

# Dlouhodobé charakteristiky konvektivních bouří z pohledu radarových dat a dat detekce blesků

## Long-term characteristics of convective storms in terms of radar data and lightning detection data

**Petr Novák, Hana Kyznarová**

Český hydrometeorologický ústav  
oddělení radarové  
Generála Šišky 942, 143 00 Praha 4  
✉ petr.novak@chmi.cz  
✉ hana.kyznarova@chmi.cz

**Since the 90's, the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) has been operating digital Czech weather radar network (CZRAD) covering whole area of the Czech Republic and its vicinity. Additionally, the CHMI has been utilizing lightning data from the Central European Lightning Detection Network (CELDN) over the same domain. Data from fifteen-year period of 2002–2016 have roughly the same quality, therefore this time period was used to calculate long-term spatial and temporal characteristics of various weather radar and lightning products.**

**The paper presents these long-term characteristics which contribute to better understanding of convective storms climatology over the Czech Republic territory. These characteristics also reveal many quality issues of both weather radar and lightning detection data. They could be very useful for assessing various decision thresholds of convective storms severity. These findings are valuable for human forecasters as well as for automatic nowcasting systems. The paper also discusses relation between radar and lightning characteristics and presents long-term characteristics of convective storms identified by the cell-oriented CELLTRACK nowcasting algorithm.**

**KLÍČOVÁ SLOVA:** detekce dálková – radiolokátor meteorologický – detekce blesků – nowcasting – klimatologie – CZRAD – Česká republika

**KEYWORDS:** remote sensing – weather radar – lightning detection – nowcasting – climatology – CZRAD – Czech Republic

## 1. Úvod

Meteorologické radiolokátory a systémy detekce blesků jsou jedny z nejdůležitějších nástrojů pro distanční detekci a sledování konvektivních bouří. Data z těchto systémů jsou využívána na předpovědních pracovištích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a jsou i základem specializovaných nowcastingových metod např. COTREC (Novák 2007), CELLTRACK

(Kyznarová, Novák 2009) nebo JSWarnView (Novák et al. 2010). ČHMÚ provozuje meteorologické radary již od počátku sedmdesátých let (Strachota 1981, 1983). K modernizaci na digitální dopplerovské radary a s tím spojenému digitálnímu zpracování radarových dat došlo v letech devadesátých (Havránek, Kráčmar 1996; Kráčmar 2000). Od konce devadesátých let začal ČHMÚ využívat také data ze středoevropské bleskové detekční sítě CELDN (Novák, Kyznarová 2011), která je součástí evropské detekční sítě EUCLID (Schulz et al. 2016). Tato data byla využívána do konce roku 2016, od roku 2017 pak byla nahrazena daty z konkurenční sítě LINET (Betz et al. 2008).

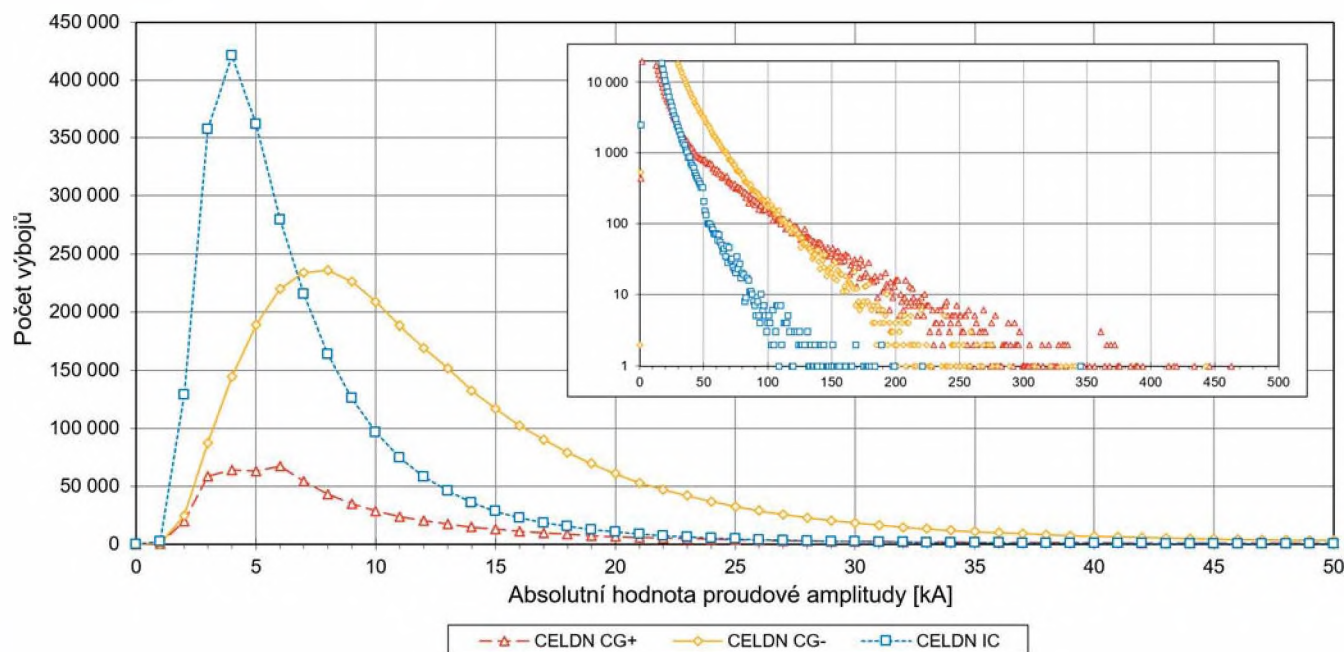
Radarová data i data detekce blesků pokrývají celé území Česka a jeho blízké okolí. V ČHMÚ je k dispozici archiv digitálních radarových i bleskových dat od počátku jejich měření resp. využívání. Přestože kvalita obou typů dat se v čase zlepšovala – a tedy měnila – a ani plošné pokrytí není optimálně homogenní, je možné při opatrném a pečlivém postupu získat z těchto dat zajímavé dlouhodobé charakteristiky. V minulosti již byly zpracovány dlouhodobé charakteristiky bleskové aktivity ze sítě CELDN za období 2002–2008 (Novák et al. 2009; Novák, Kyznarová 2011) a též porovnána data detekce blesků ze sítě CELDN a LINET za celou konvektivní sezónu 2010 (Novák 2012).

Tento článek představuje aktualizované dlouhodobé charakteristiky bleskové aktivity pro patnáctileté období 2002–2016 a rozšiřuje je o některé další, ale zejména přidává zcela nové odvozené z archivu radarových dat. Nově jsou též představeny charakteristiky konvektivních buněk identifikovaných metodou CELLTRACK.

