měření. Posledním důvodem rozdělení bylo i rozfázování vývoje jednotlivých přístrojů pro MTG-I a MTG-S; přístroje pro MTG-I měly přednost z důvodu blížícího se konce plánované životnosti družic MSG, a tedy nutnosti jejich včasné náhrady družicemi MTG-I. **Družice MTG – Imager** („snímkový družice“, MTG-I) jsou osazeny dvěma přístroji pro pořizování snímků Země ve viditelném (VIS), blízkém infračerveném (NIR) až tepelném záření (IR), včetně systému pro detekci blesků. Družice **MTG – Sounder** („sondažní družice“, MTG-S) budou zaměřeny na vertikální sondáž atmosféry, zejména pro potřeby numerického modelování a monitorování chemického složení troposféry. Podrobnější informace k těmto přístrojům jsou uvedeny níže. Družice MTG budou dále osazeny systémem pro sběr a předávání dat z automatických stanic (Data Collection and Distribution Service, DCS), systémem pro příjem a re-transmisí nouzových signálů (Geostationary Orbiting Search and Rescue, GEOSAR), a přístrojem pro monitorování okolního vesmírného prostředí (Radiation Monitoring Unit, RMU). Více informací a především odkazy na další literaturu zaměřenou na tyto přístroje viz např. Holmlund et al. 2021.

Třetí generace družic Meteosat se zásadně liší od předchozích dvou generací svou konstrukcí. Jak první, tak druhá generace Meteosatů měla tvar válce, rotujícího rychlostí 100 otáček za minutu podél své osy, rovnoběžné se zemskou osou rotace. Tato rotace zajišťovala stabilizaci družice v prostoru, a zároveň byla základem mechanismu snímání Země. To sice znamenalo poměrně vysokou spolehlivost družic a jejich jednodušší konstrukci, zároveň to ale značně omezovalo možnosti umístění dalších přístrojů na tyto družice. Třetí generace přichází se zcela odlišným konceptem – družice mají tvar nepravidelného kvádra, v prostoru jsou stabilizovány gyroskopicky (systémem pěti interních setrvačníků), což umožňuje umístění více přístrojů na jedinou družici. Družice MTG vyvíjí a vyrábí francouzská firma Thales Alenia Space, která je montuje z dílčích komponent dodaných dalšími subjekty z členských států ESA. Kromě výše zmíněných přístrojů jsou družice MTG dále vybaveny standardními systémy pro komunikaci s řídicím centrem a pro přenos naměřených dat, systémem pro navigaci a orientaci družice v prostoru, pohonnými motory pro manévry



Obr. 3 Schematické zobrazení družic MTG. Zdroj ESA.

Fig. 3. Schematic representation of MTG satellites. Source ESA.



Obr. 4 Fotografie družice MTG-I1 při její přípravě na start. Zdroj ESA.

Fig. 4. Photo of MTG-I1 satellite during its preparation for launch. Source ESA.



Obr. 5 Start družice MTG-I1 13. prosince 2022 pomocí nosiče Ariane 5 z evropského kosmodromu Kourou ve Francouzské Guyaně. Zdroj ESA a ArianeSpace.

Fig. 5. Launch of MTG-I1 satellite on 13 December 2022 with Ariane 5 Launcher from Europe's Kourou spaceport in French Guiana. Source ESA and ArianeSpace.

vání na oběžné dráze, solárními panely a bateriemi atd. Startovní váha družice je přibližně 3,8 tuny, z čehož cca 2 tuny činí palivo. Plánovaná životnost jednotlivých družic je 8,5 roku, přičemž reálná doba provozu bývá zpravidla výrazně delší. Celková doba, po kterou by systém družic MTG měl být provozován, je minimálně 20 let. Vzhled družic MTG je znázorněn na obr. 3 a 4.

Družice MTG-I1 byla vynesena na oběžnou dráhu 13. prosince 2022 pomocí evropského nosiče Ariane 5 z evropského kosmodromu Kourou ve Francouzské Guyaně, obr. 5. Jednalo se zároveň o jeden z posledních startů rakety Ariane 5, která bude nahrazena nosičem nové generace, raketou Ariane 6, jejíž první, testovací start je v současnosti plánován na konec letošního roku (2023).

Systém družic MTG bude kompletním (plně operativním) až po vypuštění prvních dvou družic MTG-I a první družice MTG-S. Jedna z družic MTG-I, umístěná nad nultým poledníkem, bude snímat přístrojem FCI celý zemský disk každých 10 minut; druhá družice MTG-I, umístěná na poloze 9,5° v. d., bude snímat nejsevernější čtvrtinu zemského disku s krokem 2,5 minuty (podrobnosti níže). Družice MTG-S budou umístěny mezi nimi.

Starty družic MTG-S1 a MTG-I2 by se měly uskutečnit (v tomto pořadí) mezi koncem roku 2024 až 2026, přičemž jejich start je zatím plánován pomocí nosičů Ariane 64 (verze Ariane 6 se čtyřmi přidavnými motory). Vzhledem ke zpoždění ve vývoji tohoto nosiče však panují jisté obavy o reálnost těchto termínů, a i s ohledem na životnost dosluhujících Meteosatů 10 a 11 se začíná diskutovat možnost využití komerčního nosiče společnosti SpaceX. Rovněž je diskutováno pořadí startů těchto dvou družic, je možné že nakonec bude jako další v pořadí startovat družice MTG-I2.

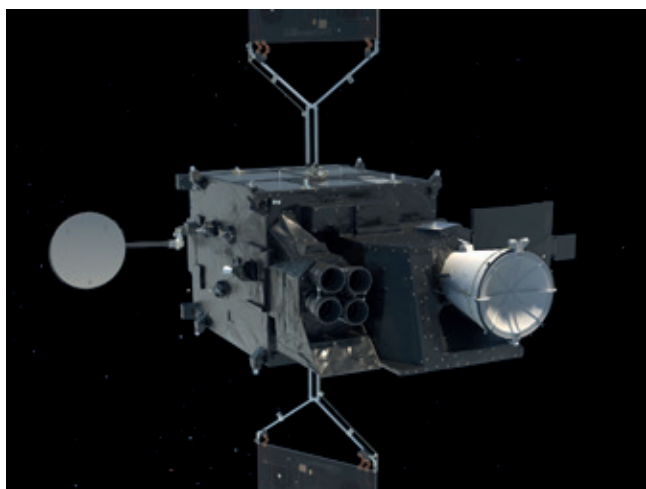
Následovat budou ještě družice MTG-S2, MTG-I3 a MTG-I4, jejichž termíny startů zatím nebyly upřesněny. Třetí generace Meteosatů by měla sloužit do poloviny až konce 40. let, kdy bude postupně nahrazena generací čtvrtou.

3. MTG – Imager (MTG-I)

Jak již název této větve družic MTG napovídá, jejím hlavním zaměřením je pořizování snímků Země – jednak celého zemského disku 16 kanálovým multispektrálním radiometrem **Flexible Combined Imager**, FCI, jednak přístrojem pro optickou detekci blesků **Lightning Imager**, LI. Na obr. 6 (pohled na přední část družice, mířící trvale k zemskému disku) je vidět rozmístění obou přístrojů: LI je umístěn v tomto pohledu vlevo, FCI vpravo. Z obou přístrojů vystupují do prostoru pouze kuželovité (sluneční) clony, omezující nežádoucí parazitní záření pocházející z oblastí mimo záběr přístrojů. Přístroj FCI má tuto clonu pouze jednu, LI celkem čtyři. Detaily obou přístrojů viz níže.

3.1 Flexible Combined Imager (FCI, flexibilní kombinovaný snímkovací radiometr)

Většina radiometrů soudobých meteorologických geostacionárních družic nepořizuje snímek Země najednou, velkoplošnými snímači – jaké se např. používají v digitálních fotoaparátech, ale postupným skenováním zemského disku po obrazových řádcích, resp. skupinách řádků, které jsou při sní-

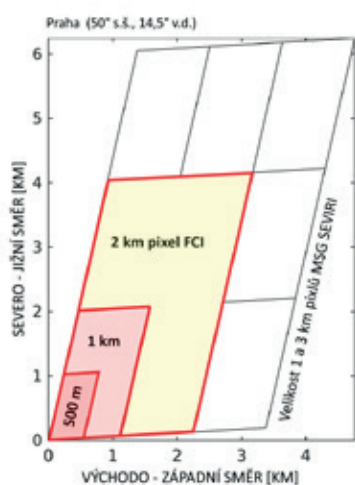


Obr. 6 Pohled na přední část družic MTG-I. Zdroj ESA.

Fig. 6. Front part of the MTG-I satellites. Source ESA.

mání zaznamenávány po jednotlivých pixlech. Proto se těmto typům přístrojů říká skenující radiometry. Výjimkou z tohoto principu jsou například přístroje pro detekci bleskové aktivity, např. níže popsany Lightning Imager (LI), kdy je velká část zemského disku sledována a snímána velkoplošnými senzory kontinuálně, najednou.

Skenující radiometry geostacionárních družic tedy musí mít možnost měnit směr pohledu ve dvou osách, od východu na západ a od severu k jihu (či opačně). U Meteosatů první a druhé generace byl, resp. je pohyb snímání od východu k západu zajištěn rotací celé družice, pohyb od jihu k severu pak postupně měněným náklonem jediného velkého rovinného zrcadla, umístěného před dalekohledem radiometru. Naproti tomu u družic MTG-I, které jsou vůči Zemi orientovány trvale stejnou svou stranou, nahrazuje rotaci družice druhé rovinné zrcadlo, postupně rovněž měnící svůj náklon. V případě přístroje FCI je Země snímána od východu k západu a od jihu k severu, viz animace metod snímání dostupné na www.eumetsat.int/mtg-flexible-combined-imager-fci. Přístroj FCI družic MTG je přímým nástupcem radiometru SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) družic MSG (Setvák 2004).



Obr. 7 Schematické znázornění velikosti pixlů SEVIRI a FCI pro oblast ČR. Černými čarami je znázorněno rozlišení (velikost pixlů přístroje promítnutých do ekvidistantní 1 km sítě) 1 a 3 km kanálů SEVIRI MSG, červeně totéž pro přístroj FCI družic MTG. Sklon (šikmost) pixlů závisí na poloze (zeměpisné délce) družice nad rovníkem. Zde počítáno pro polohu družice na nultém poledníku.

Fig. 7. Schematic representation of SEVIRI and FCI pixel sizes for the Czech Republic. Black lines represent resolution (size of the

instrument pixels projected onto equidistant 1 km grid) of 1 and 3 km SEVIRI MSG channels, red lines show the same for the FCI instrument of MTG satellites. The slope (inclination) of the pixels depends on the position (longitude) of the satellite above the equator. The position of the satellite above the zero meridian has been used.

Přístroj FCI má dva základní režimy snímání: Full Disc Scanning Service (FDSS) – snímání celého zemského disku s krokem 10 minut, a Rapid Scanning Service (RSS) – snímání nejsevernější části zemského disku (přibližně ¼ disku) s krokem 2,5 minuty. Pro FDSS je možné se setkat i s alternativním zkráceným označením FDS (Full Disc Service), FSS (Full Scan Service) či FES (Full Earth Scanning Service), a to i ve formálních dokumentech. Přístroje FCI lze používat v jednom nebo druhém režimu, nikoliv však současně. Z tohoto důvodu pro zajištění obou služeb (FDSS a RSS) je zapotřebí dvou družic. Právě z důvodu dvou možných režimů snímání a různého rozlišení je přístroj pojmenovaný jako flexibilní a kombinovaný.

Přístroj FCI snímá v 16 spektrálních kanálech, rozepsaných v tab. 1. Označení kanálu, resp. jeho název kombinuje písmeny vlastnost daného kanálu (spektrální pásmo, ve kterém se nachází), číselně pak je vyznačena střední vlnová délka kanálu. Rovnou dodejme, že označení kanálů VIS 0.8 a VIS 0.9 není fyzikálně správné, jedná se již o blízké infračervené záření, správně by tedy měly být označeny jako NIR 0.8 a NIR 0.9, a podobně IR 3.8 se rovněž ještě nalézá v NIR pásmu. Nicméně takto byly jednotlivé kanály označeny již v zadávací dokumentaci družice a nebylo možné dodatečně označení změnit. Každopádně kanály od VIS 0.4 do IR 3.8 pracují ve spektrální oblasti odraženého slunečního záření, a od IR 3.8 do IR 13.3 v tepelném IR pásmu. Kanál IR 3.8 tak v denních hodinách pracuje jak s odraženým slunečním zářením, tak s tepelným vyzařováním. V případě silných požárů se tepelná složka může uplatnit i v kanálech NIR 1.6 a NIR 2.2.

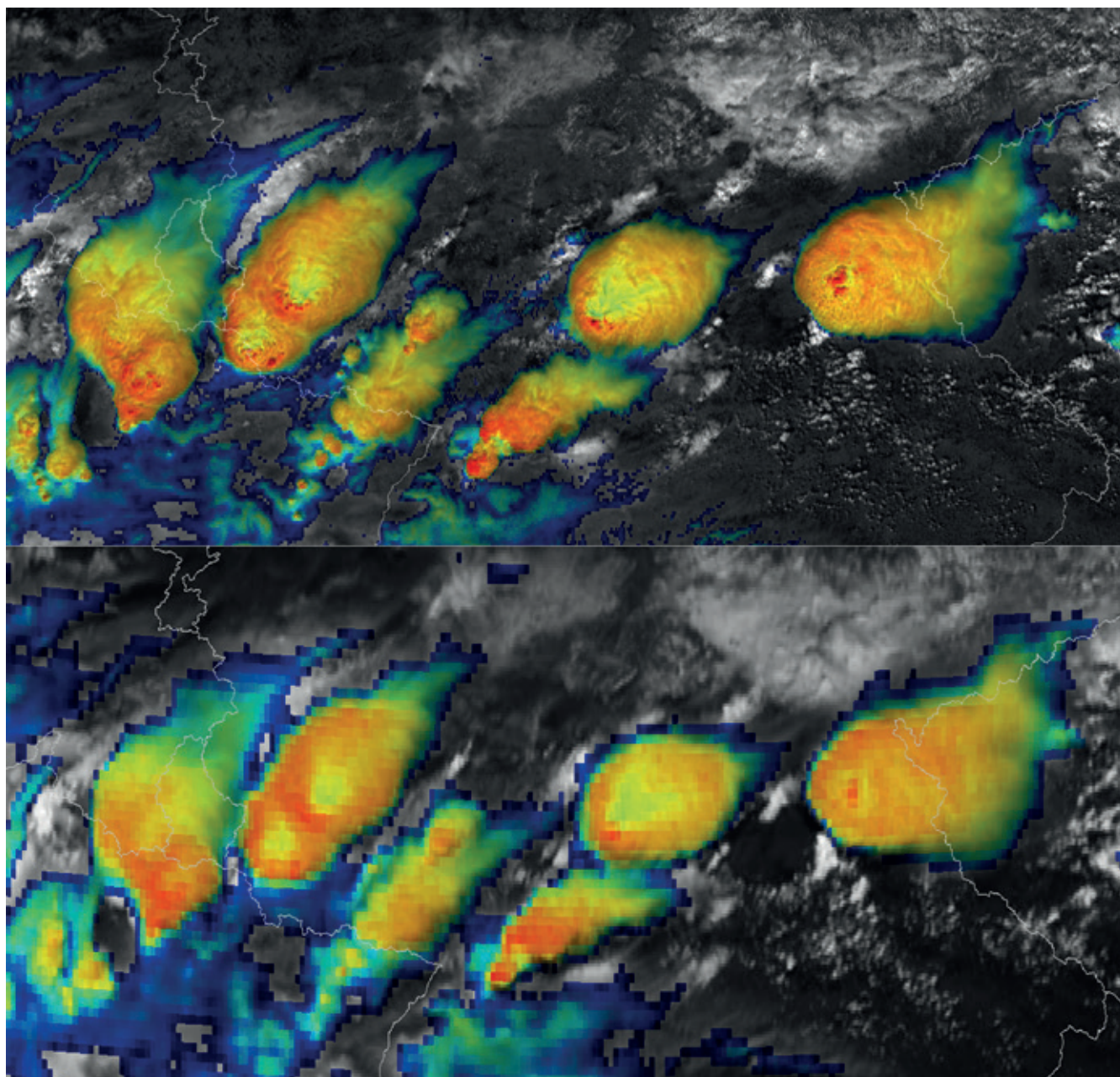
V posledním sloupci tabulky je uvedeno geometrické rozlišení FCI pro nadir družice (oblast na zemském povrchu, kterou družice snímá kolmo k povrchu). Pro oblast střední Evropy, kterou družice snímá již šikmo, je rozlišení deformované ve směru pohledu, pro ČR přibližně na dvojnásobek. Družice snímá část kanálů, ve VIS a NIR oblastí, s rozlišením 1 km v nadiru, ve zbývajících kanálech v rozlišení 2 km. Ve čtyřech kanálech bude družice snímát s dvakrát lepším rozlišením, 0,5 a 1,0 km, tato data však budou distribuována v reálném čase pouze v režimu RSS.

Vylepšené rozlišení přístroje FCI oproti SEVIRI by mělo mít pozitivní dopady pro detekci jak jevů menšího měřítka – např. úrodních mlh, přesnější detekci a lokalizaci požárů, tak přede-

Tab. 1 Spektrální kanály přístroje FCI.

Table 1. FCI spectral bands.

Označení kanálu (v nadiru družice)	Střední vlnová délka	Rozlišení
VIS 0.4	0,444 μm	1 km
VIS 0.5	0,510 μm	1 km
VIS 0.6	0,640 μm	1 km FDS / 0,5 km RSS
VIS 0.8	0,865 μm	1 km
VIS 0.9	0,914 μm	1 km
NIR 1.3	1,380 μm	1 km
NIR 1.6	1,610 μm	1 km
NIR 2.2	2,250 μm	1 km FDS / 0,5 km RSS
IR 3.8	3,800 μm	2 km FDS / 1,0 km RSS
WV 6.3	6,300 μm	2 km
WV 7.3	7,350 μm	2 km
IR 8.7	8,700 μm	2 km
IR 9.7 (O ₃)	9,660 μm	2 km
IR 10.5	10,50 μm	2 km FDS / 1,0 km RSS
IR 12.3	12,30 μm	2 km
IR 13.3 (CO ₂)	13,30 μm	2 km



Obr. 8 Porovnání rozlišení přístroje FCI (MTG) a snímku SEVIRI (MSG). Simulace FCI (horní snímek) je vygenerována z dat VIIRS družice S-NPP (11. 6. 2018, 11:38 UTC) pro rozlišení $0,5 \times 1,0$ km pro snímek ve viditelném oboru a 1×2 km pro barevně zvýrazněný tepelný snímek. Spodní snímek je reálným snímkem z přístroje SEVIRI družice Meteosat-10 (MSG-3) z téhož termínu, data RSS.

Fig. 8. Comparison of resolution of the FCI instrument (MTG) and the SEVIRI image (MSG). The FCI simulation (top image) was generated from VIIRS data of the S-NPP satellite (11 June 2018, 11:38 UTC) for a resolution of 0.5×1.0 km for the visible band and 1×2 km for the colour highlighted thermal image. The bottom image is a real image from SEVIRI instrument of the Meteosat-10 (MSG-3) satellite, from the same date and time, RSS data.

vším pro exaktnější monitorování detailů vlastností konvektivních bouří pro potřeby nowcastingu. Na obr. 8 je simulace očekávaného rozlišení přístroje FCI, vygenerovaná z dat přístroje VIIRS polární družice NPP (Setvák 2022), v porovnání se snímkem ze stejného času z přístroje SEVIRI družice MSG. Je zřejmé, že simulovaný snímek FCI zobrazuje horní hranici oblačnosti bouří výrazně detailněji než reálný snímek z přístroje SEVIRI. Je však otázkou, jak dalece se reálné snímky z FCI budou blížit těmto simulacím, zda se v nich nebudou projevovat některé artefakty dané odlišným mechanismem snímání a zpracování.

Oproti svému předchůdci, přístroji SEVIRI družic MSG, má FCI navíc následující kanály:

- VIS 0.4 a VIS 0.5 – společně s kanálem VIS 0.6 umožní tvorbu RGB snímků v pravých barvách a lepší detekci aerosolů
- VIS 0.9 – detekce celkového sloupce vodní páry v troposféře (precipitable water)
- NIR 1.3 – detekce velmi řídkých cirů, některých aerosolů a prachu, přízemní pole vlhkosti

Kanál IR 3.8 je oproti svému předchůdci na přístroji SEVIRI (IR 3.9) mírně posunut do kratší vlnové délky, mimo oblast absorpce vodní párou a CO_2 v pásmu nad $4 \mu\text{m}$. Ostatní kanály zůstávají stejné nebo téměř stejné jako na SEVIRI, tedy včetně svých vlastností.

Data z přístroje FCI jsou označována dle úrovně zpracování následně:

- Level 0 – surová data naměřená přístrojem FCI, bez jakéhokoliv dalšího zpracování
- Level 1a – základní technické zpracování surových dat po jejich příjmu řídicím centrem EUMETSATu
- Level 1b – předchozí data doplněná o geografické a kalibrační údaje
- Level 1c – předchozí data převedená do pravoúhlé obrazové matice, určená k distribuci koncovým uživatelům
- Level 2 – zpracované odvozené meteorologické (a jiné) produkty, určené k distribuci koncovým uživatelům

Data z přístroje FCI budou koncovým uživatelům distribuována v reálném čase systémem EUMETCast (EUMETSAT Multicast Distribution System). Jedná se o distribuční systém družicových dat, který je využíván také pro distribuci dat Meteosatů druhé generace. Detailněji je systém EUMETCast popsán v práci Setvák (2004). Pochopitelně od zahájení využívání tohoto typu přenosu došlo k několika vylepšením jako je např. změna standardu na DVB-S2, která umožňuje vyšší propustnost dat. Výrazně vyšší očekávaný objem dat z Meteosatů třetí generace bude ale i tak pro systém EUMETCast výzvou. I to je jedním z důvodů proč EUMETSAT hledá další způsoby distribuce dat. Kromě systému EUMETCast realizovaného pomocí komerčních telekomunikačních družic (přesněji by tedy mělo být užíváno označení EUMETCast Satellite) je již v současné době provozován i přenos pomocí internetu, označovaný jako EUMETCast Terrestrial. I zde se jedná o distribuci v reálném čase, ovšem stále ještě je tato služba považována za demonstrační a hlavním typem přenosu zůstává EUMETCast Satellite. Dále se rozvíjejí i služby pro distribuci dat archivních, kde pomocí tzv. EUMETSAT Data Store (data.eumetsat.int) se výrazně zpřehledňují a rozšiřují možnosti stahování těchto dat.