## 2. Použitá data

### 2.1 Data detekce blesků

Pro výpočet dlouhodobých charakteristik bylo třeba použít období, po které byla detekce blesků a radarová měření co nejhomogennější. V tomto směru byla limitující zejména data detekce blesků. Jak je detailněji diskutováno v práci Nováka a Kyznarové (2011), v ČHMÚ byla využívána data ze sítě detekce blesků CELDN již od roku 1999. Do roku 2001 však měla tato data nedostatečnou kvalitu zejména vlivem chybějícího detekčního čidla v oblasti Čech a častým výpadkům dat. Za počátek vyhodnocovaného období tak byl stanoven rok 2002. Konec zpracovaného období byl limitován změnou poskytovatele dat na konci roku 2017. Data ze sítě CELDN jsou v ČHMÚ dostupná do konce září 2017, poté jsou k dispozici data ze sítě LINET. Jak bylo ukázáno ve studii Nováka (2012), data z obou systémů jsou sice kompatibilní a kvalitativně shodná, kvantitativně však systém LINET detekuje větší množství zejména slabších výbojů. Pokud by tedy měla být použita i data LINET, musela by se provést jejich homogenizace. S ohledem na znač-



**Obr. 1. Rozdělení četností proudových amplitud bleskových výbojů CG-, CG+ a IC v intervalu 0 až 50 kA detekovaných sítí CELDN na území Česka v období 2002–2016. Třídící intervaly jsou široké 1 kA. Nezobrazených výbojů s proudovou amplitudou nad 50 kA bylo zaznamenáno 74 791, což představuje 1,16 % ze všech výbojů. Maximální zaznamenaná proudová amplituda byla 463 kA pro výboj CG+. Vložený menší graf zobrazuje rozdělení četností proudových amplitud bleskových výbojů v intervalu 0 až 500 kA a omezeném rozsahu četností 1 až 20 000 výbojů.**

Fig. 1. Distribution of peak currents in 0–50 kA interval of CG-, CG+ and IC strokes detected by the CELDN network over the Czech Republic during the 2002–2016 period. Distribution bin size is 1 kA. 74 751 strokes with peak current above 50 kA were detected representing 1.16% of all strokes. Maximum recorded peak current was 463 kA for CG+ stroke. Inserted smaller graph shows frequency distribution of peak currents in 0–500 kA interval, frequency interval is limited to 1–20 000 strokes.

nou náročnost této homogenizace a pouze malé časové rozšíření zpracovávaného období byl za konec období zvolen rok 2016, kdy byla ještě po celý rok dostupná data ze sítě CELDN.

Pro každý bleskový výboj detekovaný sítí CELDN je k dispozici informace o přesném čase, poloze, typu (zda se jedná o výboj do země nebo mezioblačný), proudové amplitudě a pro bleskové výboje do země též informace o elektrické polaritě. V období 2002–2016 bylo na území Česka detekováno sítí CELDN celkem 6 449 532 bleskových výbojů, z nich bylo 61 % výbojů do země (CG) a 39 % výbojů mezioblačných (IC). Z výbojů do země bylo 83 % záporných (CG-) a 17 % kladných (CG+) což odpovídá výsledkům získaným jinými autory (Rakov, Uman 2003). Jak je zobrazeno na obr. 1, proudová amplituda detekovaných výbojů se nejčastěji pohybuje od jednotek po desítky kA. Výbojů s amplitudou řádu stovek kA je pouze 0,16 %. Maximální zaznamenaná proudová amplituda byla 463 kA pro kladný výboj do země. Rozložení proudových amplitud s nízkou četností je zobrazeno na menším vloženém grafu na obr. 1. Tento graf ukazuje, že zatímco bleskové výboje do země s menší proudovou amplitudou jsou častěji záporné, tak silnější bleskové výboje s proudovou amplitudou nad cca 125 kA jsou častěji kladné. Tato pozorování jsou též v souladu s výsledky jiných autorů, kteří uvádějí, že medián proudové amplitudy pro kladné bleskové výboje do země je větší než pro výboje záporné (Rakov, Uman 2003; Schulz et al. 2016).

Časově a prostorově blízké bleskové výboje byly následně sloučeny do jednotlivých blesků algoritmem podle Cumminse et al. (1998) a Schulze et al. (2005). Podle tohoto algoritmu bylo 3 909 118 výbojů do země sloučeno do 1 909 368 blesků do země. Průměrná multiplicita blesků byla 2,05. Pouze z jednoho výboje se skládalo 59,2 % blesků, 18 % blesků se skládalo ze dvou výbojů a 8,6 % blesků ze tří výbojů. Nejvyšší multipli-

cita byla nalezena pro jeden blesk, který se skládal z 35 výbojů. V rámci analýzy byly vyhodnocovány primární blesky do země. Charakteristiky mezioblačných bleskových výbojů byly sice také spočítány, nebyly však detailněji analyzovány, protože kvalita detekce mezioblačných výbojů se v průběhu zkoumaného časového období v souvislosti s modernizací detekční sítě výrazně zlepšovala a jejich časová řada je tak značně nehomogenní. Dále v textu jsou zpracovávány charakteristiky blesků i bleskových výbojů v závislosti na tom, co je v daném kontextu vhodnější. V textu je vždy uvedeno, zda se jedná o blesky či bleskové výboje.

## 2.2 Radarová data

Ve zvoleném období 2002–2016 byla radarová měření prováděna moderními digitálními dopplerovskými radary české radiolokační sítě CZRAD měřícími v pásmu C (Havránek, Kráčmar 1996; Kráčmar 2000). Jednalo se o radary od různých výrobců, navíc v roce 2015 došlo k výměně za modernější polarimetrické radary (Novák, Kyznarová 2016). U všech radarů však měření odrazivosti, využívané v této studii, probíhalo obdobně. Data z jednotlivých radarů by se tak měla lišit pouze minimálně, částečně vlivem některých odlišností v metodice kalibrace a částečně v mírně odlišné efektivitě eliminace nemeteorologických cílů. Větší vliv než odlišnosti mezi jednotlivými radary má na radarová měření vzdálenost od radarového stanoviště. Objemová 3D radarová data se začala archivovat na konci 90. let. Z celého analyzovaného období tak byla k dispozici objemová data z jednotlivých radarů, z kterých byly pro potřeby této studie spočítány a následně sloučeny do jedné informace pokrývající celé Česko jednotlivé radarové produkty, konkrétně maximální radiolokační odrazivost MAX\_Z, radiolokační odrazivost v konstantních výškových hladinách CAPPI, výška



radarového echa ETOP (maximální výška radarového echa s odrazivostí alespoň 4 dBZ), vertikálně integrovaný obsah vody VIL, hustota VIL (Amburn, Wolf 1997), pravděpodobnost krup POH (Waldvogel et al. 1979), pravděpodobnost nebezpečných krup POSH a maximální odhadovaná velikost krup MEHS (Witt et al. 1998). Slučování produktů z jednotlivých radarů bylo provedeno tak, že v bodech, kde byla dostupná informace z více radarů, byla do sloučeného produktu zanesena největší naměřená hodnota. Prostorové rozlišení všech radarových produktů bylo  $1 \times 1$  km, území Česka bylo pokryto 79 724 gridovými body. V průběhu celého období byla dostupnost dat z jednotlivých radarů vyšší než 95 %.

V období 2002–2016 bylo na území Česka detekováno celkem 27 506 198 gridových bodů, kde maximální radiolokační odrazivost MAX\_Z dosáhla nebo překročila 44 dBZ, což je limitní hodnota pro detekci jader odrazivosti reprezentujících konvektivní buňky v nowcastingové metodě CELLTRACK (Kyznarová, Novák 2008; Kyznarová, Novák 2009) a 773 201 gridových bodů, kde pravděpodobnost krup POH dosáhla 100 %.

### 2.3 Staniční pozorování

Některé bleskové a radarové charakteristiky byly též porovnány s manuálním pozorováním na meteorologických stanicích. Pro tyto účely byly z databáze CLIDATA (Tolasz 2008) vybrány záznamy o pozorování bouřkových jevů. Z databáze byly vybrány záznamy všech pozorovaných bouřek, blízkých (BB – do 3 km), vzdálených (BV – mezi 3 a 5 km), i velmi vzdálených (BW – nad 5 km), přičemž za zkoumané období 2002–2016 se jednalo o 261 468 záznamů. V rámci provedeného zpracování byly u počtů staničních záznamů vždy uvažovány bouřky všech typů dohromady. Během let docházelo k postupnému snižování počtu stanic dodávajících do databáze CLIDATA pozorování jevů ze 797 na počátku období až po 681 ke konci období. Pro zajištění homogenity počtu staničních pozorování při analýze časového vývoje konvektivní aktivity (obr. 2) byly měsíční počty záznamů bouřek na stanicích vynásobeny korekčními koeficienty získanými jako podíl průměrného počtu dostupných stanic (747,9) a počtu stanic dostupných v daném měsíci.