3.2 Lightning Imager (LI, přístroj pro optickou detekci blesků)

Přístroj LI bude prvním svého druhu na družicích Meteosat. Na geostacionární dráze doplní další podobné přístroje pro optickou detekci blesků – Geostationary Lightning Mapper (GLM) na amerických družicích GOES (Goodman et al. 2013) a Lightning Mapping Imager (LMI) na čínských FY-4 (Yang et al. 2017). Všechny tyto přístroje staví na zkušenostech z nízké oběžné dráhy Země, kde historie optické detekce blesků sahá do roku 1995 (Boccippio et al. 2000). V současnosti jsou data z nízké oběžné dráhy dostupná díky přístroji LIS (Lightning Imaging Sensor), který je umístěn na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS, NASA 2017). Data LIS a podobných přístrojů jsou zásadní pro pochopení globální klimatologie blesků; díky možnosti kontinuálního snímání na geostacionární dráze se ale hlavním cílem mise LI (a také GLM a LMI) stává monitoro-

Tab. 2 Seznam produktů LI.

Table 2. List of LI products.

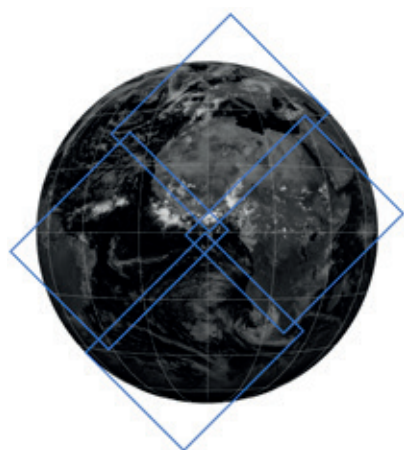
	Název	Rozlišení	Časový krok akumulace	Popis
Prvotní produkty	Dílčí detekce (events)	LI pixel	10 s	optické pulzy způsobené bleskovou aktivitou (na úrovni jednotlivých pixelů)
	Skupinové detekce (groups)	LI pixel	10 s	kolekce sousedních pixelů dílčí detekce, které se vyskytly ve stejném čase
	Blesky (flashes)	LI pixel	10 s	kolekce skupin vzdálených prostorově do 16,5 km a časově do 330 ms
Akumulované produkty	AFA (accumulated flash area)	FCI IR pixel	30 s	počet blesků v jednotlivých pixlech
	AF (accumulated flashes)	FCI IR pixel	30 s	akumulace podílu dílčích detekcí na jejich celkovém počtu v blesku v jednotlivých pixlech
	AFR (accumulated flash radiance)	FCI IR pixel	30 s	akumulovaná hodnota energie detekovaná v jednotlivých pixlech

vání bleskové aktivity pro potřeby numerické předpovědi počasí a hlavně nowcastingu konvektivních bouří.

Jak je patrné z obr. 6, přístroj LI se skládá ze čtyř samostatných detektorů, kamer, které dohromady vidí asi 84 % zemského disku pozorovatelného z geostacionární dráhy (obr. 9). Snímky s rozlišením 4,5 km v nadiru získává z celého zorného pole na jednou (tzn. bez postupného skenovacího mechanismu) s frekvencí 1 kHz, a to pouze v jednom úzkém spektrálním kanále se střední vlnovou délkou 777,4 nm. Tato vlnová délka je spektrální čarou (tripletem) atomárního kyslíku, emitovanou při bleskových výbojích (EUMETSAT 2020). Používá se na všech obdobných přístrojích z důvodu vysokého kontrastu světelného záblesku blesku oproti ostatnímu záření v atmosféře (přirozenému pozadí), což výrazně zvyšuje efektivitu a spolehlivost optické detekce blesků.

Každý snímek se zpracovává na družici v reálném čase pro detekci optických pulsů, které se definují jako náhlé zvýšení energie detekované přístrojem LI v jednotlivých pixlech obrazu v porovnání s pozadovým snímek. Detekované optické pulzy jsou kombinací skutečných záblesků a falešného signálu nebo šumu, způsobeného např. mikrovibracemi přístroje nebo vysokoenergetickými částicemi dopadajícími na detektory LI, případně záblesky bolidů (Jenniskens 2018). Šum zpočátku převažuje a je ho potřeba odfiltrovat. První filtrace probíhá již na družici, a to kvůli snížení celkového množství dat, která mají být vysílána k dalšímu zpracování do řídicího centra EUMETSATu, kde jsou poté uložena ve formátu Level 0. Následnou filtraci a doplněním o geografické a kalibrační údaje vznikají Level 1b data – dílčí detekce na úrovni jednotlivých pixelů (v angličtině označované jako events, EUMETSAT 2020).

Koncovým uživatelům budou data dílčí detekce dostupná na úrovni Level 2, která jsou vybraná k dalšímu zpracování – slučování do skupin (groups) a jednotlivých blesků (flashes), viz obr. 10, a k tvorbě akumulovaných produktů převedených do referenční 2 km sítě odpovídající FCI. Kompletní seznam dostupných produktů z přístroje LI (všechna Level 2 data) včetně jejich popisu je k dispozici v tab. 2; Level 2 dílčí detekce budou pouze archivovány, ostatní produkty budou distribuovány v téměř reálném čase systémem EUMETCast (plánovaná latence



Obr. 9 Zorné pole přístroje LI. Podklad tvoří kanál VIS 0.8 družice MSG, který je aktuálně nejbližší spektrálnímu kanálu využívanému přístrojem LI. Fig. 9. Field of view of the LI instrument. The VIS 0.8 channel of the MSG satellite is displayed in the background, being the closest to the spectral channel used by the LI instrument.

distribuce dat je 30 s). Nastavení parametrů jednotlivých produktů se může v budoucnu upřesňovat. Obr. 10 schematicky znázorňuje tvorbu skupin a blesků z dat dílčí detekce.

Přes horší rozlišení dat v porovnání s pozemními sítěmi je výhodou optické detekce z družic především možnost kontinuálního snímání bleskové aktivity nad oceány, kde se přirozeně nachází méně pozemních čidel pro detekci bleskových výbojů. Svou podstatou jsou data optické detekce blesků z družic velice odlišná od pozemní detekce a odrážejí spíše celkovou bleskovou aktivitu bez rozlišení toho, jestli se jedná o blesk uvnitř oblaku, mezi oblaky nebo mezi oblakem a zemí. Proto bude důležité jejich vzájemné srovnání včetně účinnosti detekce přístrojů. Na rozdíl od pozemní detekce, která není závislá na denní době, je spolehlivost družicové detekce blesků vyšší v nočních hodinách díky většímu kontrastu mezi pozadovým signálem a optickými pulzy. To potvrzují i data z přístroje GLM, který vykazuje průměrnou účinnost detekce kolem 70 %, v noci však kolem 90 % (Zhang, Cummins 2020).

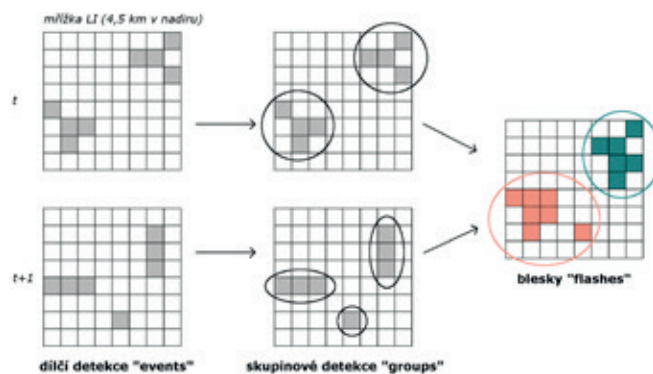
Od přístroje LI nelze očekávat detekci jevů typu TLE (Transient Luminous Events), krátkodobých světelných záblesků nad vrcholy konvektivních bouří ve stratosféře až mezosféře (ČMeS 2017). Ty jsou svým jasnem výrazně slabší než „klasické“ blesky, jsou viditelné pouze proti tmavé obloze a nikoliv proti bleskem nasvícené kovančině bouří.

4. MTG – Sounder (MTG-S)

Druhá větev družic MTG, zaměřená na vertikální sondáž atmosféry z oběžné dráhy Země, je vybavena dvěma přístroji:

- **Infrared Sounder (IRS)** je hyperspektrální Michelsonův krokový interferometr (fungující metodou „stop and stare“)³, snímající v cca 900 kanálech v pásmu 4,44–6,25 μm (označovaném MWIR, Middle Wavelength Infrared, střední infračervené záření) a cca 800 kanálech v pásmu 8,26–14,70 μm (označovaném LWIR, Long Wavelength Infrared, dlouhovlnné infračervené záření). Geometrické rozlišení IRS bude 4 × 4 km v nadiru, resp. 4 × 8 km pro oblast střední Evropy.

³ Jedná se o metodu snímání, kdy přístroj postupně krokujícím mechanismem (náklonem dvou rovinných zrcadel) mění oblast snímání senzorem o velikosti 160×160 pixelů, přičemž nad každou oblastí se na krátkou dobu (cca 10 s) zastaví, v každém z pixelů provede měření interferogramu (Level 0 data), která jsou po kompresi odeslána do řídicího centra k dalšímu zpracování. Rozlišení dílčích pixelů bude pro oblast střední Evropy přibližně 5×8 km.



Obr. 10 Schéma zpracování prvotních produktů LI v čase t a t+1. Fig. 10. Schematic of primary LI products processing in time t and t+1.

Obdobné přístroje jsou provozovány již řadu let na některých z polárních družic (AIRS na družici Aqua, IASI na družicích Metop, CrIS na družicích S-NPP a JPSS), a na čínských geostacionárních družicích série FY-4. Měřenými (resp. odvozenými) daty budou vertikální profily teploty a vlhkosti troposféry a stratosféry a nepřímé odhady celkového množství troposférického ozónu a oxidu uhelnatého. Pro oblast snímání družicemi Meteosat se bude jednat o vůbec první takový přístroj. Zemský disk bude rozdělen na 4 oblasti, přičemž z nejsevernější z nich, pokrývající oblast celé Evropy, severní Afriky a severovýchodního Atlantiku, budou data snímána každých 30, resp. 60 minut (zatím nebylo definitivně stanoveno). Ze zbývajících tří jižnějších oblastí budou data k dispozici jednou za 3 až 6 hodin. Podobně jako z ostatních hyperspektrálních sondážních přístrojů budou tato data určena především pro potřeby numerického modelování atmosféry (NWP). Data z IRS nenahradí klasická aerologická (balónová) měření, jejich účelem je doplnění, zahuštění aerologických sondáží – jak prostorové, tak časové.

- **Ultraviolet Visible Near-infrared Sounder (UVN)**, označovaný též jako Sentinel-4 programu Copernicus, je hyperspektrální spektrometr snímající oblast Evropy a severní Afriky, v pásmech 0,305–0,500 μm (UV, VIS) a 0,750–0,775 μm (NIR), s horizontálním rozlišením cca 8 km pro oblast jižní až střední Evropy. Data by měla být k dispozici každou hodinu. Hlavními produkty, odvozenými z dat přístroje, bude celkové množství O_3 , NO_2 , SO_2 , HCHO (formaldehyd) a CHOCHO (glyoxal) v troposféře.

Podrobněji se na družici MTG-S a její přístroje zaměříme až v budoucím samostatném článku, po uskutečnění startu družice MTG-S1.

5. Přípravy na MTG

Vzhledem k tomu, že nástup družic MTG bude představovat jak nové kanály a přístroje, tak obrovský nárůst objemu distribuovaných dat, EUMETSAT se rozhodl začít s přípravou svých koncových uživatelů s několikaletým předstihem. Již v roce 2017 přišel s aktivitou nazvanou MTG-UP! (MTG User Preparedness), do jejíž pracovní skupiny přizval zástupce ze všech členských států. Podobná pracovní skupina byla následně zřízena i pro program nové generace evropských družic na polární dráze EPS-SG (EUMETSAT Polar System – Second Generation), obě skupiny se pak scházely jak fyzicky, tak zejména online. Cílem těchto aktivit je připravit uživatele na nová data – jak z hlediska jejich efektivního využití (interpretace nových spektrálních

kanálů FCI a z nich odvozených produktů, využití dat ze systému detekce blesků LI), tak z technického hlediska (příjem, zpracování a distribuce dat a produktů). EUMETSAT mj. připravil syntetická data FCI a LI, ve formátech v jakých budou v budoucnu distribuována, aby měli uživatelé možnost vyvinout a vyzkoušet si předem software pro jejich zpracování. Plánována je rovněž testovací distribuce těchto dat, pro vyzkoušení hardwaru pro jejich příjem a zpracování.

Další oblastí příprav bylo rovněž seznamování se s novými spektrálními kanály FCI prostřednictvím již dostupných obdobných kanálů na přístrojích z jiných družic, především z přístroje VIIRS družic NPP a NOAA-20, či z přístrojů z geostacionárních družic GOES (USA) a Himawari (Japonsko). Do těchto příprav bylo, resp. je aktivně zapojeno i družicové oddělení ČHMÚ, a to včetně plánované účasti na testování prvních dat FCI v rámci zprovoznování družice MTG-I1 (satellite commissioning). První data z FCI by měla být k dispozici pro vybranou skupinu uživatelů v průběhu června letošního roku.

Závěr

Údaje z družic MTG a jejich přístrojů budou z hlediska množství a kvality poskytovaných dat oproti předchozí, druhé generaci Meteosatů (MSG) obrovským skokem vpřed. Zatímco přístroj FCI znamená spíše vývojový, kvalitativní i kvantitativní skok vpřed, novou generaci obdobných dosavadních přístrojů, na které navazuje (především SEVIRI družic MSG), zbývající tři přístroje MTG – LI, IRS a UVN/Sentinel-4 budou pro oblast Evropy zcela revolučními, zejména z hlediska svého umístění na geostacionární platformě, umožňující kontinuální sledování měřených prvků či charakteristik atmosféry. Všechny tyto přístroje budou významným přínosem nejen ke zpřesnění meteorologických předpovědí a krátkodobých výstrah, ale i ke zkvalitnění monitorování klimatu a jeho dlouhodobých změn, včasné detekci a monitorování požárů, monitorování znečištění ovzduší, a v řadě dalších aplikací. Data z IRS jsou patrně největší neznámou z hlediska jejich budoucího přínosu pro numerické modelování počasí pro oblast Evropy, Afriky a přilehlých oceánů – obdobné přístroje jsou sice již umístěny na polárních družicích na nízkých dráhách, jediný obdobný přístroj na geostacionární dráze je ale zatím pouze na čínských družicích FY-4. Data z IRS tak mají velký potenciál přispět k výraznému zkvalitnění výstupů NWP, zejména pro evropské meteorologické služby. Data z přístrojů družic MTG současně budou velkou technologickou výzvou z hlediska příjmu velkého objemu dat, jejich zpracování, distribuce a využití. Pokud půjde vše dle plánů a nevyskytnou se žádné neočekávané komplikace, prvních operativních dat FCI a LI bychom se měli dočkat koncem letošního roku, v prosinci 2023.

Internetové zdroje:

www.eumetsat.int/meteosat-second-generation
www.eumetsat.int/meteosat-third-generation
www.eumetsat.int/mtg-resources
pics.eumetsat.int/viewer/index.html
www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/meteosat_third_generation
www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/MTG/
www.eoportal.org/satellite-missions/meteosat-third-generation
www.arianespace.com/
www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/
www.arianespace.com/vehicle/ariane-6/

www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Europe_s_Spaceport/Europe_s_Spaceport2
en.wikipedia.org/wiki/Guiana_Space_Centre
www.thalesaleniaspace.com
www.eumetsat.int/mtg-flexible-combined-imager-fci
www.eumetsat.int/mtg-lightning-imager
www.eumetsat.int/mtg-infrared-sounder
www.eumetsat.int/sentinel-4

Literatura:

- BOCCIPPPIO, D. J., KOSHAK, W., BLAKESLEE, R., DRISCOLL, K., MACH, D. et al., 2000. The Optical Transient Detector (OTD): Instrument characteristics and cross-sensor validation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, roč. **17**, s. 441–458. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<0441:TOTDOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<0441:TOTDOI>2.0.CO;2).
- ČMeS (Česká meteorologická společnost), 2017. Elektronický meteorologický slovník (eMS) [online]. [cit. 4. 5. 2023]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- EUMEDS, 2023. EUMETSAT Electronic Distribution System, <https://eumeds.eumetsat.int/> (dostupné pouze pro autorizované uživatele).
- EUMETSAT, 2020. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for L2 processing of the MTG Lightning Imager data [online]. [cit. 30. 1. 2023]. Dostupné z WWW: <https://www.eumetsat.int/media/45075>.
- GOODMAN, S. J., BLAKESLEE, R. J., KOSHAK, W. J., MACH, D., BAILEY, J. et al., 2013. The GOES R Geostationary Lightning Mapper (GLM). *Atmospheric Research*, roč. **125–126**, s. 34–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.006>.
- HOLMLUND, K., GRANDELL, J., SCHMETZ, J., STUHLMANN, R., BOJKOV, B. et al., 2021. Meteosat Third Generation (MTG): Continuation and Innovation of Observations from Geostationary Orbit. *Bulletin of the American Meteorological Society*, roč. **102**, č. 5, s. E990–E1015. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0304.1>.
- JENNISKENS, P., ALBERS, J., TILLIER, C. E., EDGINGTON, S. F., LONGENBAUGH, R. S. et al., 2018. Detection of meteoroid impacts by the Geostationary Lightning Mapper on the GOES-16 satellite. *Meteoritics and Planetary Science*, roč. **53**, s. 2445–2469. DOI: <https://doi.org/10.1111/maps.13137>.
- NASA, 2017. Lightning Imaging Sensor (LIS) [online]. [cit. 18. 1. 2023]. Dostupné z WWW: https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/overview_lis_instrument.html.
- SCHMETZ, J., PILI, P., TJEMKES, S., JUST, D., KERKMANN, J. et al., 2002. An introduction to Meteosat Second Generation (MSG). *Bulletin of the American Meteorological Society*, roč. **83**, s. 977–992. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-83-7-Schmetz-2>.
- SETVÁK, M., HAMPL, P., HLAVATÝ, K., KYJOVSKÝ, Š., 1996. Systém příjmu, zpracování, distribuce a archivace dat z meteorologických družic v ČHMÚ. *Meteorologické zprávy*, roč. **49**, s. 174–181. ISSN 0026-1173.
- SETVÁK, M., 2004. MSG – Meteosat druhé generace. *Meteorologické zprávy*, roč. **57**, s. 15–20. ISSN 0026-1173.
- SETVÁK, M., 2022. Meteorologické polární družice série JPSS. *Meteorologické zprávy*, roč. **75**, s. 186–189. ISSN 0026-1173.
- YANG, J., ZHANG, Z., WEI, C., LU, F., GUO, Q., 2017. Introducing the new generation of Chinese geostationary weather satellites, Fengyun-4. *Bulletin of the American Meteorological Society*, roč. **98**, s. 1637–1658. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0065.1>.
- ZHANG, D., CUMMINS, K. L., 2020. Time Evolution of Satellite-Based Optical Properties in Lightning Flashes, and its Impact on GLM Flash Detection. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, roč. **125**. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD032024>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Petr Pešice, Ph.D., prof. RNDr. Jan Bednář, CSc.

Vyhodnocení radarových produktů pravděpodobnosti výskytu krup a jejich využití v ČHMÚ

Evaluation of radar products estimating probability of hail occurrence and their use in CHMI

Hana Kyznarová

Český hydrometeorologický ústav
radarové oddělení
Generála Šišky 1/942, 143 00 Praha 412-Kamýk
✉ hana.kyznarova@chmi.cz

Petr Novák

Český hydrometeorologický ústav
radarové oddělení
Generála Šišky 1/942, 143 00 Praha 412-Kamýk

Radar measurements are one of the key data sources for detection and nowcasting of convective storms and accompanying severe phenomena. Radar algorithm estimating probability of hail occurrence was first implemented in the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) in 2004. Development of new radar products estimating probability of severe hail occurrence and their visualization has taken place in the CHMI in recent years. This article describes evaluation of radar products which, combined with temperature sounding measurements, determine probability of hail occurrence and provide estimates of maximum hail size. These products are operationally produced in CHMI and visualized in a new JSMeteoView2 application which serves as the main tool for visualization of radar data and other remote sensing data in combination with detailed geographical layers. The article discusses performance of radar hail products tested on a large set of data and their operational usability when estimating hail presence.

KLÍČOVÁ SLOVA: radar meteorologický – produkt radarový – kroupy – verifikace – odhad pravděpodobnosti výskytu krup

KEYWORDS: meteorological radar – radar product – hail – verification – estimation of probability of hail occurrence

1. Úvod

Radarová měření jsou jedním z klíčových nástrojů pro detekci a nowcasting konvektivních bouří. V rámci výzkumných a vývojových aktivit radarového oddělení Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) došlo v posledních letech k rozvoji radarových produktů i k jejich následnému využití v nowcastingových a vizualizačních aplikacích. Mezi nejdůležitější no-

vinky patří provozní implementace nových radarových produktů pro odhad pravděpodobnosti výskytu nebezpečných krup a odhadu jejich maximální velikosti, dále rozvoj nowcastingové metody CELLTRACK a vývoj nové webové zobrazovací aplikace JSMeteoView2, do které byly jak nové radarové produkty, tak i výstupy z modernizované metody CELLTRACK, implementovány.