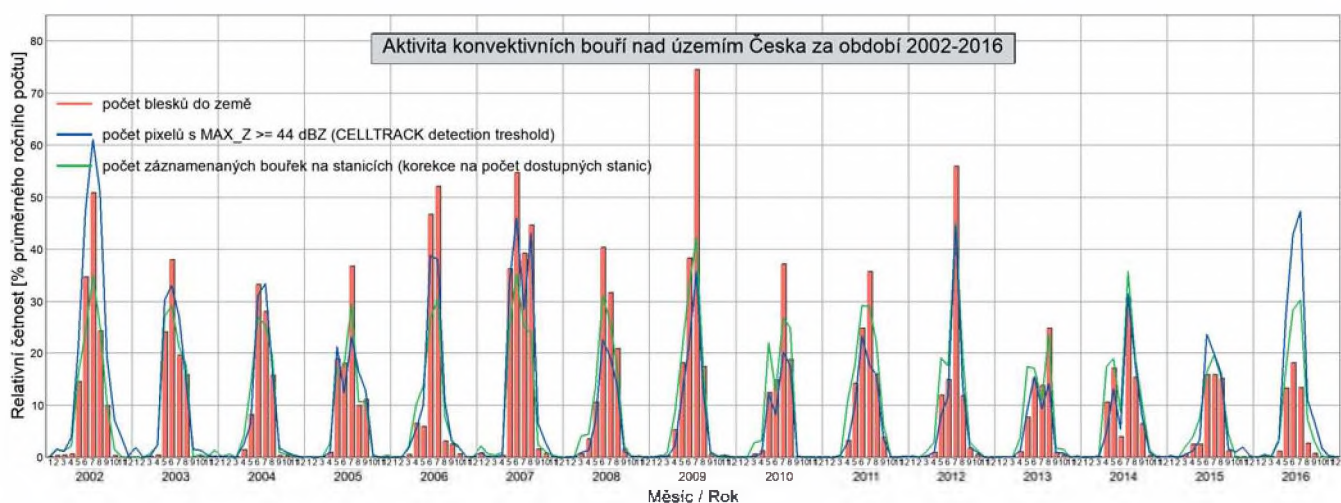
## 3. Dlouhodobé charakteristiky

Bouřková oblačnost je prostorově i časově velmi proměnlivá, což dobře ilustrují obr. 2 a 3.

Obr. 2 ilustruje časový vývoj konvektivní aktivity na území Česka, jsou zde vyznačeny měsíční úhrny počtu blesků do země a k nim odpovídající měsíční počty gridových bodů s MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ a počty záznamů bouřek na stanicích. Z obrázku je zřejmé, že jednotlivé typy informací jsou v poměrně dobrém souladu, i když ne úplném. Dobře se shodují např. roční chody jednotlivých typů dat, tedy např. identifikace měsíce s největší aktivitou. Rozdíly je možné pozorovat při porovnání hodnot jednotlivých charakteristik v různých letech, např. v posledních dvou letech zkoumaného období se vyskytlo relativně méně blesků v porovnání s počtem bouřek zaznamenaných na stanicích a s počtem gridových bodů s maximální radiolokační odrazivostí MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ. V těchto letech byla zřejmě blesková aktivita v konvektivních bouřkách méně intenzivní.

Jednotlivé části obr. 3 zobrazují plošné rozložení blesků do země v letech 2002 až 2016. Vedle velké prostorové proměnlivosti je i zde vidět velká meziroční proměnlivost. Na blesky do země byly nejbohatší roky 2007 s 226 524 blesky, 2009 s 195 892 blesky a 2002 s 171 998 blesky. Nejméně blesků do země se vyskytlo v letech 2016 (62 019 blesků), 2015 (67 356 blesků) a 2013 (80 402 blesků).

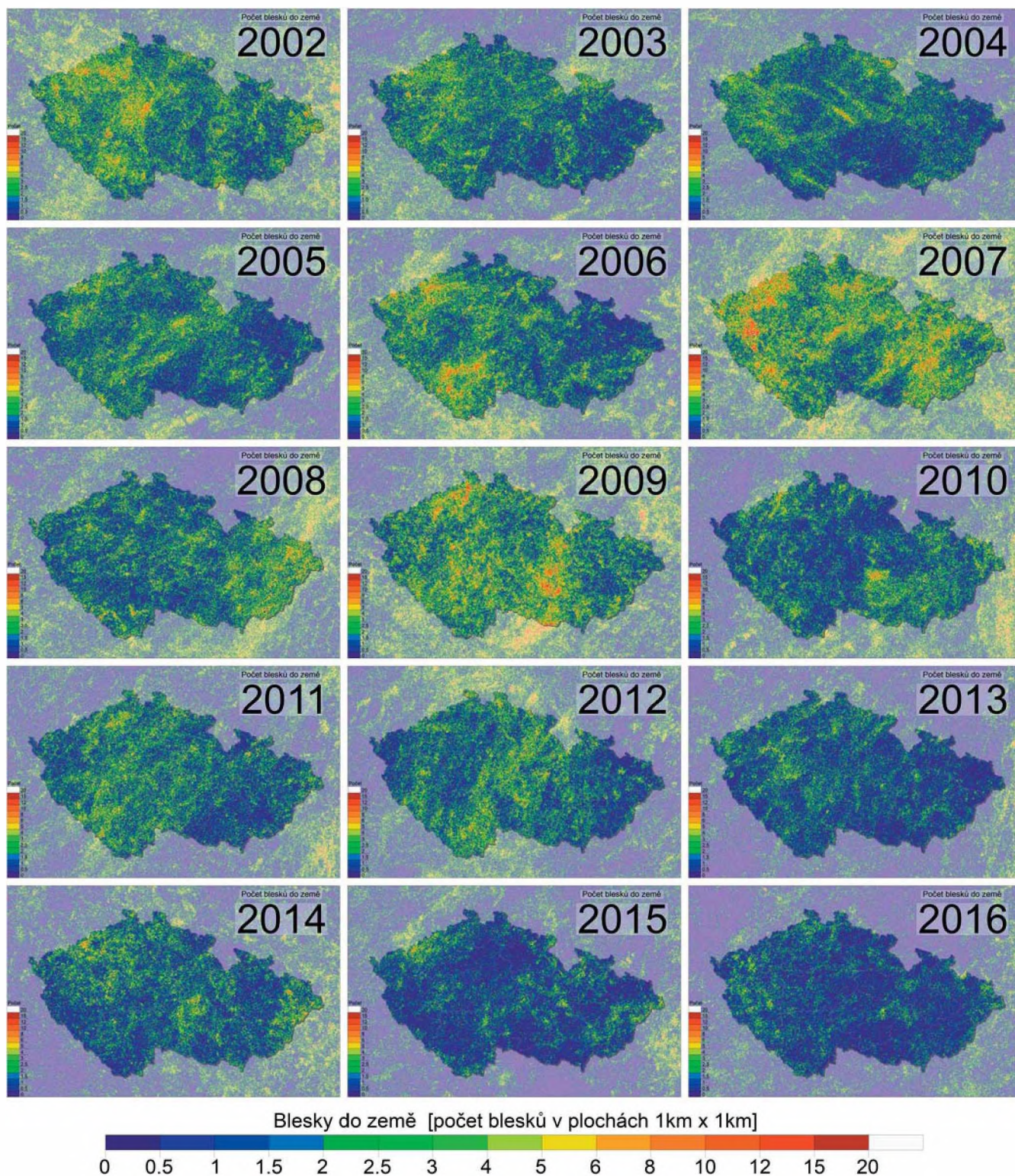
V bleskově intenzivních bouřkách se vyskytuje značné množství blesků, které mohou významně ovlivnit průměrné plošné rozložení blesků i na několik let. Velmi vysoké počty blesků v nejsilnějších bouřkách jsou dobře patrné, pokud se podíváme na počty dnů s konvektivní aktivitou (v celé této práci je za den bráno období 00:00:00 UTC–23:59:59 UTC). Počet blesků do země během pěti dní s nejvyšším počtem zaznamenaných blesků do země (cca 0,1 % všech dní) představuje 5,4 % jejich celkového počtu. Počet blesků do země během 55 bleskově nejintenzivnějších dní (cca 1 % všech dní) představuje 35,3 % jejich celkového počtu. V případě radarových produktů je množství



**Obr. 2** Relativní četnosti měsíčních úhrnů blesků do země, počtů gridových bodů maximální radiolokační odrazivosti MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ a počtů záznamů bouřek na stanicích na území Česka v letech 2002–2016. Průměrný roční počet odpovídá: 127 291 bleskům do země, 1 833 747 gridovým bodům s MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ (0,022 % ze všech gridových bodů) a 17 368 záznamům s bouřkou na stanici.

Fig. 2. Relative frequencies of monthly amounts of CG flashes (red bars), radar grid points of maximum reflectivity MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ (blue line) and storm records from meteorological stations (green line) on the Czech Republic territory during 2002–2016 period. Mean annual amounts correspond to: 127 291 CG flashes, 1 833 747 grid points where MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ (0.022% of all grid points) and 17 368 storm records from meteorological stations.





**Obr. 3** Plošné rozložení ročního počtu blesků do země v jednotlivých letech v období 2002–2016.

Fig. 3. Spatial distribution of the annual amount of cloud to ground flashes in individual years during 2002–2016 period.

zaznamenaných gridových bodů během dní s jejich nejvyššími počty o něco méně výrazné pro data maximálních odrazivostí, naopak ještě výraznější je pro pravděpodobnosti krup. Počet gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ během 5 nejintenzivnějších dní představuje 4,5 % všech gridových bodů s  $MAX\_Z > 44$  dBZ a během 55 nejintenzivnějších dní 24,6 %. Počet gridových bodů s  $POH = 100$  % během 5 nejintenzivnějších dní představuje 14,1 % všech gridových bodů s  $POH = 100$  % a během 55 nejintenzivnějších dní 62,6 %.

Nejintenzivnější blesková aktivita (největší počet blesků do země) ve sledovaném období v Česku byla ve dnech 21. 6. 2007 (27 175 blesků do země), 13. 7. 2002 (20 654 blesků do země) a 17. 7. 2010 (18 891 blesků do země). Dne 21. 6. 2007 byl zaznamenán i druhý nejvyšší počet gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  (271 280 gridových bodů), nejvyšší počet gridových bodů s  $POH = 100$  % (26 922) a třetí nejvyšší denní počet záznamů bouřek na stanicích (1 151 záznamů). Nejvyšší počet gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  (278 949 gridových bodů) se vy-

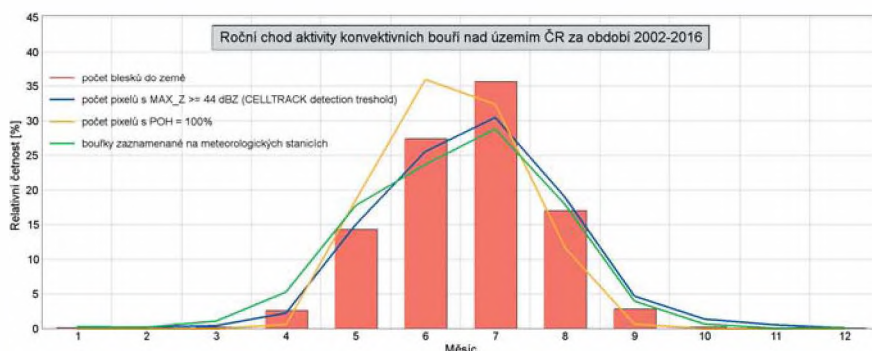


skytl 13. 7. 2002, ve stejný den se vyskytl i nejvyšší denní počet záznamů bouřek na stanicích (1 185 záznamů). Pokud však provedeme u stanic korekci na počet stanic zaznamenávajících jevy v daném měsíci, je dnem s nejvyšším počtem záznamů 4. 8. 2013 (1 143 záznamů).

### 3.1 Časové charakteristiky

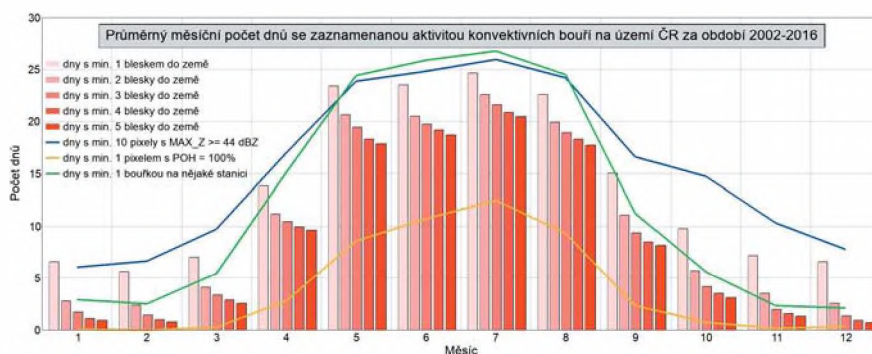
Časovou proměnlivost aktivity konvektivních bouří dobře popisují data detekce blesků i radarové produkty.

Obr. 4 zobrazuje roční chod průměrné relativní měsíční četnosti blesků do země, počtu gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ a  $POH = 100\%$  a počtu dnů s bouřkou zaznamenané na meteorologických stanicích. Maximum bleskové aktivity je dosaženo v červenci a o něco nižší hodnoty poté v červnu. V květnu a srpnu je počet detekovaných blesků zhruba poloviční. V dubnu a září pak počet blesků klesne přibližně na desetinu červnových a počty bouřkových záznamů ze stanic jsou si velmi podobné. V porovnání s bleskovou aktivitou mají shodně své maximum v červenci, maximum však není tak ostré. Nejostřejší roční chod má počet gridových bodů s  $POH = 100\%$ , na rozdíl od ostatních dat má své maximum již v červnu.



**Obr. 4** Roční chod průměrné relativní měsíční četnosti blesků do země, počtu gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ a  $POH = 100\%$  a počtu bouřek zaznamenaných na meteorologických stanicích na území Česka. Měsíční četnosti jsou průměrované za období 2002–2016.

Fig. 4. Distribution of average relative monthly number of cloud to ground flashes (red bars), radar  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ grid points (blue line), radar  $POH = 100\%$  grid points (yellow line) and storm records from meteorological stations (green line) on the Czech Republic territory for 2002–2016 period.



**Obr. 5** Roční chod průměrného měsíčního počtu dnů s daným množstvím zaznamenaných blesků do země, počtem gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ a  $POH = 100\%$  a počtem bouřek zaznamenaných na meteorologických stanicích na území Česka. Měsíční počty dnů jsou průměrované za období 2002–2016.

Fig. 5. Monthly distribution of average number of days with occurrence of cloud to ground flashes (red bars), radar  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ (blue line), radar  $POH = 100\%$  (yellow line) and storm records from meteorological stations (green line) on the Czech Republic territory for 2002–2016 period.