Přestože primárním radarovým produktem pro detekci a sledování konvektivních bouří je rozložení radarové odrazivosti (nejčastěji ve formě maximálních odrazivostí s bočními průměty, popř. rozložení odrazivosti v konstantních výškových hladinách PseudoCAPPI), existují i další velmi užitečné odvozené produkty. Mezi ně patří produkty pro odhad pravděpodobnosti výskytu krup (vzhledem k délce tohoto termínu jsou pro účely tohoto článku dále používány zkráceně produkty detekce krup nebo (pokud je kontext jasný) pouze produkty), popř. odhadu jejich maximální velikosti, které jsou obecně založeny na analýze vysoké radarové odrazivosti v hladinách nad nulovou izotermou. První produkt detekce krup POH (Probability of Hail) byl v ČHMÚ implementován v rámci interně vyvíjeného softwarového balíku RVD/RPD (Novák et al. 2007), pro uživatele byl operativně dostupný v interní síti ČHMÚ v rámci webové zobrazovací aplikace JSMeteoView od roku 2004. Od roku 2013 je pak tento produkt využíván ve výstražné aplikaci JSWarnView (Novák, Kyznarová 2013). Produkt POH je založen na Waldvogelově metodě a jak píše např. Witt (1998), jeho výstupem je vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu krup bez ohledu na jejich velikost, tedy není optimalizovaný pro vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu nebezpečných krup. V rámci rozvoje zpracování radarových dat tak byly v roce 2019 do operativního provozu implementovány další produkty POSH (Probability of Severe Hail) a MEHS (Maximum Estimated Hail Size), které se zaměřují na vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu nebezpečných krup a na odhad jejich maximálních očekávaných velikostí. Tyto produkty byly uživatelům zpřístupněny prostřednictvím nové webové zobrazovací aplikace JSMeteoView2. Po modernizaci české radarové sítě v roce 2015 (Novák, Kyznarová 2016) umožňují nové dopplerovské polarimetrické radary Vaisala WRM 200 provádět také klasifikaci detekovaných radarových cílů pomocí produktu HydroClass, kde jednou z vyhodnocovaných kategorií jsou i kroupy. Z něj vycházející produkt DPOLH není v současnosti využíván v operativním provozu, je však interně testován. POH, POSH, MEHS a DPOLH jsou podrobněji popsány v kapitole 2.

Při používání produktů detekce krup je limitujícím faktorem skutečnost, že jejich verifikace je s ohledem na velmi malý prostorový i časový rozsah kroupových událostí velmi obtížná.

Z těchto důvodů je k dispozici pouze omezené množství verifikačních studií, a navíc ne všechny jejich výsledky jsou přímo použitelné v podmínkách Česka pro potřeby předpovědní a výstražné služby. Využitelnost Waldvogelovy metody pro detekci krup byla prokázána například v práci Liškové (2006) pro území Slovenska, v práci Hollemana (2001) pro území Holandska nebo v práci Betscharta a Heringa (2012) pro území Švýcarska. Pro území Česka provedla vyhodnocení Skripniková (2013), Skripniková a Řezáčová (2014) nebo Skripniková et al. (2017), ta se však primárně zaměřila na modifikované algoritmy a její výsledky tak jsou pouze omezeně využitelné. Výše uvedené verifikační studie kromě práce Betscharta a Heringa (2012) provádí prostorové a časové přiřazení radarových produktů ke kroupovým událostem poměrně volně např. pomocí hodinových časových oken nebo i denních maxim a přiřazování hodnot jednotlivým kroupovým událostem z okolí o hraně i 10 km a více. Pro podporu širšího využívání radarových produktů detekce krup v předpovědní a výstražné službě ČHMÚ jsme se zaměřili na jejich verifikaci za použití co nejpřesnějšího prostorového a časového přiřazení k jednotlivým kroupovým událostem, k čemuž jsme využili záznamy o kroupových událostech z evropské databáze nebezpečných meteorologických jevů ESWD (European Severe Weather Database) a také měření na profesionálních stanicích v Česku získané z databáze ČHMÚ CLIDATA.

V následujících kapitolách budou stručně popsány jednotlivé produkty detekce krup, bude popsána metodika použitá pro jejich verifikaci a prezentovány její výsledky. Dále budou představeny vizualizace modernizované nowcastingové metody CELLTRACK a nová webová zobrazovací aplikace JSMeteoView2, ve kterých jsou produkty detekce krup využívány.

2. Radarové produkty pro odhad pravděpodobnosti výskytu krup

2.1 Popis jednotlivých produktů

Radarová data na území Česka jsou primárně získávána z měření radarů Brdy a Skalky české meteorologické radarové sítě CZRAD, provozované Českým hydrometeorologickým ústavem, které celé území Česka pokrývají (Novák, Kyznarová 2016). Mimo tato data jsou v ČHMÚ k dispozici i měření z radarů sousedních zemí, která zasahují na území Česka. Data z těchto radarů slouží k tvorbě rozšířené sloučené informace pokrývající větší území za hranicemi Česka než radary sítě CZRAD, ale jsou též využívána k doplňování standardní české sloučené informace v případě výpadku nebo servisní odstávky jednoho z radarů sítě CZRAD (Novák et al. 2012; Novák, Kyznarová 2016). Doplňování sloučené radarové informace se nicméně v současnosti provádí pouze pro základní produkty odrazivosti (maximální odrazivost a PseudoCAPPI 2 km), nikoliv pro produkty detekce krup, které popisujeme dále.

V operativním provozu sítě CZRAD jsou v prvním kroku z naměřených objemových radarových dat vytvářeny jednotlivé produkty zvlášť pro každý radar. Ty jsou následně spojovány do sloučené informace pokrývající celé území Česka a blízké okolí. U všech produktů detekce krup je v současnosti toto slučování prováděno tak, že v místech, kde jsou dostupné produkty z obou radarů, je do sloučené informace zařazena vyšší hodnota.

Následující odstavce stručně popisují produkty POH, POSH, DPOLH a MEHS.

Produkt POH (v minulosti v ČHMÚ též označován jako HAIL_PROB), vychází z tzv. Waldvogelova algoritmu (Waldvogel et al. 1979) upraveného dle Witta et al. (1998) v rámci jím popsaného algoritmu HDA (Hail Detection Algorithm), kdy pravděpodobnost výskytu krup je odvozena od maximální výšky výskytu radarové odrazivosti alespoň 45 dBZ nad nulovou izotermou. Výška nulové izotermy se v rámci operativního zpracování získává ze sondážních dat. Konkrétně pravděpodobnost výskytu krup 10 % získáváme při výskytu odrazivosti větší nebo rovné 45 dBZ alespoň 1,625 km nad nulovou izotermou, pravděpodobnost s výškou roste a 100 % dosahuje při výskytu odrazivosti větší nebo rovné 45 dBZ ve výšce 5,5 km nad nulovou izotermou. Waldvogelův algoritmus je zřejmě nejrozšířenější metodou pro vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu veškerých krup bez ohledu na jejich velikost (a tedy nebezpečnost). Menší rozdíly můžeme v některých případech nalézt u přepočtu výšky na pravděpodobnost krup např. v článku Hollemana (2001) nebo Betscharta a Heringa (2012). Tento algoritmus však již není nejvhodnější pro vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu velkých krup (s velikostí větší než cca 15–20 mm). Jednou z možných metod je použít obdobný algoritmus, avšak hledat maximální výšku výskytu vyšší hodnoty odrazivosti než 45 dBZ, což je jedna z metod testovaných v práci Skripnikové et al. (2017), kdy byla použita hodnota 54 dBZ. Jako vhodnější se nicméně jeví komplexnější algoritmy vyvinuté primárně pro detekci nebezpečných krup.

V ČHMÚ byly pro tento účel implementovány i další části algoritmu HDA vyvinutého v USA Wittem et al. (1998). V rámci nich je nejdříve počítán produkt SHI (Severe Hail Index), což je vertikálně integrovaná veličina, kdy mezi hladinou nulové izotermy a horní hranicí bouře je integrována teplotně vážená kinetická energie krup vyjádřená pomocí radarové odrazivosti. Z produktu SHI jsou následně vypočteny produkty POSH a MEHS. Stejně jako POH udává také POSH pravděpodobnost výskytu nebezpečných krup v procentech. MEHS udává odhad maximální velikosti krup v milimetrech. Detaily výpočtu produktů SHI, POSH i MEHS je možné nalézt v článku Witta et al. (1998).

Posledním produktem využívaným pro odhad pravděpodobnosti výskytu krup je polarimetrický produkt DPOLH vzniklý zpracováním výstupů z klasifikačního algoritmu HydroClass, které jsou součástí dat měřených současnými radary sítě CZRAD. Klasifikační algoritmus HydroClass vyvinula firma Vaisala (Vaisala Oy 2016), která vycházela z algoritmů již dříve vyvinutých v USA, založených na specifických hodnotách či průbězích jednotlivých polarimetrických radarových veličin pro jednotlivé typy hydrometeorů a nemeteorologické cíle. V algoritmu je využívána horizontální odrazivost ZH, rozdílová odrazivost ZDR, korelační koeficient ρ_{HV} , odchylka od klouzavého průměru ZH, odchylka od klouzavého průměru rozdílu fází horizontálního a vertikálního pulzu ϕ_{DP} , KDP a výška. Je definováno několik funkcí příslušnosti (anglicky membership functions) výše uvedených veličin. Jednotlivé typy radarových cílů jsou pak určeny na základě hodnot, kterých tyto funkce nabývají. Algoritmus HydroClass vychází zejména z prací Schuura et al. (2003), Liu a Chandrasekara (2000), Lima et al. (2005) a Ryzhkova a et al. (2005). V nastavení, které je používáno v ČHMÚ umožňuje algoritmus HydroClass rozlišit radarové cíle na následujících 6 typů s přiřazenými číselnými hodnotami v závorkách: nemeteorologické cíle (hodnota 1), déšť (2), mokrý sníh (3), sníh (4), krupky (5) a kroupy (6). Do produktu

DPOLH jsou dosazovány hodnoty HydroClass z nejnižší měřené hladiny PPI 0,1°.

Vzhledem ke způsobu slučování produktů z jednotlivých radarů pro produkt DPOLH platí, že pokud alespoň jeden z radarů vyhodnotí v daném místě kroupy, jsou ve výsledném sloučeném produktu pro dané místo uvedeny kroupy.

Výška nulové izotermy, případně dalších izoterem (izoterma -20 °C pro výpočet SHI, POSH, MEHS) je v praxi získávána z aerologických sondáží ze stanice Praha-Libuš z výstupu ve 12:00 UTC. Sondážní měření v 18:00 UTC ovšem není vždy prováděno, za nejbližší vhodný čas sondáže je proto považován použitý čas 12:00 UTC. Takto získané hodnoty jsou pouhou aproximací.

Při využívání radarových dat a odvozených produktů je třeba počítat s jejich nepřesnostmi a nejistotami. V úvahu je třeba brát neviditelnost spodních hladin atmosféry s rostoucí vzdáleností od radaru, což je důležité zejména pro produkt DPOLH. Ostatní produkty vyhodnocují odrazivost ve vyšších hladinách a zde je proto důležitější brát v úvahu omezení plynoucí z vertikálního rozlišení dat a velikosti objemu radarového pulzu v těchto vyšších hladinách. Omezený počet měřených vertikálních hladin v kombinaci rozšiřujícím se radarovým pulzem s rostoucí vzdáleností způsobují nepřesnosti určení výšky radarového echa. Rozšiřování radarového pulzu dále zvyšuje pravděpodobnost pouze částečného zaplnění radarového pulzu, a tedy podhodnocování maximálních hodnot odrazivosti vlivem průměrování odrazů z většího objemu. Možnými nejistotami a nepřesnostmi vertikálních profilů odrazivosti se zabývají např. Delobbe a Holleman (2006). Kvalitou radarových produktů včetně POH a POSH se zabývá studie Nováka a Kyznarové (2020).

2.2 Metodika vyhodnocení jednotlivých produktů

Radarová měření umožňují při znalosti výšky některých významných izoterem počítání odvozených radarových produktů, které souvisí s výskytem krup v konvektivních bouřích. Zmíněné radarové produkty většinou jsou odvozené od přítomnosti vysokých hodnot radarové odrazivosti v hladinách nad nulovou izotermou. To ve výsledku znamená, že kroupový potenciál je detekován v době, kdy kroupy ještě nepadají na povrch země, a v čase, kdy začínou padat na povrch země, může být již hodnota produktu nižší a daná konvektivní bouře se již většinou nachází na jiném místě než v čase dosažení jeho nejvyšších hodnot. Z těchto důvodů jsme se snažili zvolit vhodný způsob vyhodnocení produktů detekce krup tak, aby vyhodnocení poskytlo co nejužitečnější výsledky pro možnosti jejich použití v operativě. Databáze nebezpečných jevů ESWD použitá pro verifikaci obsahuje významné případy kroupových událostí, tj. byly zaznamenány kroupy o velikosti alespoň 2 cm, případně byla zaznamenána souvislá vrstva krup 2 cm a vyšší. Měření na profesionálních stanicích v Česku získané z databáze ČHMÚ CLIDATA pak obsahují záznamy výskytu krup bez ohledu na jejich velikost. Při zpracování dat z databáze CLIDATA jsme se zaměřili mimo jiné na méně častý způsob verifikace, který v podmínkách ČR chybí, a to chybné radarové detekce kroupových událostí, které ve skutečnosti nenastaly. To do jisté míry umožňují měření na profesionálních stanicích ČHMÚ s přítomností pozorovatele, kdy v případě, že není zaznamenán jev kroupy v přítomnosti pozorovatele, lze předpokládat, že skutečně nenastal.

Ze záznamů databáze ESWD byly vybrány pouze záznamy z území Česka s kontrolou kvality 1 (tzn. ověřená důvěryhod-

ným zdrojem) a vyšší. Z těchto záznamů byly použity zeměpisné souřadnice (šířka, délka) výskytu události, čas jejího výskytu, přesnost času výskytu a informace o maximální velikosti krup, pokud byla uvedena. Z databáze ČHMÚ CLIDATA byly získány záznamy z profesionálních synoptických stanic a pro jednotlivé kroupové události byly použity informace o zeměpisných souřadnicích dané stanice, časovém období události a dále údaj o velikosti krup, pokud byl dostupný.

Krupobití je v čase a prostoru velmi omezeným jevem, a tudíž veškeré časové a prostorové nepřesnosti či nejistoty mají větší vliv na vyhodnocení než v případě prostorové a časové rozsáhlejších jevů. Snažili jsme se proto použít co nejpřesnější způsob přiřazování vyhodnocovaných veličin a pozemních měření tak, abychom co nejvíce omezili nejistotu v jejich vzájemném porovnání, a tedy aby získané výsledky co nejvíce reflektovaly pouze nejistoty či nepřesnosti produktů detekce krup, nikoliv dodatečné nepřesnosti způsobené jejich přiřazením. Stručný přehled časového a prostorového rozsahu krupobití se nachází v práci Skripnikové (2013) nebo podrobně v článku Changnona (1970), který pojednává o prostorových a časových charakteristikách krupobití. Changnon uvádí, že 80 % zaznamenaných krupobití mělo rozlohu < 41 km² což odpovídá čtverci o straně 6,4 km, a tedy okolí 3,2 km. Medián rozlohy krupobití je 20,5 km² (čtverec se stranou 4,5 km). Podle Changnona byla průměrná vzdálenost mezi jednotlivými případy krupobití 24 km, což ale znamená, že mnoho případů má tuto vzájemnou vzdálenost menší. Proto, aby se zabránilo chybnému přiřazování událostí, je vhodné vyhodnocovat produkty detekce krup v oblastech výrazně menších než uvedená průměrná vzdálenost.

Changnon dále udává typický čas pádu krup z oblasti ve vyšších hladinách bouře, kde docházelo k jejich růstu, na zem na 5–10 minut. Toto hraje roli při gridovém vyhodnocení, kdy radarové produkty odhadu pravděpodobnosti krup nabývají maxima právě v době, kdy jsou kroupy v oblastech růstu ve vyšších hladinách atmosféry. Vzhledem k tomu je potřeba zahrnout do zpracování kroupové události i časy 5–10 min před zaznamenaným výskytem, kdy se ovšem konvektivní bouře s ohledem na svůj pohyb nachází na jiném místě, než je místo detekce krup.

Podle interních vyhodnocení v ČHMÚ týkajících se pohybu konvektivních jader určených algoritmem CELLTRACK (Kyznarová, Novák 2008; Kyznarová, Novák 2009), který identifikuje a sleduje jádra odrazivosti rovné a vyšší než 44 dBZ, má 90% kvantil velikosti vektorů rychlosti jader s dobou života delší než 60 minut hodnotu 81,6 km·h⁻¹, medián pak hodnotu 37,8 km·h⁻¹. To potvrzuje i článek Waplerové (2021), kde pro oblast Německa do limitu 80 km·h⁻¹ spadá cca 95 % identifikovaných bouří, do limitu 40 km·h⁻¹ spadá 40–50 % bouří v závislosti na jejich době života.

Pokud tedy zahrneme prostorový rozsah krupobití aproximovaný čtvercovým okolím velikosti 3 km, dobu pádu krup na zem a velikosti rychlostí konvektivních jader, vidíme, že v okamžiku, kdy kroupy začínají svůj pád z vyšších výškových hladin, může být konvektivní bouře mimo aproximovanou oblast krupobití. Za účelem zahrnutí pohybu konvektivních bouří bychom tedy museli čtyřnásobně zvětšit okolí zaznamenané kroupové události na 13,5 km (pro 90% kvantil rychlosti pohybu bouří). Zvětšení plochy okolí kroupové události by pak bylo šestnáctinásobné, což by již vneslo do vyhodnocení produktů detekce krup nezanedbatelné nepřesnosti. Z tohoto důvodu byl použit algoritmus COTREC (Novák et al. 2007) pro extrapolaci radarových produktů POH, POSH, MEHS, DPOLH

na 5 min a 10 min tak, aby se kompenzoval vliv pohybu konvektivních bouří. Vektorové pole rychlostí použité pro extrapolaci produktů detekce krup bylo získáno z dat maximální odrazivosti. Při použití algoritmu COTREC můžeme tedy zůstat u použití 3 km okolí detekovaných kroupových událostí a výše zmíněným nepřesnostem ve vyhodnocení se vyhnout. Přesto je nutné konstatovat, že není možné zvolit univerzálně vhodné okolí kroupové události pro porovnání pozemních dat s radarovými produkty.

Vyhodnocení gridových produktů detekce krup bylo provedeno tak, že pro jednotlivé zaznamenané události byla vybrána informace časově z doby trvání události a dále z doby 5 a 10 minut před počátkem události posunutá algoritmem COTREC, prostorově pak z čtvercového okolí ± 3 km kolem gridového bodu, do kterého spadala daná zaznamenaná událost.

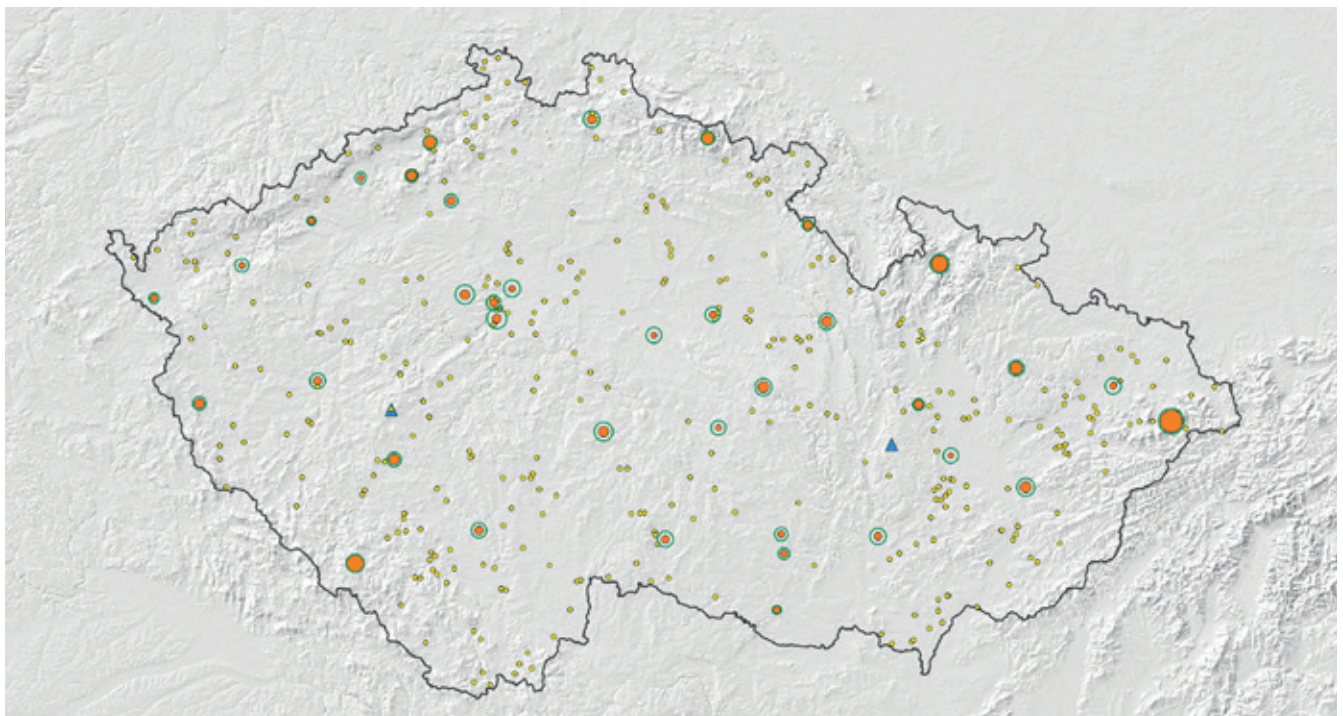
Aby bylo vyhodnocení jednotlivých produktů co nejucelenější, pokusili jsme se na datech z profesionálních stanic vyhodnotit také míru nadhodnocování výskytu krup. Vycházeli jsme z toho, že v době mezi 06:00–15:00 a 17:00–20:00 UTC je na profesionální stanici přítomna

obsluha, a tedy pokud nebyl v této době zaznamenán výskyt krup, předpokládáme, že žádné kroupy se nevyskytly. Po konzultaci s oddělením profesionální staniční sítě ČHMÚ byly zařazeny i termíny 15:00–17:00 UTC, kdy pozorovatelé mají přestávku v měření, nicméně obvykle jsou na stanici přítomni a významné jevy zaznamenávají. Pro vyhodnocení byly tedy vybrány události z časů 06:00–20:00 UTC. Aby nebylo nutné počítat vyhodnocované produkty pro celé níže definované jedenáctileté období, byly na základě staničních dat vybrány pouze ty termíny, kdy množství zaznamenaných srážek

Tab. 1 Počty případů kroupových událostí vybraných z databáze ESWD a z databáze CLIDATA. Sloupec CLIDATA (45 dBZ) udává podvýběr z případů CLIDATA, kde zároveň byla dosažena hodnota maximální radarové odrazivosti ≥ 45 dBZ. Další dva sloupce udávají počty případů, kdy byla zaznamenána velikost krup bez omezení a s omezením minimální dosažené odrazivosti hodnotou 45 dBZ. Poslední sloupec CLIDATA (45 dBZ) (bez krup) udává počty událostí na profesionálních stanicích v zadaném období, kdy 10 min sumy srážek odpovídaly radarové odrazivosti ≥ 45 dBZ a nebyly zaznamenány kroupy.