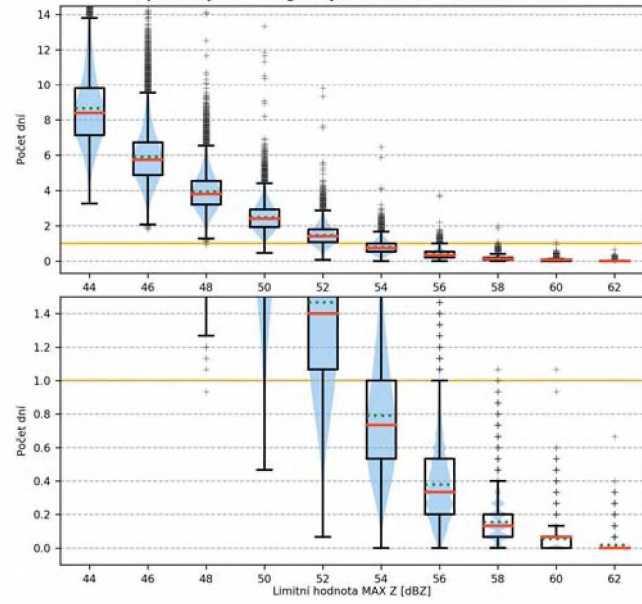
Zkoumán byl též roční chod průměrného měsíčního počtu dnů se zaznamenanou aktivitou konvektivních bouří na území Česka. Tento roční chod je zpracován na obr. 5. U počtu dnů se zaznamenanými blesky do země je zobrazeno více možností lišících se nutným minimálním počtem zaznamenaných blesků na území Česka v daném dnu. Přestože se nejedná o častý jev, je možné, že síť detekce blesků vyhodnotí falešný bleskový výboj. Z obrázku je vidět, že počet falešných blesků obvykle nepřesahuje 1 blesk za den. Již graf pro dny s výskytem minimálně dvou blesků do země dobře odpovídá počtu dnů se zaznamenanými bouřkami na meteorologických stanicích. V jarních, podzimních a zimních měsících je shoda velmi dobrá. V letních měsících je o cca 4–5 vyšší počet dnů s bouřkami zaznamenanými na meteorologických stanicích. To by mohlo být způsobeno tím, že na stanicích v příhraničních oblastech může být teoreticky zaznamenaná i bouřka mimo území Česka, zatímco detekované blesky byly brány pouze z území Česka. V porovnání s ročním chodem aktivity konvektivních bouří na obr. 4 je roční chod počtu dnů s konvektivními bouřkami méně ostrý. V letních měsících se tedy zvyšuje výrazněji intenzita konvektivních bouří než jejich četnost. Počty dnů s pravděpodobností krup  $POH = 100\%$  jsou dle očekávání obecně nižší, ovšem i u nich je pozorována menší ostrost ročního chodu než u její intenzity. Všechny sledované charakteristiky mají své maximum v červenci, červnové hodnoty jsou však velmi podobné a příliš se neliší ani květnové a srpnové hodnoty.

Průměrný počet dní za rok se zaznamenanou aktivitou konvektivních bouří na území Česka je dle staničních záznamů 149 dní, dle detekovaných blesků do země (alespoň 2 blesky do země) 165 dní, dle dat maximální radiolokační odrazivosti (alespoň 10 gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ) 238 dní a dle radarové pravděpodobnosti krup (alespoň 1 gridový bod s  $POH = 100\%$ ) 48 dní. Tyto uvedené počty dnů se vztahují k výskytu bouřkové aktivity kdekoli na území Česka. Pokud by nás zajímal počet dní s výskytem bouřkové aktivity v nějaké konkrétní lokalitě, tak počet dnů bude logicky výrazně nižší.

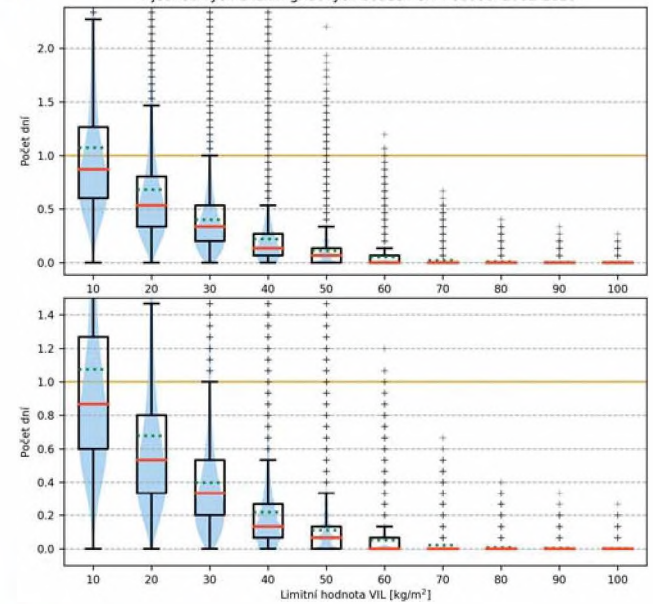
Grafy průměrného počtu dní za rok s překročením limitních hodnot vybraných radarových a bleskových produktů v jednotlivých gridových bodech jsou zobrazeny na obr. 6(a)–6(f). U každého produktu bylo pro všechny gridové body na území Česka testováno překročení jednotlivých limitních hodnot v jednotlivých dnech za celé období 2002–2016. Pro každý gridový bod tak bylo určeno, v kolika dnech během těchto 15 let došlo k překročení limitní hodnoty, a z toho již byl jednoduše určen průměrný počet dní za rok. Následně byly do grafů pro jednotlivé limitní hodnoty vykresleny distribuce rozložení průměrných počtů dní z jednotlivých gridových bodů na území Česka formou box plotů. Do jednotlivých box plotů byl navíc modrou barvou dokreslen tzv. violin plot znázorňující reál-



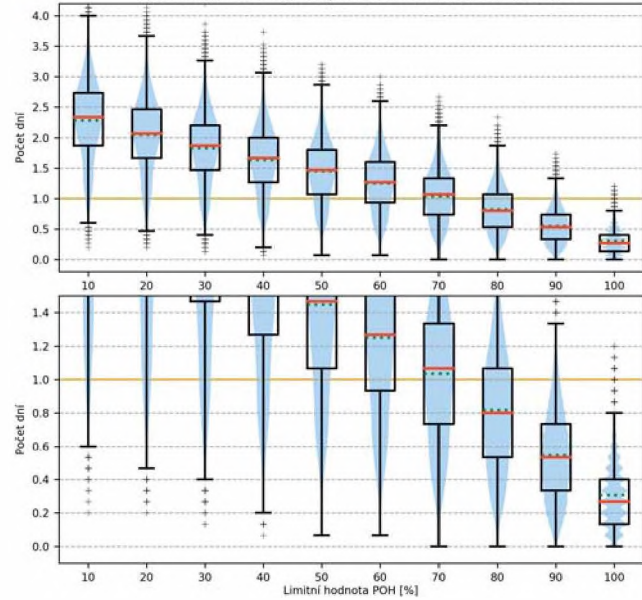
**a)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou MAX Z v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



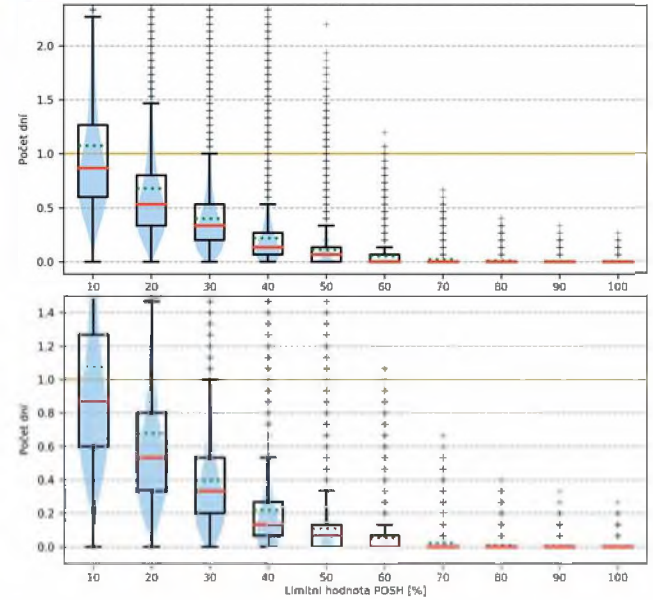
**b)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou VIL v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



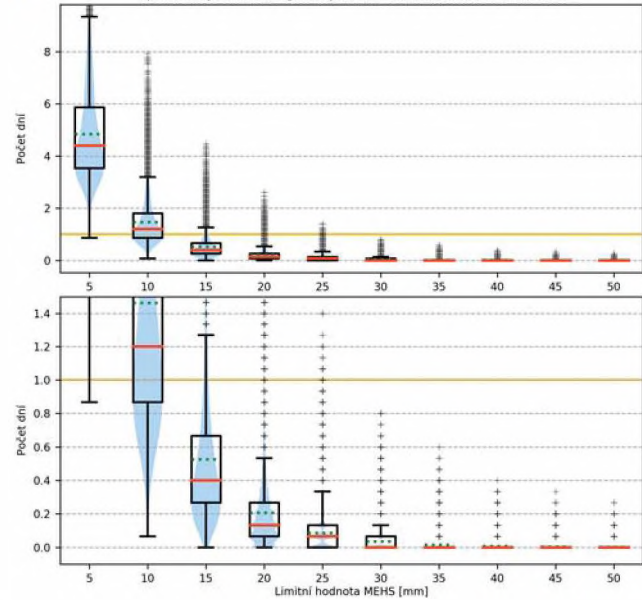
**c)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou POH v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



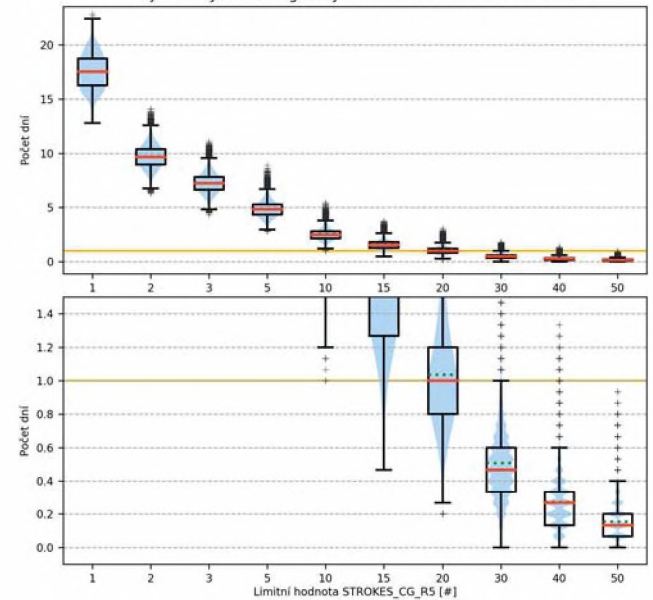
**d)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou POSH v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



**e)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou MEHS v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



**f)** Průměrný počet dní za rok s překročenou limitní hodnotou STROKES.CG.R5 v jednotlivých 1x1km gridových bodech ČR v období 2002-2016



◀ **Obr. 6 Rozložení průměrných počtů dní za rok s překročením limitních hodnot jednotlivých produktů: maximální radiolokační odrazivosti MAX\_Z (a), vertikálně integrovaného množství vody VIL (b), pravděpodobnosti krup POH (c), pravděpodobnosti nebezpečných krup POSH (d), maximální očekávaný průměr krup MEHS (e) a množství zaznamenaných bleskových výbojů v 5 km okolí za 5 minut STROKES\_CG\_R5 (f). Jednotlivé box ploty zobrazují rozložení průměrného počtů dní, ve kterých došlo k překročení konkrétní limitní hodnoty u konkrétního produktu v jednotlivých gridových bodech na území Česka. Medián je zobrazen plnou červenou čarou, průměr zelenou čárkovanou čarou. Žlutá čára vyznačuje četnost 1 den za rok. Modrou barvou je u jednotlivých box plotů vykreslen tzv. violin plot znázorňující tvar rozložení relativních četností.**

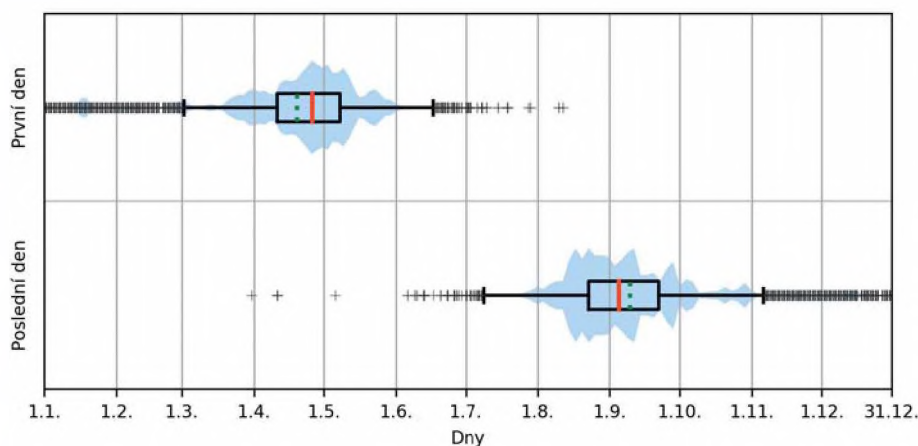
Fig. 6. Distribution of average numbers of days with exceeding of thresholds of individual products: maximum radar reflectivity MAX\_Z (a), vertically integrated liquid VIL (b), probability of hail POH (c), probability of severe hail POSH (d), maximum expected hail size MEHS (e) and number of strokes in 5 km vicinity STROKES\_CG\_R5 (f). Individual box plots show distribution of average numbers of days with exceeding of specific threshold of specific product in individual grid points over the Czech Republic. Median of distribution is shown by solid red line, mean by green dashed line. Yellow line denotes occurrence frequency 1 day per year. So-called violin plot representing relative frequency distribution is depicted using blue colour.

ný tvar rozložení relativních četností. Z těchto grafů lze poté odvodit průměrné četnosti výskytu jednotlivých jevů na území Česka. Z obr. 6(a) tedy např. vidíme, že v libovolně zvoleném gridovém bodě na území Česka se odrazivost  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ (tedy aproximace pro výskyt konvektivních bouří) vyskytuje typicky v cca 8–9 dnech za rok, rozložení není nijak výrazně vychýleno, medián a průměr jsou velmi podobné. Z grafů můžeme také určit, jaká nejvyšší hodnota se v libovolně zvoleném místě na území Česka v průměru vyskytne s určitou frekvencí. Tedy v průměru v jednom dnu za rok se vyskytne maximální odrazivost (MAX\_Z) alespoň cca 53 dBZ, vertikálně integrované množství vody (VIL) cca  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , pravděpodobnost krup (POH) cca 70 %, pravděpodobnost nebezpečných krup (POSH) cca 10 %, maximální očekávaný průměr krup (MEHS) mezi 10 a 15 mm nebo se v 5 km okolí za 5 minut vyskytne alespoň cca 20 bleskových výbojů do země (STROKES\_CG\_R5). Tyto grafy mohou pomoci při objektivním určování kritérií nebezpečnosti detekovaných konvektivních bouří.