Table 1. Number of hail events processed from ESWD and CLIDATA databases. Column CLIDATA (45 dBZ) shows selection of CLIDATA events where maximum reflectivity reached values ≥ 45 dBZ, next two columns show events with recorded maximum hail size without a limit and with lower reflectivity limit of 45 dBZ. Last column CLIDATA (45 dBZ) (without hail) shows events on professional stations in investigated time period with 10 min precipitation sums corresponding to reflectivity ≥ 45 dBZ and with no recorded hail event.

	ESWD	CLIDATA	CLIDATA (45 dBZ)	CLIDATA (s velikostí krup)	CLIDATA (45 dBZ) (s velikostí krup)	CLIDATA (45 dBZ) (bez krup)
Vybrané případy celkem	370	434	354	257	217	949
Vybrané případy 2016–2021	282	224	188	131	103	502



Obr. 1 Případy kroupových událostí vybraných z databáze ESWD (žlutá) a z databáze CLIDATA (oranžová). Zelené kružnice znázorňují počet silných srážek na profesionálních stanicích v databázi CLIDATA s odpovídající odrazivostí ≥ 45 dBZ bez zaznamenaných krup. Velikost značek u databáze CLIDATA je úměrná počtu zaznamenaných událostí na dané profesionální stanici. Modré trojúhelníky znázorňují polohy radarů.

Fig. 1. Hail events selected from the ESWD database (yellow) and from the CLIDATA database (orange). Green circles show strong rain events on professional stations with corresponding reflectivity ≥ 45 dBZ and with no recorded hail events. Mark size for the CLIDATA database corresponds to the number of events observed at a given professional station. Blue triangles show CZRAD weather radar positions.

na profesionální stanici bylo ≥ 4 mm za 10 min (což odpovídá hodnotě radarové odrazivosti 45,09 dBZ, s ohledem na přesnost uložení radarových dat 0,5 dBZ tedy zaokrouhleně hodnotě 45 dBZ). Důvodem pro tento výběr je způsob výpočtu produktu POH, kde se berou v úvahu pouze hodnoty 45 dBZ a vyšší. Vzhledem k tomu, že vztah odrazivosti ke srážkám na zemi není přesný, je tento výběr orientační, nicméně pro naše účely ho shledáváme dostačujícím. Kromě těchto termínů byly do zpracování zahrnuty také termíny předcházející o 5 min a 10 min.

2.3 Vyhodnocení produktů

Vyhodnocení bylo provedeno na datech z databázi ESWD a CLIDATA z měsíců květen až září z let 2010–2014, 2016–2021, produkt DPOLH byl vyhodnocen jen na datech z let 2016–2021, kdy již byla dostupná polarimetrická radarová měření. Rok 2015 byl z vyhodnocení vynechán, neboť v tomto roce byly po řadě provedeny modernizace obou radarů Brdy a Skalky, a tedy v rozsáhlých časových úsecích nebyla síť CZRAD měřena radarová data v požadované kvalitě.

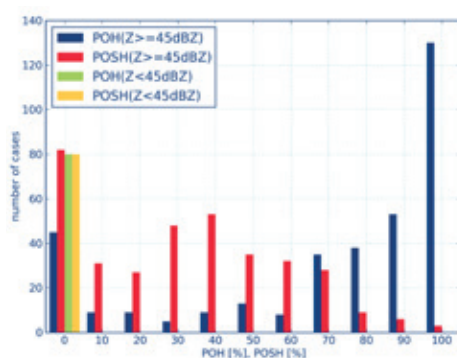
V tabulce 1 jsou uvedeny počty zpracovaných událostí z databáze ESWD a databáze CLIDATA, pro které byly vypočteny radarové produkty detekce krup. V případě ESWD se jedná o případy zaznamenané nad územím Česka. V případě databáze CLIDATA byly použity pouze záznamy z profesionálních stanic s přítomností pozorovatele. Obrázek 1 znázorňuje rozložení vyhodnocovaných případů z obou databází.

2.3.1 Kroupové události z databáze CLIDATA

Pro vyhodnocení produktů byly použity scatter ploty a rozložení četností, které jsou prezentovány v následujících odstavcích. Obrázek 2 znázorňuje rozložení četností pravděpodobnosti výskytu krup počítané pro produkty POH a POSH v případech zaznamenaných krup v databázi CLIDATA. Z grafu je patrný velmi vysoký počet POH a POSH rovných 0. Po prozkoumání maximálních odrazivostí dosažených v průběhu jednotlivých událostí jsme zjistili, že u 80 případů z celkového počtu 434 nebyl během celého průběhu události dosažen práh odrazivosti 45 dBZ. Vzhledem ke způsobu výpočtu POH na základě této hodnoty minimální odrazivosti je zřejmé, že hodnota POH je

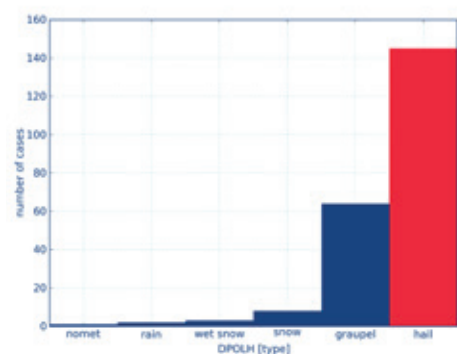
v těchto případech nulová. Při vyhodnocení produktu DPOLH jsme v obr. 3 zanesli do grafu rozložení četností podle šesti typů, kterých produkt DPOLH může nabývat. Vidíme, že ve většině případů výskytu krup nabývá hodnoty „kroupy“, případně „kroupy“. Ostatní typy hydrometeorů, případně typ „nemet“ byly produktem DPOLH identifikovány pouze okrajově.

Obrázek 4 znázorňuje rozložení četností produktů POH a POSH, ale tentokrát pro případy, kdy byly detekovány vysoké srážky, které odpovídaly radarové odrazivosti ≥ 45 dBZ, ale nebyl zaznamenán výskyt krup. Naprostá většina hodnot POH a POSH byla v těchto případech rovna nule. Z rozložení četností produktu DPOLH na obr. 5 vidíme, že převažují typy „sníh“ a „kroupy“, přestože se jedná o zpracování měsíců květen až září. Ukazuje se zde vliv nadmořské výšky na typ hydrometeorů a způsobu slučování produktu z jednotlivých



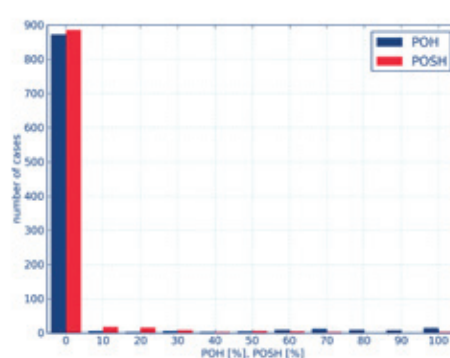
Obr. 2 Rozložení četností hodnot POH a POSH vypočítaných pro kroupové události zaznamenané na profesionálních stanicích v databázi CLIDATA. Žlutou a zelenou barvou jsou znázorněny počty případů, kdy odrazivost nedosáhla 45 dBZ.

Fig. 2. Frequency distribution of POH and POSH values for hail events on professional stations selected from the CLIDATA database. Yellow and green colours show events when radar reflectivity didn't reach minimum value of 45 dBZ.



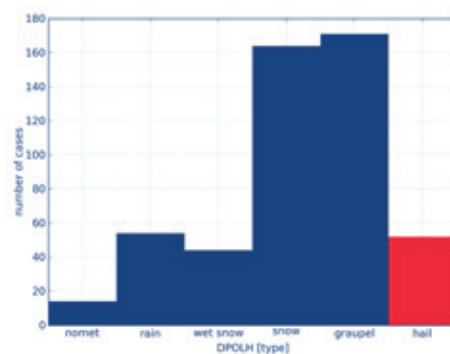
Obr. 3 Rozložení četností pro produkt DPOLH vypočítaných pro kroupové události na profesionálních stanicích zaznamenané v databázi CLIDATA.

Fig. 3. Frequency distribution of DPOLH product for hail events at professional stations selected from the CLIDATA database.



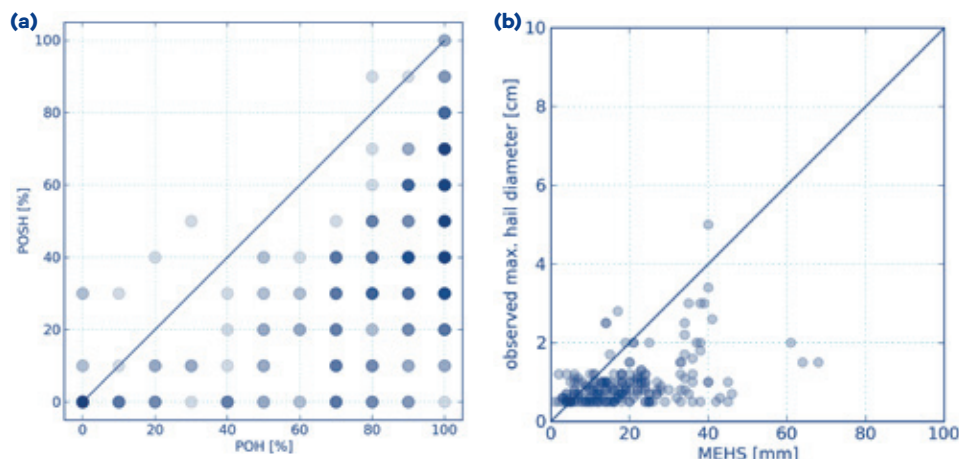
Obr. 4 Rozložení četností hodnot POH a POSH vypočítaných pro události na profesionálních stanicích se silnými srážkami odpovídajícími odrazivosti ≥ 45 dBZ bez výskytu krup zaznamenané v databázi CLIDATA.

Fig. 4. Frequency distribution of POH and POSH values for rain events without hail at professional stations selected from the CLIDATA database corresponding to reflectivity ≥ 45 dBZ.



Obr. 5 Rozložení četností kategorií DPOLH vypočítaných pro události na profesionálních stanicích se silnými srážkami odpovídajícími odrazivosti ≥ 45 dBZ bez výskytu krup zaznamenané v databázi CLIDATA.

Fig. 5. Frequency distribution of DPOLH category for rain events without hail at professional stations selected from the CLIDATA database corresponding to reflectivity ≥ 45 dBZ.



Obr. 6 (a) Scatter plot pro kroupové události na profesionálních stanicích zaznamenané v databázi CLIDATA pro produkty POH a POSH. (b) Scatter plot pro produkt MEHS a skutečně změřené maximální velikosti krup. Intenzita modré barvy ve scatter plotech odpovídá počtu případů.

Fig. 6. (a) Scatter plot of POH and POSH products for hail events selected from the CLIDATA database. (b) Scatter plot of MEHS product and measured maximum hail size. Intensity of blue colour in scatter plots corresponds to the number of events.

vých radarů. Jak je popsáno v kapitole 2.1, do slučovaného produktu je vybírán vždy typ hydrometeorů definovaný nejvyšší hodnotou v daném místě. Při slučování produktů z nejnižší PPI hladiny jednotlivých radarů mohou být vyšší hodnoty DPOL důsledkem větší vzdálenosti od radaru (a tedy větší nadmořské výšky PPI hladiny).

Obrázek 6(a) zobrazuje scatter plot hodnot POH a POSH. Vzhledem ke způsobu výpočtu by produkt POSH měl nabývat spíše nižších hodnot než POH. Ve shodě s očekáváním vidíme, že v naprosté většině případů je POSH nižší než POH. Obrázek 6(b) zobrazuje scatter plot hodnot produktu MEHS a skutečně měřených maximálních velikostí krup. Ze scatter plotu je patrné, že pro kroupové události zaznamenané v databázi CLIDATA produkt MEHS přeceňuje maximální velikosti krup.

V dalším kroku jsme provedli vyhodnocení pomocí veličin CSI (Critical Success Index), FAR (False Alarm Rate) a POD (Probability of Detection). CSI, FAR a POD jsou po řadě kategoričké míry celkové úspěšnosti předpovědi či odhadu výskytu jevu, míry chybně předpovězených výskytů jevu a pravděpodobnosti detekce výskytu jevu. Jsou vypočítány na základě tří kategorií odhadu výskytu a skutečného výskytu jevu. Kategorie YY znamená, že jev byl předpovězen a vyskytl se, kategorie NY značí jevy, které nebyly předpovězeny a vyskytly se, a kategorie YN značí jevy, které byly předpovězeny a nevyskytly se. Na základě výše uvedeného platí následující vzorce: $CSI = YY / (YY + NY + YN)$, $FAR = YN / (YN + YY)$, $POD = YY / (YY + NY)$ podrobněji popsane např. v článku Roebbera (2009). Pro výpočet CSI, FAR a POD bylo použito několik sad dat. Jednak se jednalo o všechny výskyty krup, dále všechny výskyty krup, kdy byla zároveň dosažena odrazivost 45 dBZ a více. Z této sady byly poté vybrány čtyři sady dat, kdy navíc byly změřeny maximální velikosti krup a dosahovaly hodnot ≥ 5 mm, ≥ 10 mm, ≥ 15 mm a ≥ 20 mm. Grafické znázornění hodnot CSI, FAR, POD pro uvedených šest sad dat je znázorněno na grafech (a)–(f) v obrázku 7. Obrázky 7(a) a (b) znázorňují CSI, FAR a POD pro kroupové události bez ohledu na velikost krup. Z grafů je patrné podhodnocování výskytu krup pro-

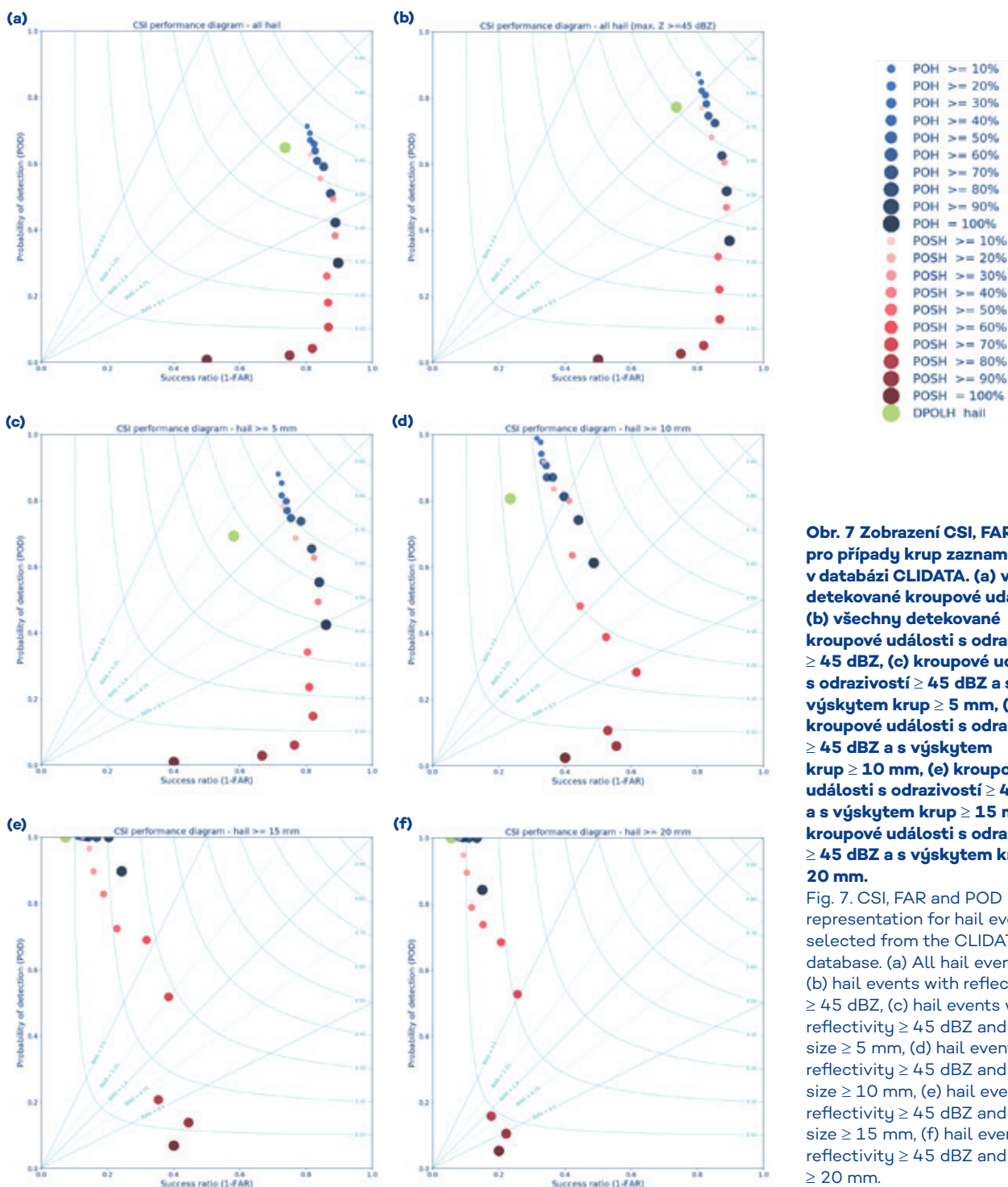
duktem POH dané nevhodností jeho použití pro odrazivosti do 45 dBZ. Pokud se omezíme na odrazivosti použitelné pro algoritmus POH, z grafu na obr. 7(b) je patrné, že nejlepších výsledků při odhadu výskytu krup bez ohledu na jejich velikost dosahuje produkt POH při pravděpodobnostech 30 %, příp. 40 %. Jak je vidět z tabulky 1, pouze u 217 případů z 354 se podařilo v záznamech databáze CLIDATA přiřadit kroupové události maximální velikost krup. Pokud tedy používáme sadu dat se zaznamenanou velikostí krup, má to následně vliv na vypočtené hodnoty CSI, FAR, POD. Hodnoty FAR jsou u všech zkoumaných produktů o cca 0,1 vyšší než u sady dat, která zahrnuje i případy bez zaznamenané maximální velikosti krup. Nelze tedy s hodnotami CSI, FAR a POD

pracovat jako s naprosto přesnými čísly. Protože považujeme toto zkreslení hodnot za akceptovatelné, využili jsme tuto omezenou sadu dat pro výpočet CSI, FAR a POD při výskytu krup o velikosti 5 (příp. 10, 15 a 20) mm a vyšší. Výsledky jsou graficky znázorněny na obr. 7(c)–(f). Z grafů je zřejmé, že se zvětšující se velikostí krup výrazně klesá CSI u všech sledovaných produktů. Je vidět, že hodnota pravděpodobnosti POH nelze použít jako indikátor výskytu velkých krup, neboť je výrazně vychýlena směrem k nadměrnému varování i v případech vysokých hodnot pravděpodobnosti POH. Stejně vychýlený je produkt DPOLH. Nejméně vychýlené výsledky dávají v závislosti na velikosti krup hodnoty pravděpodobnosti mezi 60 % a 80 % produktu POSH. CSI je však nízká a pro kroupové události s maximální velikostí krup 20 mm a vyšší je již velmi špatná (0,1). To je dáno obecně snižováním CSI s rostoucí extremitou událostí. Kroupových událostí s maximální velikostí krup 20 mm a vyšší bylo na profesionálních stanicích ve sledovaném období zaznamenáno celkem jedenáct.

DPOLH je vhodným indikátorem výskytu krup, pokud nebereme v úvahu jejich velikost. Z grafů na obr. 7(a) a (b) vidíme, že je velmi málo vychýlený, ale nedosahuje CSI produktu POH a stejně jako POH při odrazivostech pod 45 dBZ podhodnocuje výskyt krup.

2.3.2 Kroupové události z databáze ESWD

Vyhodnocení záznamů z databáze ESWD proběhlo na srovnatelném množství případů (tab. 1) jako v případě databáze CLIDATA, ale protože zde nemáme k dispozici informace o silných srážkách bez výskytu krup tak jako při zpracování dat z databáze CLIDATA, hodnocení pomocí CSI, FAR a POD jsme neprováděli. Stejně jako v případě databáze CLIDATA, také pro ESWD byly vytvořeny grafy rozložení četností veličin POH, POSH a DPOLH. Na obrázku 8 vidíme, že naprostá většina pravděpodobností POH dosahuje ve vyhodnocovaných případech hodnoty 100 %. Také rozložení četností POSH je posunuto k vyšším hodnotám oproti případům zaznamenaným v CLIDATA. Obrázek 9 znázorňuje rozložení

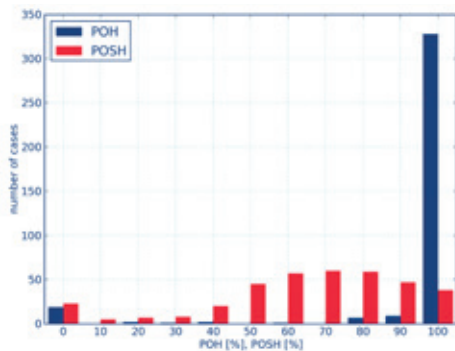


Obr. 7 Zobrazení CSI, FAR, POD pro případy krup zaznamenané v databázi CLIDATA. (a) všechny detekované kroupové události, (b) všechny detekované kroupové události s odrazivostí ≥ 45 dBZ, (c) kroupové události s odrazivostí ≥ 45 dBZ a s výskytem krup ≥ 5 mm, (d) kroupové události s odrazivostí ≥ 45 dBZ a s výskytem krup ≥ 10 mm, (e) kroupové události s odrazivostí ≥ 45 dBZ a s výskytem krup ≥ 15 mm, (f) kroupové události s odrazivostí ≥ 45 dBZ a s výskytem krup ≥ 20 mm.

Fig. 7. CSI, FAR and POD representation for hail events selected from the CLIDATA database. (a) All hail events, (b) hail events with reflectivity ≥ 45 dBZ, (c) hail events with reflectivity ≥ 45 dBZ and hail size ≥ 5 mm, (d) hail events with reflectivity ≥ 45 dBZ and hail size ≥ 10 mm, (e) hail events with reflectivity ≥ 45 dBZ and hail size ≥ 15 mm, (f) hail events with reflectivity ≥ 45 dBZ and hail size ≥ 20 mm.