Během analýzy ročního chodu dat detekce blesků byl též zkoumán první a poslední den s výskytem bouřkové aktivity. Výsledek zobrazuje obr. 7, kde jsou ze všech  $1 \times 1$  km gridových bodů na území Česka z jednotlivých let období 2002–2016 vykresleny distribuce prvního a posledního dne v roce s výskytem alespoň 1 bleskového výboje do země v 5 km okolí daného gridového bodu. Z grafu je zřejmé, že bouřková aktivita nejčastěji začíná v druhé polovině dubna a končí na přelomu srpna a září.

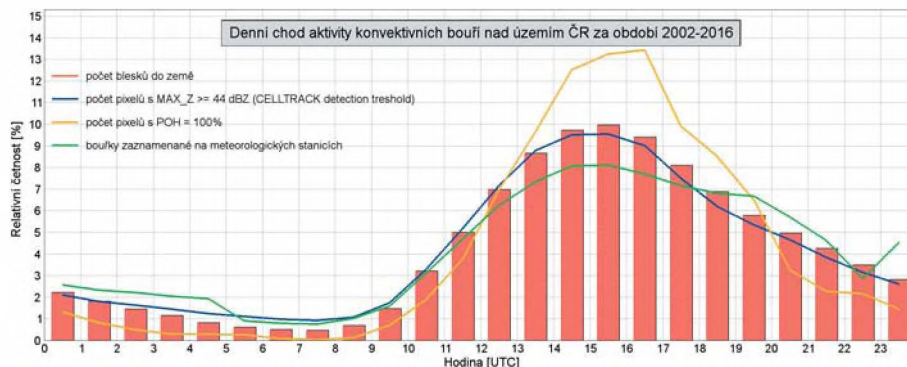
Denní chody průměrné relativní četnosti blesků do země, počtu gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ a  $POH = 100\%$  a bouřek zaznamenaných na meteorologických stanicích na území Česka jsou zobrazeny na obr. 8. Velmi podobně se chová aktivita konvektivních bouří z pohledu detekovaných blesků, maximální odrazivosti i staničních měření, největší aktivita je zaznamenána v od-

poledních hodinách mezi 13:00 a 17:00 UTC s maximem mezi 14:00 a 16:00 UTC. Nejnižší aktivita nastává v ranních hodinách. U pravděpodobnosti krup je denní chod výrazně ostřejší, nižší jsou četnosti v nočních, ranních a dopoledních hodinách, naopak výrazně vyšší četnosti se vyskytují v odpoledních hodinách. Do pozdější doby je posunuto maximum, konkrétně mezi 16:00 a 17:00 UTC.



**Obr. 7 První a poslední den v roce s výskytem alespoň 1 bleskového výboje do země v 5 km okolí. Rozdělení sestrojeno pro hodnoty ze všech  $1 \times 1$  km gridových bodů na území Česka ze všech let v období 2002–2016. Medián je zobrazen plnou červenou čarou, průměr zelenou čárkovanou čarou.**

Fig. 7. The first and last day with occurrence of at least 1 CG stroke in 5 km vicinity. Size of grid points is  $1 \times 1$  km. Distribution for all grid points over the Czech Republic in all years during 2002–2016 period. Median of distribution is shown by solid red line, mean by green dashed line.



**Obr. 8 Denní chod průměrné relativní četnosti blesků do země, počtu gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ a  $POH = 100\%$  a počtu bouřek zaznamenaných na meteorologických stanicích na území Česka za období 2002–2016.**

Fig. 8. Hourly distribution of average number of cloud to ground flashes (red bars), radar  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ grid points (blue line), radar  $POH = 100\%$  grid points (yellow line) and storm records from meteorological stations (green line) on the Czech Republic territory for period 2002–2016.



### 3.2 Prostorové charakteristiky

Na obr. 9(a) a 9(b) jsou zobrazena plošná rozložení průměrného ročního počtu blesků do země v gridových bodech  $1 \times 1$  km a  $20 \times 20$  km. Rozložení v gridových bodech  $1 \times 1$  km, zobrazené na obr. 9(a), odpovídá zhruba nejdetailnějšímu možnému rozlišení danému prostorovou přesností detekce bleskových výbojů. Jak již bylo detailněji diskutováno v práci Nováka, Kyznarové (2011), je v tomto  $1 \times 1$  km zobrazení možné identifikovat gridové body s lokálně výrazně zvýšeným průměrným počtem blesků oproti jejich okolí, který je často způsobený výskytem nějaké výškové stavby umístěné ve vyvýšené exponované lokalitě (typicky televizní vysílač na vrcholu vysokého kopce, např. Praděd, Ještěd, Lysá hora a další). Nejčastěji dosahované hustoty blesků do země se pohybují v rozmezí 1–2,2 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>, nejvyšší dosažená hodnota je 6,4 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> a nejmenší 0,2 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>.

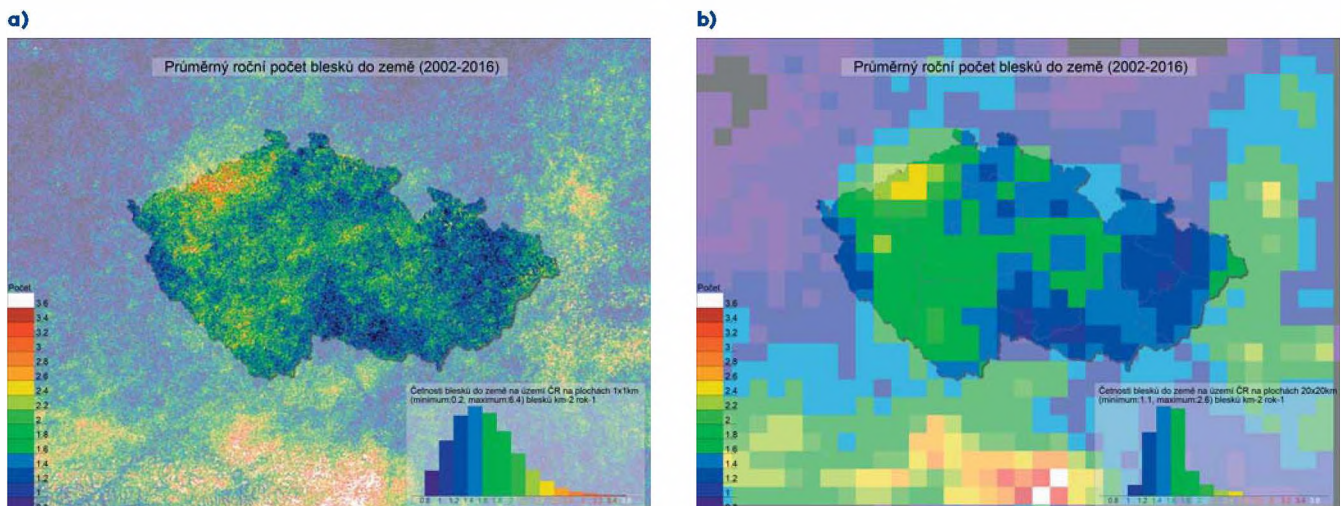
Tato detailní data jsou však plošně velmi proměnlivá a nejsou vhodná pro stanovení vypovídající průměrné hodnoty počtu blesků v dané lokalitě. Pro tyto účely se typicky využívá výpočet průměrné hodnoty z větších ploch. Průměrnou hustotu blesků do země v plochách o velikosti  $10 \times 10$  km udává např. Tuomi, Mäkelä (2008), kde pro Finsko udává 0,35 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>, s maximem 0,56 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. Na plochách stejné velikosti vyhodnotili Taszarek et al. (2015) průměrnou hustotu blesků do země na území Polska, pro které udávají 0,2–3,1 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. Zřejmě častěji se provádějí analýzy v gridu  $20 \times 20$  km, např. pro Rakousko se uvádí maximální průměrná hustota blesků do země větší než 6 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> (Schulz et al. 2005), pro Rumunsko 3,06 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> (Antonescu, Burcea 2010) a nevyšší hodnota udávaná pro USA je 9 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> v Tampě na Floridě (Orville, Huffines 2001). Z obr. 9(b) je možné odvodit odpovídající hodnoty pro Česko. Nejčastěji se hustota blesků do země pohybuje v rozmezí 1,2–1,8 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>, maximum odpovídá 2,6 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> a minimum 1,1 blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty jsou v souladu s jinými pozorováními z Evropy uvedenými výše.