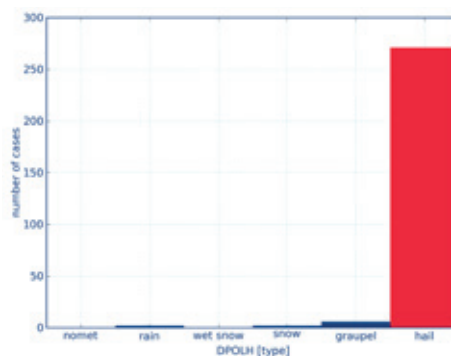
četností jednotlivých typů hydrometeorů produktu DPOLH. Naprostá většina odpovídá typu „hail“. Zpracování tedy potvrzuje, že oproti databázi CLIDATA tato databáze obsahuje ve vyhodnocovaných letech především významnější případy výskytu krup. Lze na to usuzovat z posunutí rozložení pravděpodobností detekce krup produktů POH a POSH směrem k vyšším hodnotám pravděpodobnosti, v případě DPOLH pak posunu v rozložení jednotlivých typů hydrometeorů. V případech, kdy byla zaznamenána maximální velikost krup (333 případů) byl vyhodnocen také produkt MEHS. Obrázek 10 znázorňuje scatter plot hodnot produktu MEHS a zaznamenaných skutečných maximálních velikostí krup. Z obrázku je patrné, že zaznamenané skutečné maximální

velikosti krup a velikosti odhadované produktem MEHS nejsou v příliš dobré shodě. Pokud vynecháme odlehle méně často se vyskytující hodnoty a zaměříme se pouze na častěji se vyskytující hodnoty (ve scatter plotu znázorněné temnější modrou), vidíme rozdíly ve skutečné a odhadované velikosti v řádu 1–2 cm. Nicméně při porovnání s hodnotami pro změřené maximální velikosti krup ≥ 20 mm z databáze CLIDATA ve scatter plotu obr. 6 (b), nejsou hodnoty MEHS v případě databáze ESWD tak viditelně vychýlené. Scatter plot potvrzuje, že v databázi ESWD jsou uloženy především případy výskytu velkých krup, neboť naprostá většina maximálních velikostí krup zaznamenaných pro jednotlivé případy dosahuje 2 cm a více.



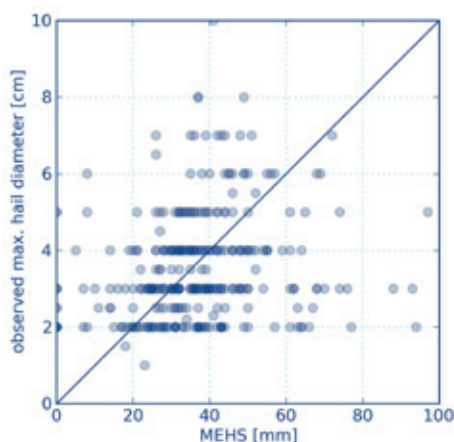
Obr. 8 Rozložení četností pro produkty POH a POSH vypočítaných pro kroupové události zaznamenané v databázi ESWD.

Fig. 8. Frequency distribution of POH and POSH products for hail events selected from the ESWD database.



Obr. 9 Rozložení četností pro produkt DPOLH vypočítaných pro kroupové události zaznamenané v databázi ESWD.

Fig. 9. Frequency distribution of DPOLH product for hail events selected from the ESWD database.



Obr. 10 Scatter plot veličiny MEHS vypočítané pro kroupové události zaznamenané v databázi ESWD a zaznamenaných skutečných maximálních velikostí krup pro dané události. Intenzita modré barvy odpovídá počtu případů spadajících do daných intervalů hodnot.

Fig. 10. Scatter plot of MEHS values and measured maximum hail size for hail events selected from the ESWD database. Intensity of blue colour corresponds to the number of events.

3. Operativní využití produktů detekce krup v ČHMÚ

V ČHMÚ je dlouhodobě hlavní interní aplikací pro zobrazení radarových dat webová aplikace JSMeteoView. Od roku 2004 je součástí této aplikace i zobrazování produktů detekce pravděpodobnosti výskytu krup POH. Aplikace byla průběžně vylepšována a rozšiřována. V souvislosti se snahou o zkvalitnění zobrazení konvektivních bouří a jejich vlastností bylo třeba aplikaci zásadně modernizovat a většina aplikace tak byla od základu přeprogramována. Nová, výrazně zkvalitněná aplikace, která dostala název JSMeteoView2, byla do operativního provozu uvedena v roce 2020. Radarové produkty jsou pro novou aplikaci generovány v prostorovém kroku $0,5 \times 0,5$ km oproti původním 1×1 km. Stejně tak jsou v podrobnějším rozlišení připraveny i geografické podkladové vrstvy. Data je tak možné zobrazit až do rozlišení $62,5 \times 62,5$ m na pixel. Dále došlo k navýšení počtu dostupných produktů, nejen radarových, ale i bleskových, družicových a pozemních pozorování. Z hlediska výskytu krup jsou kromě původně zobrazovaného produktu POH nově zobrazovány také produkty POSH a MEHS. Produkt DPOLH v současnosti není implementován, ale vzhledem k jeho výsledkům je jeho implementace zvažována. Místo samostatného zobrazování jednotlivých produktů detekce krup je zvažováno kombinované zobrazení produktů POH, POSH a DPOLH.

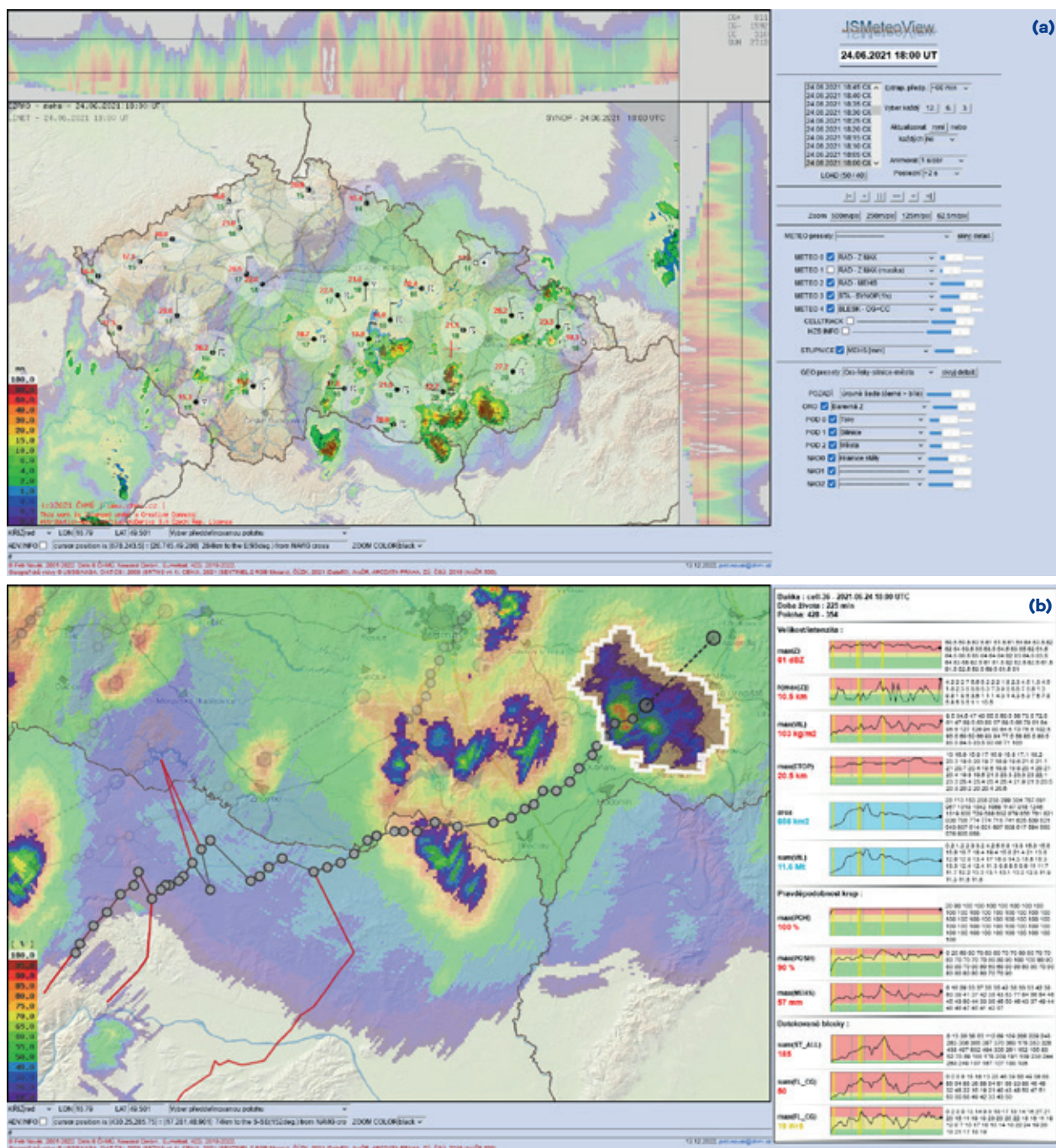
V aplikaci JSMeteoView2 je možné zobrazit najednou až 5 libovolných rastrových produktů a k tomu 2 vektorové vrstvy. První vektorovou vrstvou je výstup algoritmu CELLTRACK. Tato

vrstva umožňuje výrazně kvalitnější sledování parametrů jader vysoké odrazivosti v porovnání s původní aplikací JSMeteoView. Vrstva CELLTRACK je nově interaktivní a umožňuje zobrazení různých parametrů jader vysoké odrazivosti včetně kroupových a jejich vývoj v čase. Druhou vektorovou vrstvou je zobrazení jednotlivých výjezdů Hasičského záchranného sboru k událostem souvisejícím s počasím. Tato vrstva je velmi užitečná pro verifikaci předpovědi a výstrah. Ukázka nové aplikace JSMeteoView2 je na obr. 11(a)–(b). Obrázek 11(a) zobrazuje kombinaci různých meteorologických a geografických vrstev na přehledové sloučené informaci pokrývající celé Česko. Na obrázku 11(b) pak vidíme jinou kombinaci meteorologických vrstev zobrazenou na přibližné oblasti jižní Moravy a blízkého okolí. V pravé části obrázku 11(b) můžeme vidět seznam a průběh hodnot parametrů nebezpečné tornadické supercelární bouře ze dne 24. 6. 2021 na jižní Moravě. Z produktů zobrazujících pravděpodobnost výskytu krup jsou v současnosti operativně znázorňovány max(POH), max(POSH),

max(MEHS), které nabývají maxima příslušné veličiny (POH, POSH, MEHS) detekovaného v oblasti identifikovaného jádra vysoké odrazivosti. Maxima jednotlivých produktů detekce krup jsou znázorňována, protože tato část aplikace JSMeteoView2 má sloužit především pro vyhodnocení nebezpečnosti konvektivní bouře a jako jeden z podkladů pro případné vydání výstrahy. Na obrázku 11(b) max(MEHS) v 18:00 UTC pro supercelární bouři dosahuje hodnoty 57 mm s tím, že předchozích 60 minut se hodnoty max(MEHS) pohybovaly mezi 37 mm a 57 mm. V databázi ESWD jsou mezi 17:00 a 18:00 UTC v oblasti výskytu bouře zaznamenány výskyty krup o velikosti 7 cm (Hodonín), 8 cm (Mutěnice), 6 cm (Milotice), 4 cm (Vracov). To názorně ukazuje rozdíly mezi hodnotami MEHS a skutečnými velikostmi krup, jak byly diskutovány v kapitole 2.3.2.

4. Závěr

Vyhodnocení produktů pro odhad výskytu krup a jejich maximální velikosti založených na radarových a sondážních datech ukázalo, že tyto produkty jsou poměrně úspěšné při vyhodnocování přítomnosti krup, pokud vyhodnocujeme jejich přítomnost bez ohledu na velikost. Při vyhodnocování je třeba brát v úvahu, že produkt POH s ohledem na způsob výpočtu je pro odrazivosti nižší než 45 dBZ roven nule. Produkt POSH je sice počítán pro hodnoty od 40 dBZ, ale je určen pro odhad pravděpodobnosti výskytu velkých krup a je vychýlen směrem k podceňování výskytu krup více než POH (ve zpracovávaných událostech nebyl nalezen případ, kdy by POSH bylo nenulové při výskytu oblačnosti s odrazivostí nedosahující 45 dBZ). Při vyhodnocování možností výskytu krup je proto vhodné kromě



Obr. 11 Ukázká výstupu aplikace JSMeteoView2 pro překrás 24. 6. 2021 18:00 UTC. (a) Přehledová informace zobrazující na pozadí poloprůhledně data maximální odrazivosti, a přes ně překreslené pole MEHS, staniční pozorování a data z detekce blesků. (b) Detailní informace v oblasti jižní Moravy a blízkého okolí zobrazuje na pozadí poloprůhledně pole maximálních odrazivosti, přes ně překreslené pole POSH a výstup metody CELLTRACK (bílé obrysy identifikovaného jádra odrazivosti, černé a tmavě červeně jeho trajektorie, vpravo pak grafický a tabelární výpis jeho parametrů).

Fig. 11. Example of JSMeteoView2 output for 24 June 2021 18:00 UTC. (a) Overview showing maximum reflectivity (semitransparent background layer) with overlay MEHS layer representing station observations and lightning detection data. (b) Detailed information over area of Southern Moravia and close vicinity showing maximum reflectivity (semitransparent background layer), with overlaying POSH field and CELLTRACK output (white contour showing identified reflectivity core, black and red lines showing its trajectory, graphs and tables on the right side show related parameters).

produktů POH a POSH sledovat i další produkty radarové odrazivosti (např. data maximálních odrazivosti) a počítat s tím, že se mohou krupy vyskytnout i u slabších bouří, i když půjde s největší pravděpodobností o malé ne příliš nebezpečné krupy.

V případech výskytu krup souvisejících s bouřemi s odrazivostmi 45 dBZ a vyššími dosahují dobrých výsledků produkty

POH a DPOLH, pokud nezohledňujeme velikost krup. Jako nejvhodnější se ukazuje produkt POH při pravděpodobnostech 30–40 %, který dosahuje nejlepšího CSI a není vychýlený. Maximální hodnoty CSI pro produkt POH dosahují 0,7, což se poměrně dobře shoduje s prací Betscharta a Heringa (2012), kde CSI produktu POH počítaného v rámci MeteoSwiss dosahuje hodnoty 0,78.

Pokud se zaměříme na výskyt krup podle velikosti (a zejména na velké nebezpečné kroupy), úspěšnost produktů POH, POSH i DPOLH klesá s rostoucím průměrem krup. Produkty POH a DPOLH jsou velmi vychýlené směrem k nadhodnocování. Pro odhad výskytu velkých krup dosahuje relativně nejlepších výsledků ze zkoumaných produktů produkt POSH při pravděpodobnostech 60–80 %, což odpovídá tomu, že produkt POSH byl vyvinut právě pro detekci velkých nebezpečných krup.

Odhad velikosti krup není příliš spolehlivý. U produktu MEHS se vyskytuje nadhodnocování velkých krup nad 20 mm v porovnání se skutečností podle databáze CLIDATA, přičemž podle databáze ESWD je odhad velikosti krup sice nespolehlivý, ale nejví se na první pohled vychýlený. Tento rozdíl může být důsledkem toho, že v databázi ESWD jsou obsaženy informace o událostech poté, co byla prozkoumána zasažená oblast. V případě databáze CLIDATA jsou zapisovány velikosti krup změřené pouze přímo na stanici. Snáze může nastat situace, kdy největší kroupy při dané kroupové události nespádnou přímo na stanici, a nejsou proto změřeny.

Další vývoj by se mohl týkat produktu DPOLH, který v současnosti není implementován mezi zobrazovanými parametry konvektivních buněk v aplikaci JSMeteoView2. Na základě výše uvedeného je jeho implementace v budoucnu zvažována jakožto alternativa ke stávajícím produktům POH a POSH. Mohlo by být vhodné v budoucnu provést také slučování tohoto produktu z jednotlivých radarů nikoliv podle nejvyšší dosažené hodnoty v daném místě, ale podle toho, která hladina PPI je v daném místě blíže k povrchu. Nicméně vzhledem k tomu, že při odhadech výskytu krup bez zohlednění jejich velikosti je DPOLH nevychýlený, případně mírně vychýlený směrem k podhodnocování výskytu krup, není jisté, že by zmíněný způsob slučování vedl k lepším výsledkům.

Do budoucna by mohlo být zajímavé provést porovnání radarových produktů pro výpočet pravděpodobnosti krup založených na vstupu teplotních dat z meteorologických sondáží s produkty založenými na vstupu dat z numerického předpovědního modelu. S ohledem na větší uživatelskou přívětivost zvažujeme také implementaci kombinovaného zobrazování uvedených produktů v aplikaci JSMeteoView2.

Literatura:

- BETSCHART, M., HERING, A., 2012. Automatic Hail Detection at MeteoSwiss: Verification of the radar-based hail detection algorithms POH, MESHS and HAIL. *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, č. 238, 59 s. Dostupné také z WWW: <https://www.meteoswiss.admin.ch/dam/jcr:ebc4a5-8913-4f41-bd41-22c54596afbc/ab238.pdf>.
- DELOBBE, L., HOLLEMAN, I., 2006. Uncertainties in radar echo top heights used for hail detection. *Meteorological Applications*, Vol. 13, s. 361–374. ISSN 1350-4827.
- HOLLEMAN, I., 2001. Hail detection using single-polarization radar. Scientific report WR-2001-01, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, The Netherlands, 74 s. Dostupné také z WWW: <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmiplibWR/WR2001-01.pdf>.
- CHANGNON, S.A. jr., 1970. Hailstreaks. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 27, č. 1, s. 109–125.
- KYZNAROVÁ, H., NOVÁK, P., 2008. Využití radarových měření pro identifikaci a předpověď pohybu konvektivních bouří. *Meteorologické zprávy*, roč. 61, č. 1, s. 14–19. ISSN 0026-1173.
- KYZNAROVÁ, H., NOVÁK, P., 2009. CELLTRACK – Convective cell tracking algorithm and its use for deriving lifecycle characteristics. *Atmospheric Research*, Vol. 93, s. 317–327.
- LIM, S., CHANDRASEKAR, V., BRINGI, V. N., 2005. Hydrometeor Classification System Using Dual Polarization Radar Measurements: Model Improvements and In Situ Verification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 43, č. 4, s. 792–801.
- LÍŠKOVÁ, M., 2006. Možnosti detekcie krúp pomocou odvodených veličín z meteorologického radiolokátora. Diplomová práce, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Bratislava.
- LIU, H., CHANDRASEKAR, V., 2000. Classification of Hydrometeors Based on Polarimetric Radar Measurements: Development of Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Systems, and In Situ Verification. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 17, č. 2, s. 140–164.
- NOVÁK, P., FROLÍK, P., BŘEZKOVÁ, L., KYZNAROVÁ, H., 2007. Nowcasting srážek pomocí extrapolace radarového echa. *Meteorologické zprávy*, roč. 60, č. 5, s. 147–151. ISSN 0026-1173.
- NOVÁK, P., FROLÍK, P., BŘEZKOVÁ, L., KYZNAROVÁ, H., 2012. Utilization of Exchange of Weather Radar Data in the Czech Hydro-meteorological Institute [online]. [cit. 7. 2. 2023]. ERAD 2012 – The Seventh European Conference On Radar In Meteorology And Hydrology, NET 278 Extended Abstract. Dostupné z WWW: http://www.meteo.fr/cic/meetings/2012/ERAD/extended_abs/NET_278_ext_abs.pdf.
- NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2013. Využití radarových měření pro kvantitativní odhady a nowcasting srážek v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické zprávy*, roč. 66, č. 6, s. 175–181. ISSN 0026-1173.
- NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2016. Obnova meteorologické radarové sítě CZRAD v roce 2015. *Meteorologické zprávy*, roč. 69, č. 1, s. 17–24. ISSN 0026-1173.
- NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2020. Dlouhodobé charakteristiky konvektivních bouří z pohledu radarových dat a dat detekce blesků. *Meteorologické zprávy*, roč. 73, č. 3, s. 65–77. ISSN 0026-1173.
- ROEBBER, P. J., 2009. Visualizing multiple measures of forecast quality. *Weather and Forecasting*, Vol. 24, č. 2, s. 601–608.
- RYZHKOV, A. V., SCHUUR, T. J., BURGESS, D. W., HEINSELMAN, P. L., GIANGRANDE, S.E., ZRNIČ, D. S., 2005. The Joint Polarization Experiment: Polarimetric Rainfall Measurements and Hydrometeor Classification. *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 86, s. 809–824.
- SCHUUR, T., RYZHKOV, A., HEINSELMAN, P., 2003. Observations and Classification of Echoes with the Polarimetric WSR-88D radar, NOAA, University of Oklahoma, Norman, OK, USA.
- SKRIPNIKOVÁ, K., 2013. Detekce krup pomocí dat z meteorologických radarů. Disertační práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.
- SKRIPNIKOVÁ, K., ŘEZÁČOVÁ, D., 2014. Radar-based hail detection. *Atmospheric Research*, Vol. 144, s. 175–185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.06.002>.
- SKRIPNIKOVÁ, K., ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2017. Krupobití v Česku podle radarových informací. *Meteorologické zprávy*, roč. 70, č. 2, s. 33–38.
- VAISALA OY., 2016. Manuál: User Guide: Dual Polarization IRIS and RDA.
- WALDVOGEL, A., FEDERER, B., GRIMM, P., 1979. Criteria for the Detection of Hail Cells. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 18, s. 1521–1525.
- WAPLER, K., 2021. Mesocyclonic and non-mesocyclonic convective storms in Germany: Storm characteristics and life-cycle. *Atmospheric Research*, Vol. 248, 105186.
- WITT, A., EILTS, M. D., STUMPF, G. J., JOHNSON, J. T., DEWAYNE MITCHEL, E., THOMAS, K.V., 1998. An Enhanced Hail Detection Algorithm for the WSR-88D. *Weather and Forecasting*, Vol. 13, s. 286–303.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Petr Zacharov, Ph.D., RNDr. Jan Sulan

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 červené skřítci – 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 mimnesotské přerii 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 skřítci),
- 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):

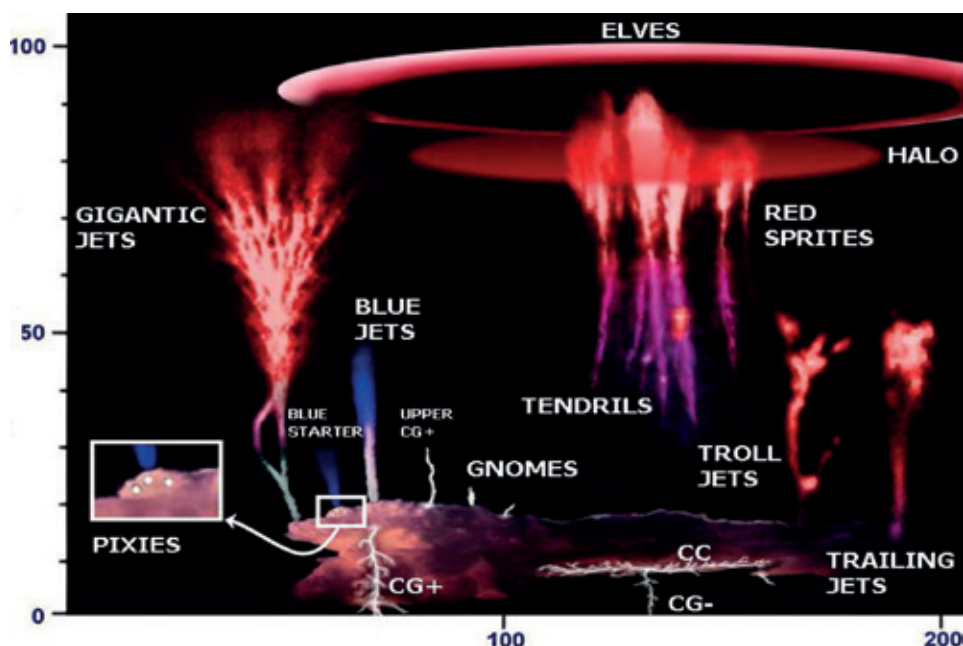
- Gigantic jets (obří výtrysk),
- Blue jets (modrý výtrysk),
- Blue starter (modrý startovač),
- Trailing jets (koncový výtrysk),
- Gnomes (trpaslík),
- Pixies (malý trpaslík).

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.

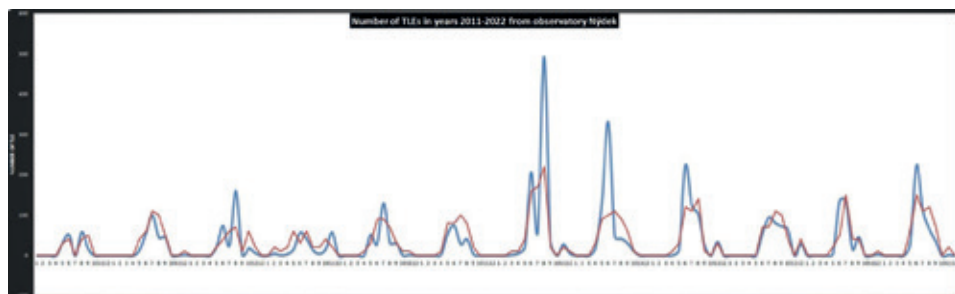
3. Co je elf a jeho odrůda tygří elf?

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 mezospféře a jsou relativně méně vzácné (červení skřítci, 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).

Elfové se na spodní hranici ionosféry objeví jako světelný 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 světelný 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.

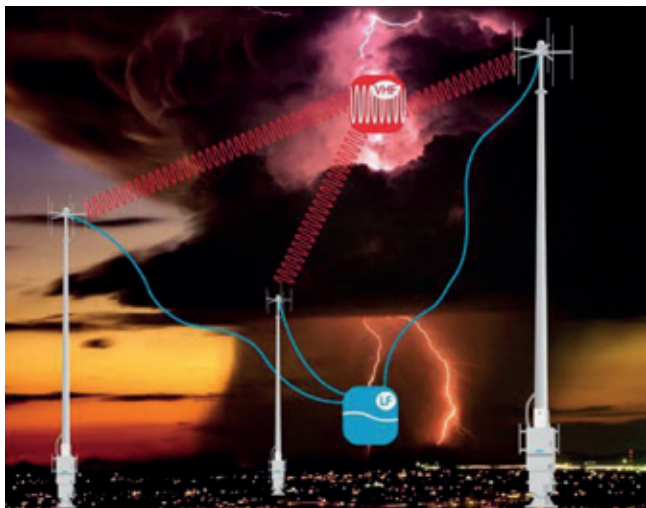
Objev pruhovaného elfa nepřišel jako úplné překvapení. Harvey Rowland a jeho kolegové z Naval Research Laboratory, předpověděli jejich existenci před téměř dvěma desítkami let (Rowland a kol. 1996). V té době bylo známo, že se v atmosféře někdy vytváří gravitační vlny, kde se střídají prstence o různé 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. 5 Kamera Watec 910HX s objektivem Computar 4,5–12,5/1,2 a GPS video vkladáč časů TIM-10.

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



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

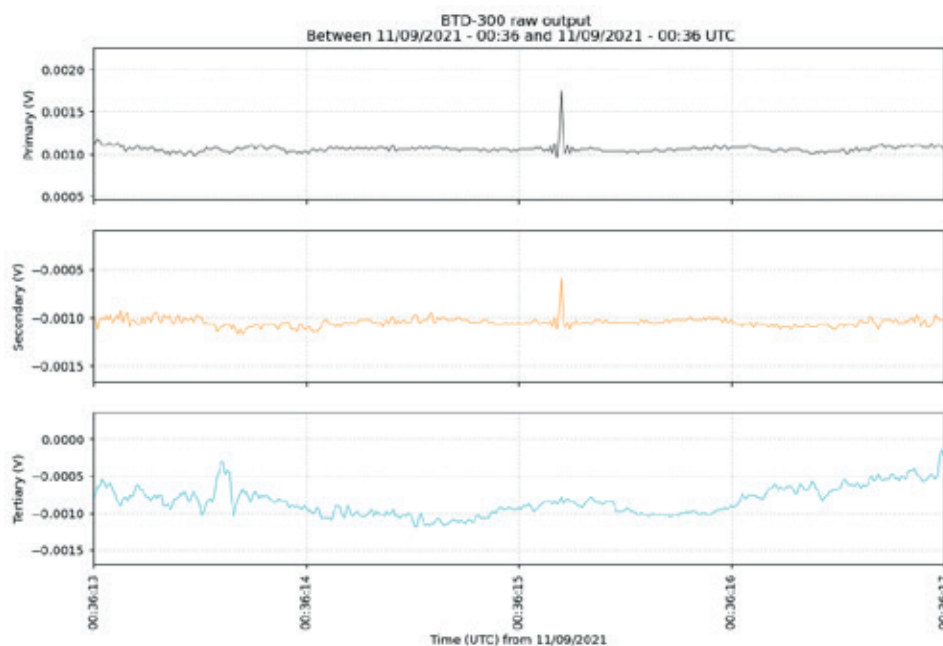
Místo pozorování TLE se nachází v obci Nýdek (49,7° N, 18,8° W) ve vzdálenosti 706–413 km od zdrojových bouřek, které vytvořily tygří elfy, jež byly zařazeny do této publikace. Video z několika totožných analogových kamer Watec 910HX od stejnojmenné firmy (obr. 5), bylo zaznamenáno v detekčním programu 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 trochu 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.

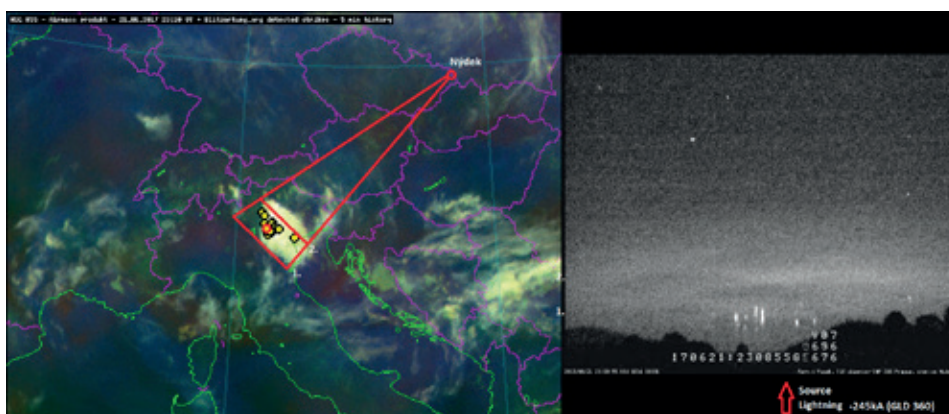
6. Detekce kvazistatické změny proudu

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 m², 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

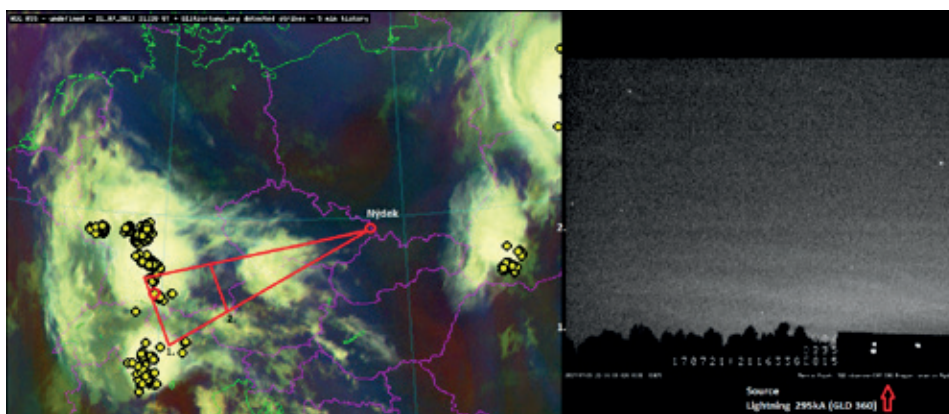
Od roku 2017 bylo pozorováno 12 případů tygřích elfů. Na první pohled ovšem tyto úkazy často vypadají jako obyčejná troposférická oblačnost, nasvícená buď samotným bleskem, nebo pozemními světelnými zdroji (světelným smogem). Tak se zde nabízí otázka, jak správně identifikovat tygří elfy:

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>.

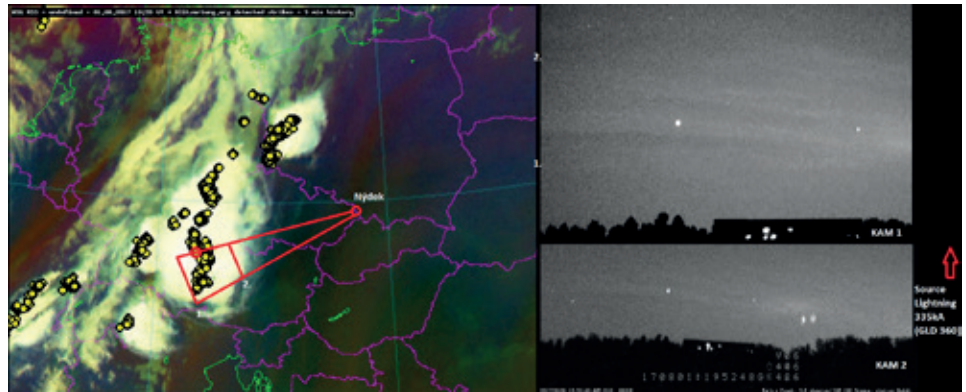
hodnota špičkového proudu elfů pozorovaných nad Evropským kontinentem se pohybuje mezi 200–250 kA (van der Velde a kol. 2011). V závislosti na podmínkách to může být i méně s teoretickou hranicí kolem 90 kA. Takové hodnoty špičkového proudu zdrojových blesků nebo jim blízké se mohou objevovat u tygřích 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 zachycený 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).

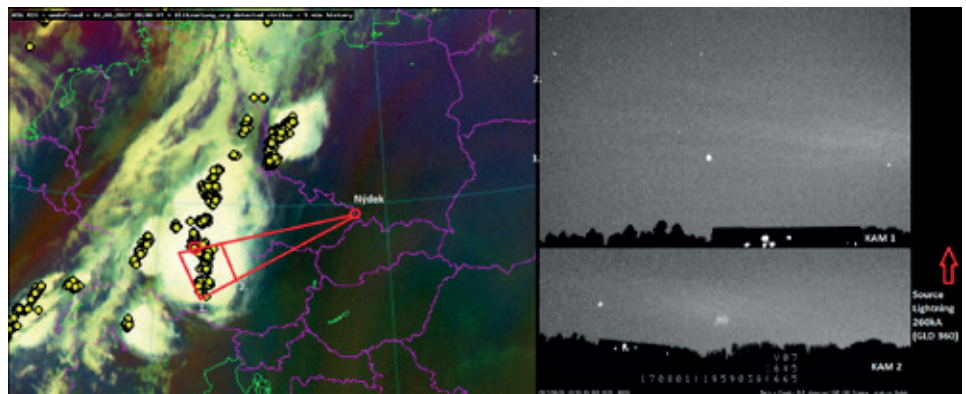
7.1 Tygří elfové nad severní Itálií 21. června 2017 (obr. 8)

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 kA¹,



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>.



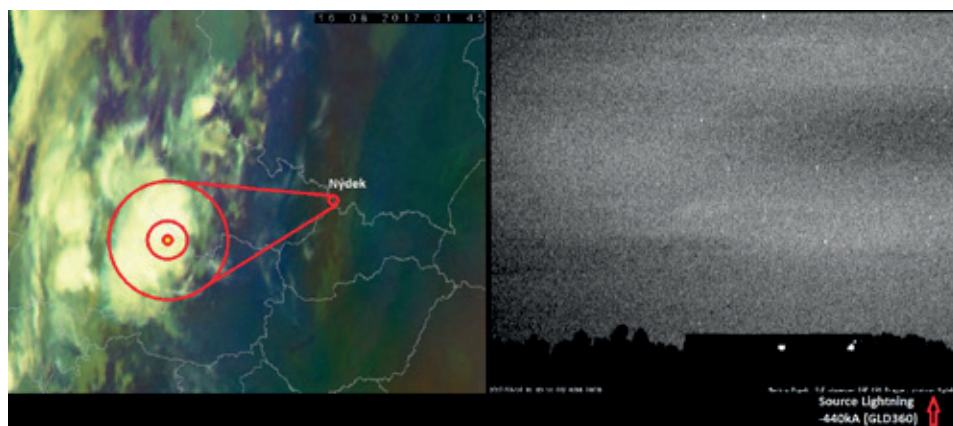
Obr. 11 Tygří elf 1. srpna 2017, 19:59 UT (kapitola 7.3). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/manage/videos/713724363>.

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.

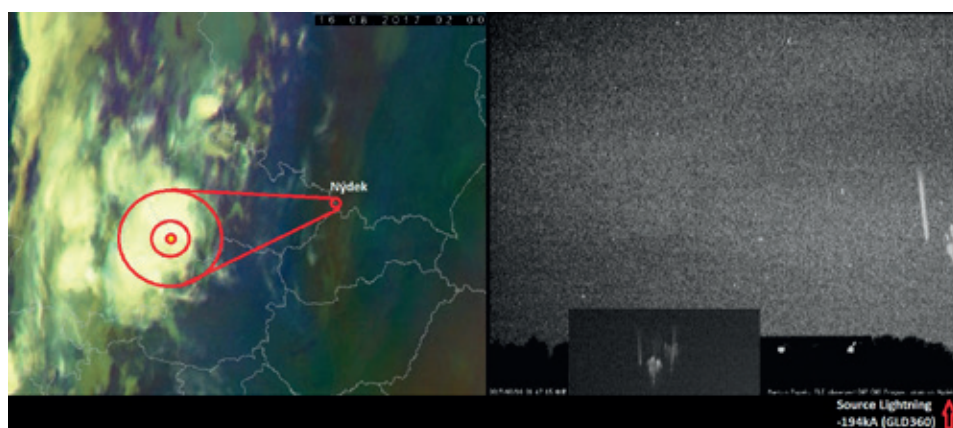
Úkaz byl zachycený na dvou kamerách s objektivy 12 a 25 mm a zorným polem 12×7° a 37×23°. Pro analýzu byly použité soubory zachycené kamerou s 25mm objektivem. Jen u elfa s dírou byly analyzovány soubory z 12mm objektivu, a to z důvodu celkového pohledu na velikost úkazu. Na snímcích elfů zachycených 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.

¹ 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>.

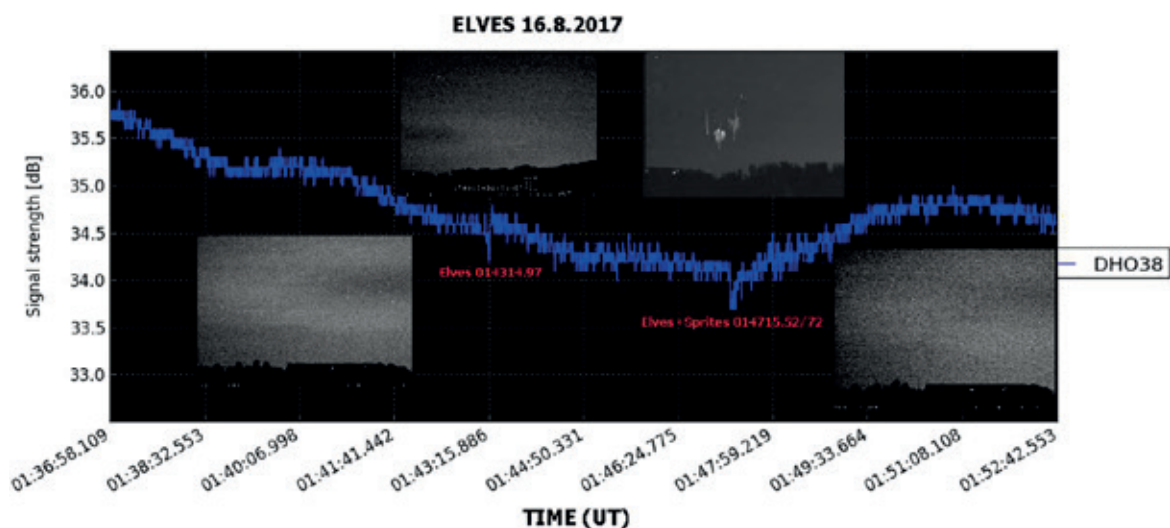
Fig. 13. Tiger elf on 16 August 2017, 01:47 UT (Chapter 7.4). The video link: <https://vimeo.com/manage/videos/713734922>.

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 pozorované 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)

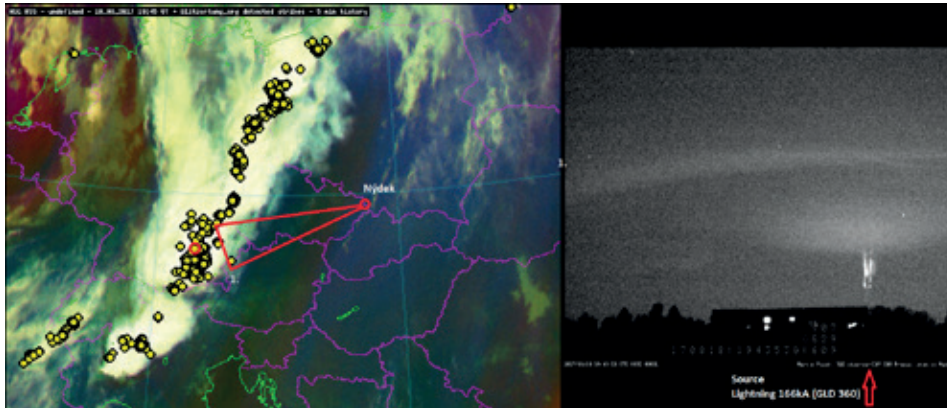
Dvojice zajímavých tygřích elfů doplněných TLE typu halo a skřítků z aktivní MCC (Mesoscale convective complex) bouře nad JZ Německem (vzdá-



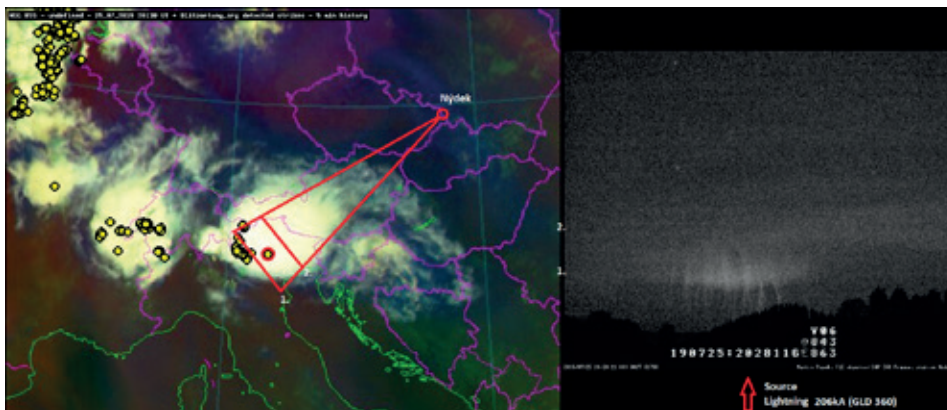
Obr. 14 Záznam ionosférických poruch vyvolaných elfy (16. srpna 2017) zaznamenaný úzkopásmovým přijímačem Slovenské organizace pro vesmírné aktivity (SOSA) v Bojnicih, Slovensko (48,8° N, 18,6° E). Na záznamu nízkofrekvenčního signálu vysílače DHO38, který je ve vlastnictví německého námořnictva a slouží 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.

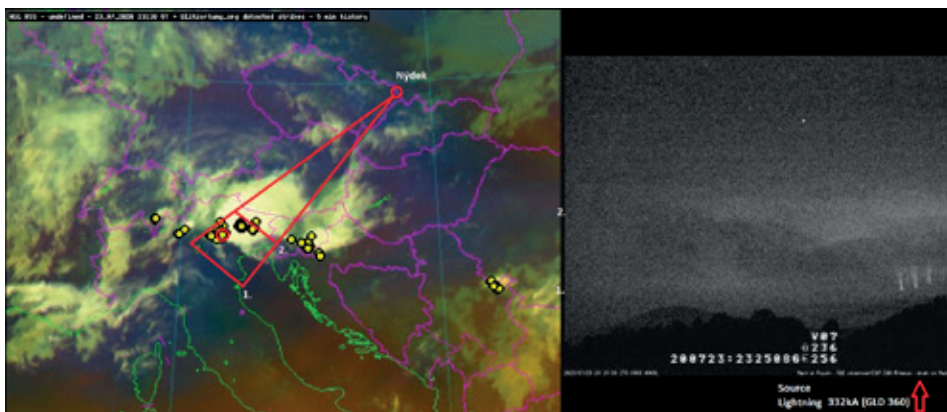
lenost 520 a 530 km). MCC bouře s gradací aktivity v nočních hodinách vytvořila velké množství TLE. Za 99 minut aktivity vytvořila 58 TLE (46 skřítků, 9 hal, 3 elfy a 1 trolla). Zdrojové blesky měly hodnoty špičkových proudů typických až nadprůměrných pro vytvoření elfů (+335 a +260 kA). Kvazistatická 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).



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>.

7.4 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.

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.

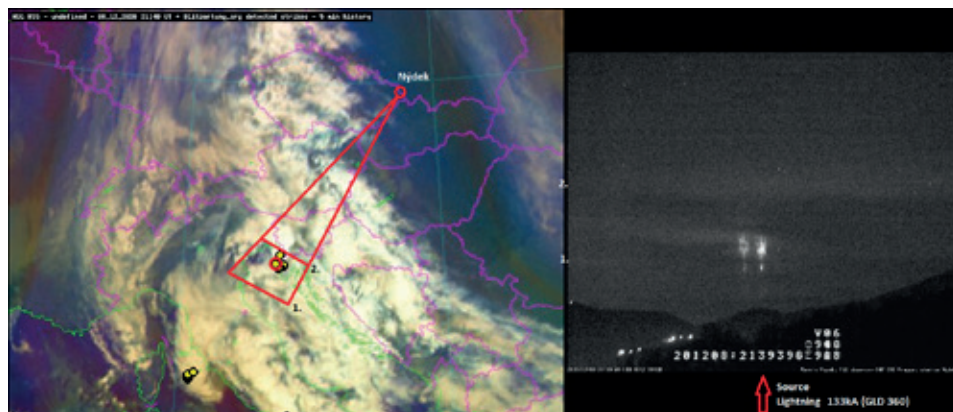
7.7 Tygří elf nad severní Itálií 23. července 2020 (obr. 17)

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.

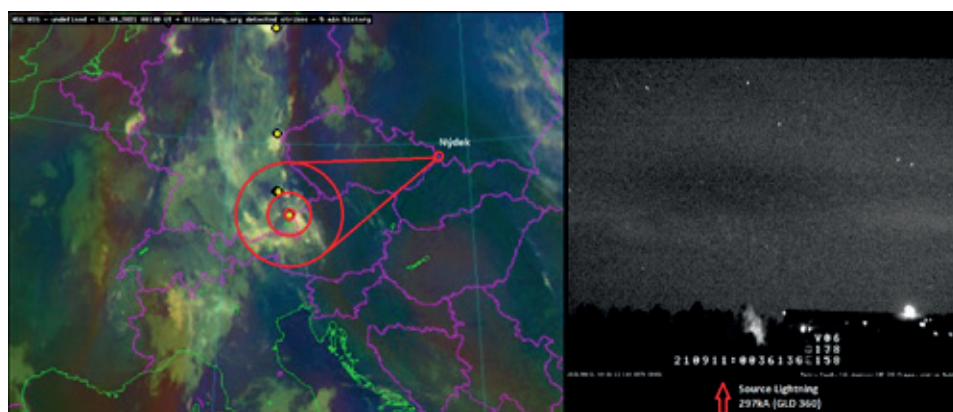
7.8 Tygří elf nad severním Chorvatskem 8. prosince 2020 (obr. 18)

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.



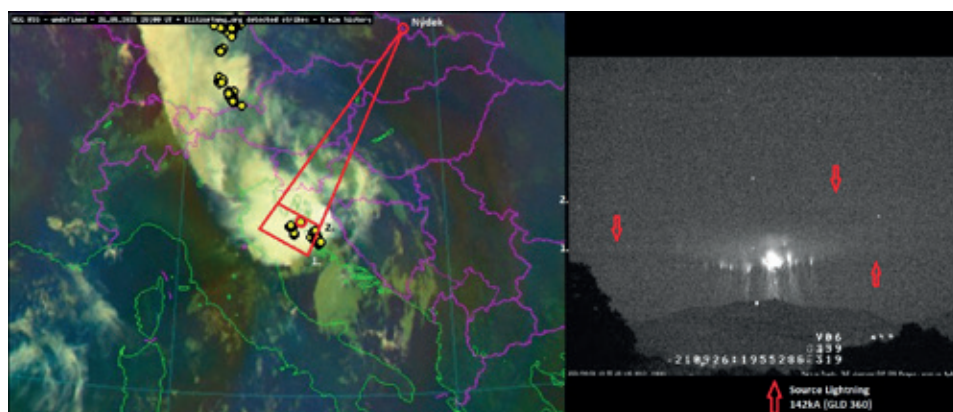
Obr. 18 Tygří elf nad severním Chorvatskem 8. prosince 2020 (kapitola 7.8). Odkaz na video je: <https://vimeo.com/488972523>.

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



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>.



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>.

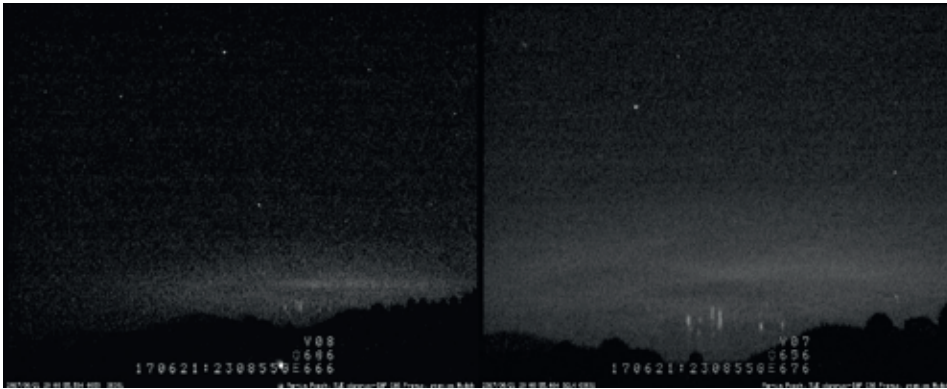
7.9 Tygří elf nad JZ Německem 11. září 2021 (obr. 19)

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 BTB Portishead.

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

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 $37 \times 23^\circ$ (obráz. 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.
- BEDNÁŘ, J., SETVÁK, M., 2015. Přirozený svět 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.
- 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.
- 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_thunderstorm_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.

STANOVISKO RECENZENTŮ

Komentář recenzentů k článku Martina Popka: Pozorování nadoblačných blesků typu tygří elfové z observatoře Nýdek

V Meteorologických zprávách nebývá častým zvykem, aby recenzenti reagovali na přijatý článek dodatečnými poznámkami, nicméně zde to považujeme za vhodné. Hned na úvod chceme ale zdůraznit, že článek i přes níže uvedené připomínky považujeme za velmi přínosný a zajímavý a že naše komentáře se týkají pouze argumentů a podkladů použitých autorem ve prospěch klasifikace zdokumentovaných případů coby „tygří“ elfů.

Úvodem kapitoly 7 autor diskutuje problematiku záměny výskytu elfa a nasvícené vysoké troposférické oblačnosti. Nezmiňuje ale alternativní interpretaci tmavých pruhů táhnoucích se přes elfy (na základě nichž klasifikuje tyto případy jakožto „tygří“ elfy) možným výskytem troposférické oblačnosti mezi samotným elfem a místem pozorování, která by již nebyla nasvícena vzdálenými blesky a mohla by se tak jevit jako tmavé pruhy či šmouhy, táhnoucí se přes elfa. Tato interpretace se vysloveně nabízí u obr. 9, 10, 13/14, 18, 19 a 21. Ze snímků družic MSG je v těchto případech zcela zřejmý výskyt různé vysoké oblačnosti mezi lokalitou výskytu elfa

a místem pozorování, tudíž je zde reálná možnost zakrytí, či zeslabení části elfa touto bližší oblačností. Zde je trochu škoda, že autor nepoužil raději snímky v nočním nebo 24hodinovém mikrofyzikálním RGB produktu, ze kterých je výskyt oblačnosti a její klasifikace výrazně exaktnější než v použitých snímcích „airmass RGB“ produktu. Zmírnění jistých pochybností by rovněž mohlo pomoci, kdyby např. autor do snímků elfů vyznačil výšku bližší oblačnosti nad obzorem snímku – pak by bylo zřejmé, jestli se tato bližší oblačnost může promítat na zachyceného elfa či nikoliv. Orientační stanovení výšky oblačnosti je přitom poměrně snadnou záležitostí, ať již na základě družicových snímků z MSG, či měření ALC profilů (Automated Lidars and Ceilometers, <https://ceilometer.e-profile.eu/profileview>). Rovněž by asi stálo za zvážení uvést i barevně zvýrazněné tepelné snímky (IR10.8-BT), ze kterých by byla zřejmá teplotní struktura horní hranice oblačnosti bouře, a tedy i její klasifikace.

Poslední připomínka se týká bodu 4 úvodu kapitoly 7. Autor zde má na mysli (byť to exaktně neuvádí) detekci bouřemi generovaných gravitačních vln, zviditelněných prostřednictvím zvlněného nočního airglow, pozorovatelných např. přístrojem VIIRS v kanálu DNB. Otázkou pak ale je, zda se samotný „tygří“ elf nemůže jevit zdánlivě rozvlněným pouze díky projekci na rozvlněné pozadí airglow...

Martin Setvák a Jan Bednář, 14. 3. 2023

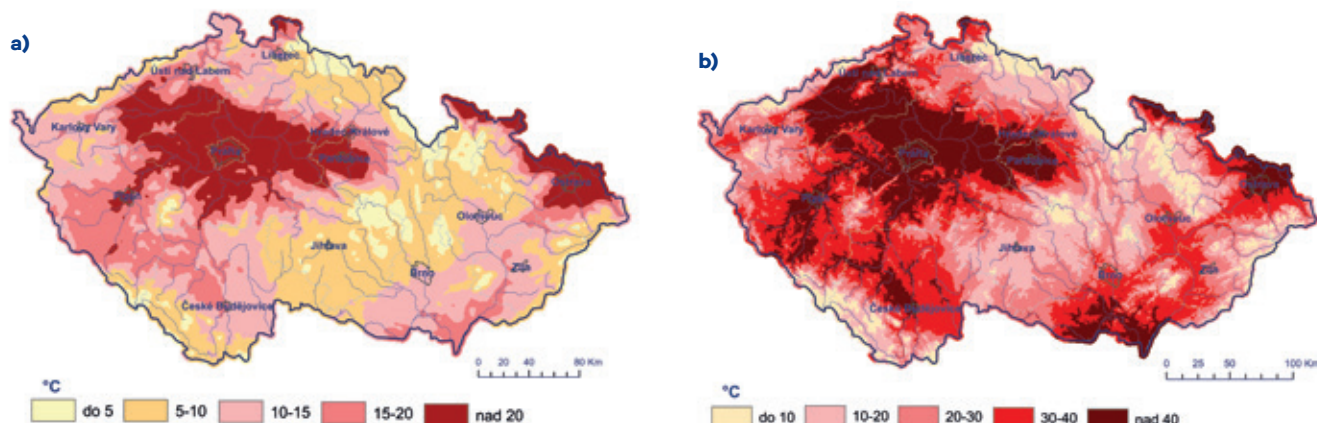
POČASÍ A ROSTLINY

Fenologický vývoj na území ČR v lednu a únoru 2023

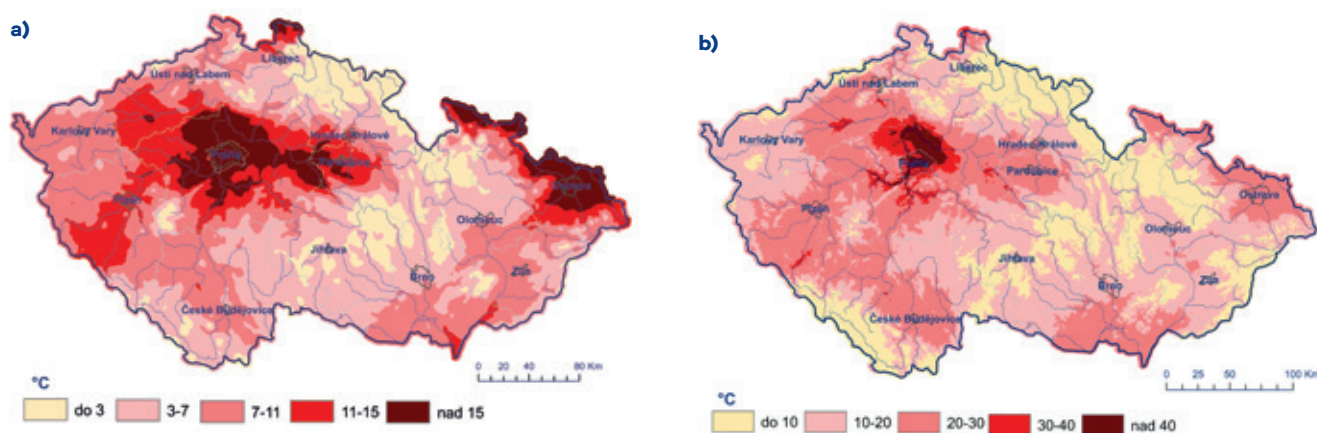
Stejně jako v předešlých letech, tak i v roce 2023 Vás budeme pravidelně informovat o stavu počasí a rostlin v České republici-

ce z hlediska vývoje efektivní teploty vzduchu nad 5 °C, teploty půdy v hloubce 10 cm, kumulativního úhrnu srážek a fenologického vývoje rostlin. V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. ledna do 28. února 2023. Při hodnocení vybraných charakteristik je používán normál 1991–2020.

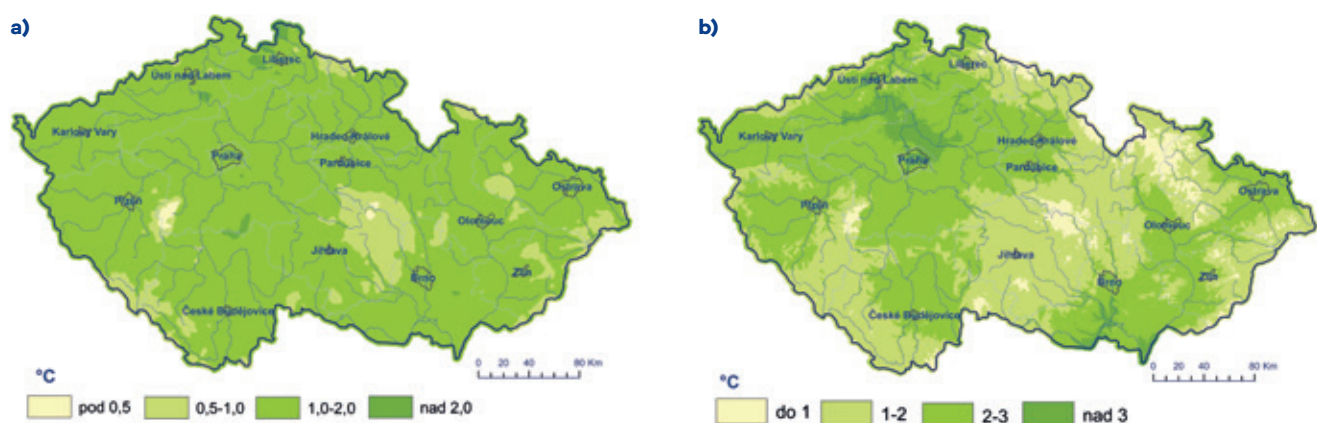
Celkovou sumu efektivních teplot nad 5 °C od 1. 1. 2023 do 31. 1. 2023 a 28. 2. 2023 a její srovnání s normálem 1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty



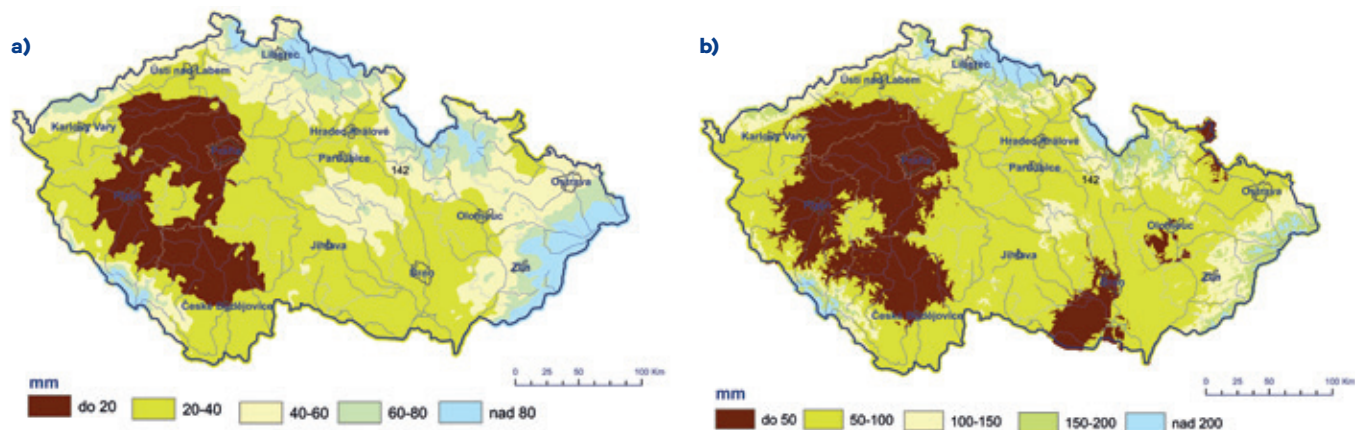
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2023 do 31. 1. 2023 (a) a do 28. 2. 2023 (b).



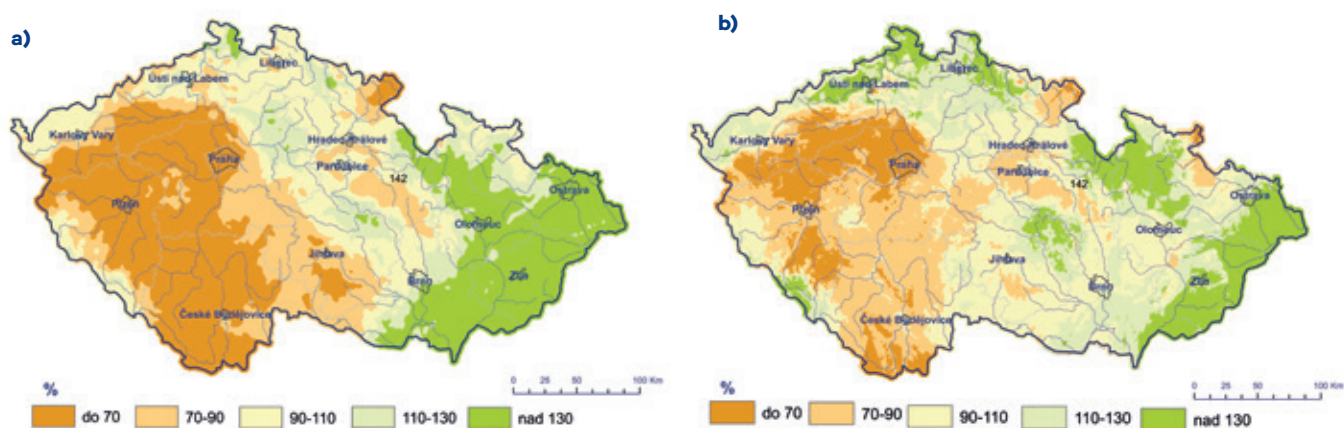
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2023 do 31. 1. 2023 (a) a do 28. 2. 2023 (b).



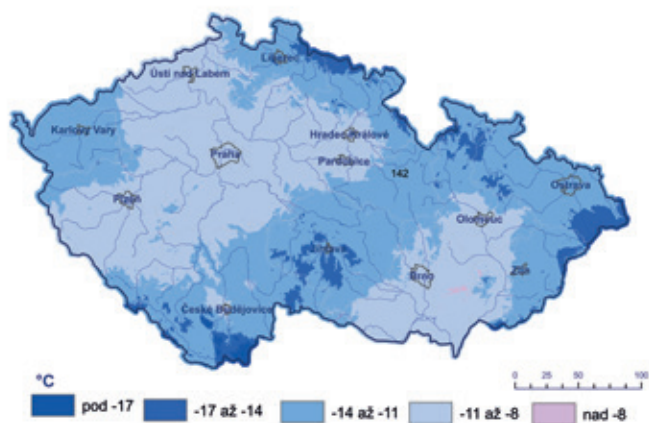
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 1. 2023 (a) a 28. 2. 2023 (b).



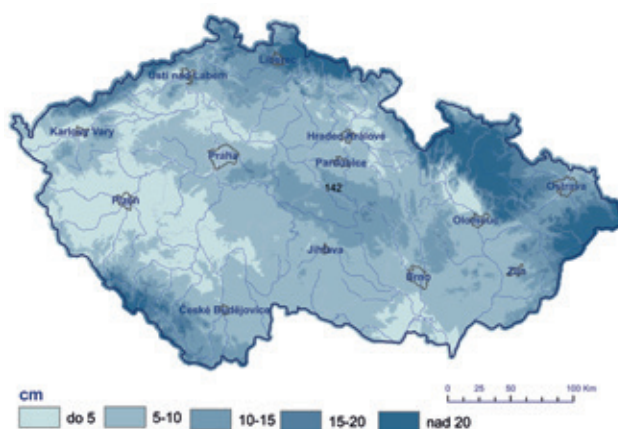
Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 1. 2023 (a) a 28. 2. 2023 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 1. 2023 (a) a 28. 2. 2023 (b).



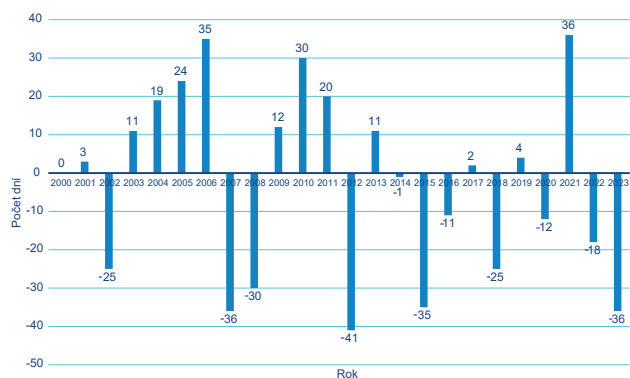
Obr. 6 Minimální teplota vzduchu 7. 2. 2023 [°C].



Obr. 7 Celková výška sněhové pokrývky 23. 1. 2023 [cm].

sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v lednu v rozmezí od 5 do 20 °C, v únoru od 10 do 40 °C (v obou měsících to bylo o pár stupňů více než v roce 2022). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v Polabí, v severozápadních Čechách, a na jižní a severní Moravě. Odchytky od normálu 1991–2020 byly v obou měsících na celém území kladné.

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 29. 1. 2023 a 28. 2. 2023 je uvedena v obrázku 3. V lednu i v únoru se průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm pohybovala v rozmezí 0,5 až 3 °C. Při srovnání s rokem 2022 byly hodnoty obdobné.



Obr. 8 Počátek kvetení lísky obecné na stanici Doksany (odchylky od dlouhodobého průměru 2000–2020).

Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2023 do 31. 1. 2023 a 28. 2. 2023 a procentické vyjádření normálu 1991–2020 jsou vykresleny na obrázcích 4 a 5. Nejnížší kumulativní úhrn srážek byl zaznamenán ve středních, západních, severozápadních a jižních Čechách, a v únoru i na jižní Moravě a Olomoucku. Ve srovnání s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině na území Čech pouze 70 až 90 % normálu, na Moravě byla situace lepší (110 až 130 % normálu).

Ve srovnání s předchozí zimou 2021/2022 byl letošní průběh zimy 2022/2023 teplejší. Mrazy kulminovaly v polovině února, např. 7. února 2023 byla na mnoha lokalitách minimální teplota vzduchu nižší než -10 až -15 °C (obr. 6). Sníh začal padat až ve druhé polovině ledna, celková výška sněhové pokrývky 23. ledna 2023 byla na většině území 5 až 15 cm (obr. 7). Průměrná měsíční teplota vzduchu byla na území ČR v únoru nižší než v lednu (Tavg ČR leden 2023 = $2,0$ °C; Tavg ČR únor 2023 = $0,5$ °C). V roce 2022 byla situace přesně opačná (Tavg ČR leden 2022 = $0,6$ °C; Tavg ČR únor 2022 = $2,8$ °C).

Rostliny byly v lednu a únoru v období vegetačního klidu. Pouze líska obecná (významný pylový alergen) začala na ně-



Obr. 9 Zapadané květy sněženky podsněžník v Českém Středoohoří. Foto: Lenka Hájková

kterých lokalitách kvést již v polovině ledna, a zahájila tak pylovou sezónu. Na obrázku 8 jsou uvedeny odchylky počátku kvetení lísky obecné od dlouhodobého průměru 2000–2020 na stanici Doksany v Polabské nížině (155 m n. m.). V porovnání s dlouhodobým průměrem zde líska rozkvetla s 36denním předstihem (13. ledna), ale plné kvetení nastalo až 15. února (vzhledem k ochlazení na přelomu ledna února se kvetení zpomalilo). Ve vývoji vegetace se odráží extremita počasí, výrazné kolísání teploty vzduchu. Pozorujeme i výrazný rozdíl ve vývoji vegetace ve větších městech, kde nástup fenologických fází ovlivňuje tepelný ostrov města (zástavba) a fenologické fáze zde nastávají dříve.

První poslové jara – sněženky podsněžník (*Galanthus nivalis*) – začaly kvést kolem poloviny února a na mnoha lokalitách byly jejich květy zapadány sněhem (obr. 9).

A další informace o vývoji vegetace a počasí v roce 2023 Vám přineseme v následujícím čísle.

Lenka Hájková

INFORMACE – RECENZE

Cena Nikolaje Dotzeka 2023 pro Martina Setváka

Martin Setvák z ČHMÚ obdržel jedno z nejvyšších světových ocenění v oblasti meteorologie konvektivních bouří – prestižní cenu ESSL Nikolaje Dotzeka.

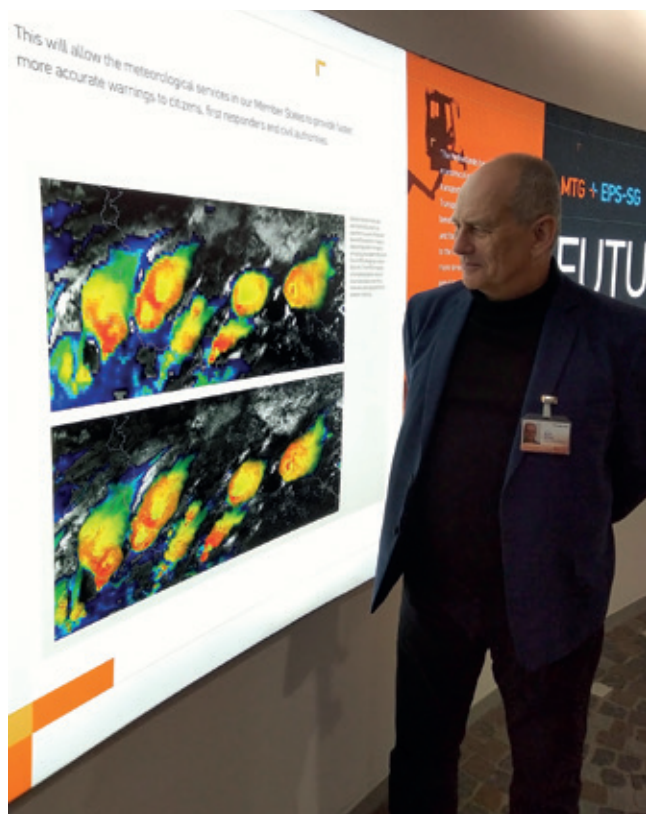
Cenu Nikolaje Dotzeka získali v letošním roce tři družicové meteorologové – Pao Wang, Kristopher Bedka a z ČHMÚ Martin Setvák. Toto prestižní ocenění se uděluje každý druhý rok na památku zakladatele ESSL, Dr. Nikolaje Dotzeka, za mimořádný přínos v oblasti výzkumu a monitorování silných bouří a jejich projevů, nebo za dlouhodobé zásluhy v této oblasti.

Dr. Martin Setvák na konci 80. let popsal různé formy zvýšené odrazivosti 3,7 mikronu v horních vrstvách oblaků konvektivních bouří a diskutoval o její možné souvislosti s intenzitou bouře a silou vzestupného proudu. Později tento koncept roz-

pracoval spolu s Dr. Charlesem A. Doswellem. Společně s Dr. Vincenzem Levizannim formuloval Dr. Setvák koncept cirrů nad kovadinami konvektivních bouří podle satelitních snímků. Přispěl také ke kategorizaci různých bouřkových jevů, jako jsou studené prstence, přičemž na těchto tématech úzce spolupracoval s prof. Pao K. Wangem. Dr. Setvák je otcem takzvaného „sendvičového“ zobrazování družicových snímků, což je kombinace infračervených a viditelných kanálů, která je nyní široce používána po celém světě. Martin Setvák formálně odešel do důchodu, ale stále pracuje na částečný úvazek v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ).

Původní ocenění iniciovala European Severe Storms Laboratory (ESSL) v roce 2011. Předání trofeje obvykle korunuje společnou večeří v rámci konference ECSS a letos se uskuteční v rumunské Bukurešti 10. května.

ESSL si klade za cíl přispět k připravenosti evropské společnosti na dopady silných bouří podporou vědeckého poznání, bu-



Dr. Martin Setvák. Zdroj: ESSL.

dováním lidských kapacit a rozšiřováním spolupráce v rámci Evropy v této oblasti. Poskytuje školení pro prognostiky, vědce a tvůrce politik na témata související s konvektivním počasím. Také se účastní výzkumných projektů a organizuje Evropskou konferenci o silných bouřích s cílem zlepšit a stimulovat výměnu znalostí o silné konvekci. ESSL si klade za cíl navázat a udržovat úzké vztahy s národními meteorologickými službami a výzkumnými ústavy za účelem posílení celoevropské spolupráce. ESSL spravuje Evropskou databázi nebezpečných meteorologických jevů (ESWD), aby podpořila výzkum založený na pozorování význačného konvektivního počasí nebo jakýchkoliv souvisejících dopadů

Hana Stehlíková, Radek Tomáš

XXVI. Stretnutie snehárov

Ve dnech 14. až 16. března 2023 se u Zuberce v Západních Tatrách (v areálu UNIZA – univerzitním středisku Žilinské univerzity v Žilině) konal mezinárodní seminář XXVI. Stretnutie snehárov. Jedná se o již tradiční každoroční akci, kde se setkávají odborníci z řad hydrologů, meteorologů, akademických pracovníků nebo vysokoškolských studentů, ale i třeba členů Horské služby, většinou z České a Slovenské republiky, a kterou letos organizoval Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, v. v. i. Vůbec první ročník těchto setkání se uskutečnil v už roce 1996 na chatě pod Ďumbierom, jako určitý prostředek pro rozšíření povědomí o dlouholetém výzkumu a měření charakteristik sněhové pokrývky, do té doby především v Nízkých Tatrách. Od tohoto roku se stalo obdobné setkávání odborníků zejména z Česka a Slovenska pravidlem.

Sníh je důležitou součástí srážek a odtoku, v hydrologickém cyklu na Zemi má poměrně unikátní postavení. V mnohých oblastech světa je tající sníh nejdůležitějším zdrojem vody pro vodní cyklus a život člověka, ale i v našich podmínkách je významným faktorem tvorby klimatu a odtoku vody, ovlivňuje profesní i volnočasové aktivity člověka. Je tedy zřejmé, proč je sněhu soustavně věnována náležitá pozornost, a to nejen z pohledu hydrologie a klimatologie, ale napříč různými vědními obory a lidskými činnostmi. I proto má každoroční setkávání a výměna poznatků v oblasti měření a hodnocení sněhových charakteristik širší význam a perspektivu.

Součástí akce Stretnutie snehárov jsou vždy odborné přednášky a tematické exkurze po monitorovaných a výzkumných lokalitách příslušné horské oblasti. V rámci terénní části semináře probíhá zpravidla společné měření parametrů sněhové pokrývky, návštěva meteorologických stanic nebo ukázka práce horské služby. Letos byly na programu mj. návštěva a měření sněhu spojené s výšlapem k meteorologickým stanicím Horské záchranné služby v oblasti Roháčů na vrchol Salatín a do Salatínské doliny, nebo do Roháčské doliny a k Roháčskému vodopádu v Zelené dolině. Kromě měření sněhu, ukázky provozu a údržby konkrétních meteorologických stanic, zde byla jako součást lavinové prevence testována i stabilita sněhové pokrývky prostřednictvím kopaných sněhových profilů.

Na semináři pak v odpoledních blocích zazněla celá řada zajímavých příspěvků od českých a slovenských kolegů. Referáty z oblasti Tater a středního Slovenska se věnovaly dlouhodobým výsledkům měření a tání sněhu na výzkumných plochách a povodích, modelování nebo lavinové prevenci a Meteoportálu v působnosti Horské záchranné služby. Kolegové z Univerzity Karlovy a České zemědělské univerzity účastníci semináře seznámili s problematikou odhadu zimních srážek prostřednictvím měření na sněhoměrných stanicích, resp. s historií lavinové aktivity v Krkonoších. Zaměstnanci z hydrologických pracovišť Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) přednášeli o zkušenostech s provozem automatických stanic pro měření sněhu a souběžných expedičních měřeních, v návaznosti na to pak i o využití těchto dat pro hydroprognózu. Ve spolupráci meteorologů ČHMÚ, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (FZT JU), Ústavu pro hydrodynamiku (ÚH AVČR) a meteo-sumava.cz byly předneseny dva příspěvky, jeden byl o významu automatických stanic pro měření sněhu na Šumavě a druhý o změnách v poměru výšky nového sněhu a úhrnu srážek v chladnější části roku za období 1961 až 2020 v horských a podhorských oblastech Česka. Prezentované výsledky a hodnocení vyvolaly zájem a zajímavou diskusi, která často



Přednášková a diskusní část semináře se odehrávala v univerzitním středisku Zuberec. Foto: J. Procházka.

pokračovala i po skončení přednáškové části programu do pozdních večerních hodin.

Díky účasti na letošním semináři XXVI. Stretnutie snehárrov tak bylo možno opět nabýt mnoho nových poznatků a podnětů pro další činnost a spolupráci v problematice monitoringu sněhu. Zatímco letošní seminář se konal v Západních Tatrách, vloni to bylo v Krkonoších, tak se předpokládá, že příští ročník bude zorganizován opět na horách v Česku.

Jan Procházka, Veronika Šustková, Pavel Lipina

Světový meteorologický den

2023: Budoucnost počasí, klimatu a vody napříč generacemi

Pozdravy ze sekretariátu Světové meteorologické organizace v Ženevě.

Naše počasí, klima ani koloběh vody neznají žádné národní ani politické hranice. Mezinárodní spolupráce je nezbytná. Tato filozofie řídí práci velké meteorologické rodiny již od roku 1873 a povede nás i v budoucnu.

Poptávka po naší odbornosti a naší vědě nebyla nikdy vyšší.

Světový meteorologický den 2023 je velmi výjimečný, protože se koná v době 150. výročí předchůdce Světové meteorologické organizace, kterou byla Mezinárodní meteorologická organizace.

Národní meteorologické a hydrologické služby za posledních 150 let shromáždily a standardizovaly údaje tvořící základ pro předpovědi počasí, dnes považovaný za samozřejmost. Historie výměny dat WMO je úspěšným příběhem vědecké spolupráce při záchraně životů a živobytí.

Jsme druhou nejstarší agenturou OSN. Jsme hrdí na naše úspěchy a oslavíme je v přelomovém roce, kdy náš řídící Světový meteorologický kongres schválí strategické priority na podporu naší vize světa, odolnějšího vůči extrémům počasí, klimatu, vody a dalších ekologických událostí.

Včasná varování pro všechny

Ambiciózní snaha zajistit, aby život zachraňující systémy včasného varování byly k dispozici všem v příštích pěti letech, se zvyšuje. Iniciativa Včasná varování pro všechny, kterou zahájil generální tajemník OSN António Guterres u příležitosti Světového meteorologického dne 2022, byla schválena na COP27 v Sharm-el-Sheikhu a získala podporu od rozvinutých i rozvojových zemí, z rodiny OSN i ze soukromého sektoru.

Včasná varování fungují. Musí pracovat pro všechny.

Polovina členů WMO stále nemá odpovídající systémy včasného varování před více riziky a potřebujeme tak zaplnit mezery v základním pozorovacím systému, zejména v nejméně rozvinutých zemích a malých ostrovních rozvojových státech.

Včasná varování jsou dosažitelným ovocem přizpůsobení se změně klimatu – což už dávno není luxus, ale nutnost. Podle Světového ekonomického fóra jsou v příštích deseti letech největším rizikem pro globální ekonomiku neschopnost zmírnit změnu klimatu, selhání adaptace na změnu klimatu a přírodní katastrofy.

Nejméně polovina všech katastrof souvisí s vodou. Na UN Water Conference v New Yorku (22. až 24. dubna) doloží WMO, jak se zvyšují rizika související s vodou, jako jsou záplavy a sušata. Klimatické změny a tání ledovců také povedou k většímu vodnímu stresu. Lepší monitorování a hospodaření s vodou je zásadní, a proto WMO pracuje na Globálním systému informací o vodě, aby podpořila volnou výměnu hydrologických dat.

Monitorování skleníkových plynů

Změna klimatu je určující výzvou naší doby. To, jak na tuto výzvu zareagujeme, určí budoucnost naší planety a našich dětí a vnoučat. To je zdůrazněno ve shrnutí Šesté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu.

Globální průměrná teplota je o více než 1,1 °C vyšší, než byla při založení Mezinárodní meteorologické organizace před 150 lety. Naše počasí je extrémnější, oceán je teplejší a kyselější, hladiny moří stoupají a ledovce a led tají. Tempo změn se zrychluje.

Atmosférické úrovně skleníkových plynů zůstávají na rekordních úrovních. A přesto v současnosti neexistuje žádná komplexní a včasná mezinárodní výměna povrchových a vesmírných pozorování skleníkových plynů.

Aby zaplnila tuto mezeru, snaží se WMO vyvinout udržitelnou a koordinovanou globální infrastrukturu pro monitorování skleníkových plynů.

Ta by rozšířila a upevnila dlouhodobé aktivity WMO v oblasti monitorování skleníkových plynů pod záštitou Global Atmosphere Watch a Integrated Global Greenhouse Gas Information System.

Koncept vychází z velmi úspěšné iniciativy World Weather Watch, která byla představena na začátku družicové éry a letos slaví 60. výročí. Zůstává zlatým standardem mezinárodní spolupráce.

Členové WMO mohou být hrdí na naše úspěchy v naší dlouhé a bohaté historii.

Začali jsme život v éře morseovky a telegramů pro předpovědi přepravy. Superpočítače a družicové technologie otevírají nové obzory pro stále spolehlivější předpověď počasí a klimatu – s možností modelů v měřítku kilometrů.

Ale i v éře umělé inteligence a strojového učení jsme stále závislí na osobním nasazení a odhodlání zaměstnanců národních meteorologických a hydrologických služeb, kteří každý den v roce pracují na záchraně životů.

Děkujeme vám všem.

Prof. Petteri Taalas,
generální tajemník WMO



Den otevřených dveří v Českém hydrometeorologickém ústavu

Jak se stalo v posledních letech tradicí uspořádal Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) Den otevřených dveří (DOD). Tato akce se pořádá u příležitosti Světového dne vody (22. března) a Světového meteorologického dne (23. března). Letošní akce se nesla v duchu hesla „Poznej oblaky“ a konala se 25. 3. 2023. Zajímavý a bohatý program byl připraven nejen pro skalní fanoušky meteorologie, klimatologie, hydrologie a kvality ovzduší, ale také pro rodiny s dětmi.

Hlavní centrum dění se letos v Praze přesunulo na Observatoř Libuň, kam zavítalo zhruba 2000 účastníků. Tu mnozí znají právě díky monitorování oblohy: sondážním měřením a zpracování dat z radarů a družic. Vedle prohlídky atraktivních pracovišť na Libuň – družicového, radarového a aerologického oddělení mohli účastníci vidět zajímavé hydrologické přístroje na měření vody, meteorologickou zahrádku, stanici imisního monitoringu nebo třeba letadlo či armádní mobilní stanici Oblak. Nechyběly ani pokusy s počasím a největším lákadlem bylo populární vypouštění meteorologického balonu.

Pro děti byly připraveny různé zábavné kvízy, tvořivé dílničky a také šikovné dárky. Stezka „Pohádkové počasí“ je třeba



hravou formou naučila, jak se správně chovat při bouři. Malí i velcí zájemci o svět médií si mohli vyzkoušet moderování počasí a svoji předpověď rovnou sdílet na sociálních sítích.

Lákavý program plný her a zajímavostí čekal na malé i velké návštěvníky nejen v Praze na Libuň, ale také na všech pobočkách ČHMÚ: v Českých Budějovicích, v Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a v Ostravě. Na Den otevřených dveří byla pro návštěvníky otevřena také většina stanic a observatoří ČHMÚ. Dobrá propagace v televizi, tisku i na internetu přilákala velký počet návštěvníků, které neodradilo ani proměnlivé počasí.

Hana Stehlíková



Den otevřených dveří se každoročně koná u příležitosti Světového meteorologického dne a Světového dne vody v Praze, na pobočkách v Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně, Ostravě a profesionálních stanicích a observatořích. Foto: Archiv ČHMÚ.

Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

Odborný recenzovaný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, kvalitu ovzduší a hydrologii. Dvuměsíčník

Reviewed journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vydavatel (redakce) – Publishers

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany

Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

e-mail: mz@chmi.cz, casmz.chmi.cz

Vedoucí redaktor – Chief Editor

R. Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, Česká republika

Redaktor – Assistant Editor

H. Stehlíková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

R. Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

R. Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

I. Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

M. Kašpar, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria

L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

E. Plavcová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

M. Setvák, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

J. Strachota, Praha, Česká republika

J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika

F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

A. Vizina, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

V. Voženílek, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Tisk:

COLORA PrintHouse s. r. o., Husova 373/29, 757 01 Valašské Meziříčí

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

Publikace vydané v nakladatelství ČHMÚ v roce 2022

1. **P. Zacharov, P. Münster, J. Daňhelka, R. Tomšů: Tornádo.** 24 stran. Ve spolupráci s AV ČR. Edice: Věda kolem nás – výzvy a otázky. ISSN 2464-6245.
2. **V. Šustková, M. Řepka, P. Tušil, J. Unucka, V. Volná, P. Lipina, V. Škarpich, L. Moučka, M. Šustek, F. Putala: O krajině a přírodě Červené hory a okolí: Klima, historie a současnost měření a pozorování.** 152 stran. ISBN 978-80-7653-046-1.
3. **Jizerka 2022.**
Sborník příspěvků z meteorologické konference. 144 stran. ISBN 978-80-7653-034-8
4. **Gregor Johann Mendel – meteorolog.**
 - ISBN 978-80-7653-021-8 [online]. Sborník příspěvků z mezinárodní konference. 90 stran.
 - ISBN 978-80-7653-037-9 [online]. Sborník abstraktů z mezinárodní konference. 28 stran.
5. **Hospodaření s vodou v krajině 2022.**
 - ISBN 978-80-7653-045-4 [online]. Sborník příspěvků z mezinárodní konference. 98 stran.
 - ISBN 978-80-7653-044-7 [online]. Sborník abstraktů z mezinárodní konference. 28 stran.
6. **Výroční konference České meteorologické společnosti 2022.**
ISBN 978-80-7653-036-2. Sborník abstraktů z mezinárodní konference. 28 stran.
7. **National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic:**
Submission under the UNFCCC and the Kyoto protocol reported inventories 1990–2020.
ISBN 978-80-7653-035-5 [online]. 562 s.
8. **Hydrologická ročenka České republiky 2021.**
 - ISBN 978-80-7653-049-2 [online].
 - ISBN 978-80-7653-048-5 [tištěná]. 300 stran
9. **Klimatologická ročenka České republiky 2021.**
 - ISBN 978-80-7653-047-8 [online].
 - ISBN 978-80-7653-039-3 [tištěná]. 84 stran
10. **Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2021.**
 - ISBN 978-80-7653-038-6 [online].
 - ISBN 978-80-7653-042-3 [tištěná]. 172 stran
11. **Air pollution in the Czech Republic in 2021.**
 - ISBN 978-80-7653-040-9 [online].
 - ISBN 978-80-7653-041-6 [tištěná]. 172 stran