Vzhledem k tomu, že intenzita bleskové aktivity v různých bouřích může být velmi rozdílná a bouřkový komplex s intenzivní bleskovou aktivitou může ovlivnit plošné rozložení hustoty blesků v jednotlivých gridových bodech i na velmi dlouhé období, nemusí rozložení hustoty blesků příliš odpovídat tomu, jak vnímáme bouřkovou aktivitu ze zemského povrchu a jak ji

zaznamenáváme při staničních měřeních (Tolasz et al. 2007). Pro takovéto porovnání je lepší použít plošné rozložení průměrného ročního počtu dnů s výskytem blesků v definovaném okolí. Jak již bylo diskutováno (Novák, Kyznarová 2011), staničním pozorováním dobře odpovídá počet dní s výskytem alespoň 2 bleskových výbojů do země v 15 km okolí, jejich plošné rozložení je znázorněno na obr. 10(a).

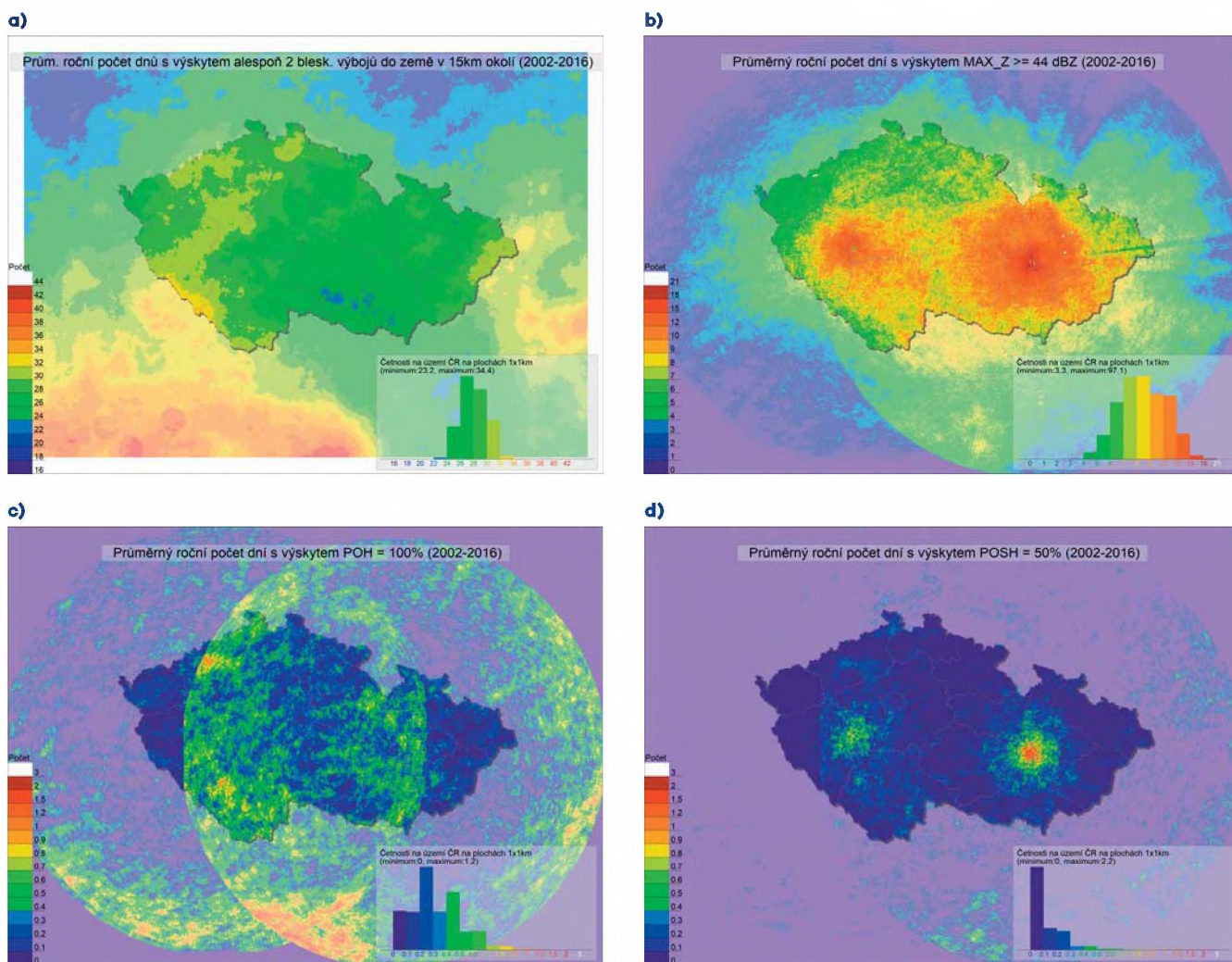
Plošné rozložení průměrného počtu dní bylo zpracováno také pro různé radarové produkty. Pro ukázkou jsou na obr. 10(b)–10(d) zobrazena plošná rozložení průměrného počtu dnů s výskytem MAX\_Z  $\geq 44$  dBZ (b), POH = 100 % (c) a POSH  $\geq 50$  % (d). Z těchto obrázků je zřejmé, že dlouhodobé radarové charakteristiky nejsou příliš vhodné k popisu prostorového rozložení aktivity konvektivních bouří, k tomu lépe poslouží data detekce blesků. Prostorová rozložení dlouhodobých radarových charakteristik jsou významně ovlivněna snímací strategií radarových měření a vzdáleností od radaru. Jedná se jednak o rostoucí výšku radarového paprsku vzhledem k povrchu země s rostoucí vzdáleností od radaru a jednak o rozšiřování radarového paprsku s rostoucí vzdáleností od radaru, a tedy průměrování odrazivosti z většího objemu radarového pulsu a s tím související vyhlazení radarových dat a nadhodnocování výšky radarového echa ve velkých vzdálenostech. Pozorované jevy velmi dobře odpovídají výsledkům získaným z různých studií (Delobbe, Holleman 2006; Kaltenboeck, Steinheimer 2015; Goudenhoofd, Delobbe 2013). Výše zmíněné dlouhodobé charakteristiky jsou však velmi užitečné pro identifikaci různých problémů a nejistot radarových měření a produktů (např. zastínění orografickými překážkami nebo blízkými překážkami nebo výskyt permanentních pozemních odrazů jako např. parky větrných elektráren), mohou tedy být použity k popisu kvality radarových produktů včetně jejího časového vývoje (porovnáním plošných rozložení v jednotlivých letech).

Získané počty dnů s překročenými limitními hodnotami POH a POSH (obr. 6(c)–6(d) a 10(c)–10(d)) je možné porovnat s výsledky radarové detekce krup získaných jinými autory. Jednotlivé algoritmy i metodiky zpracování se sice mírně liší, ale orientační porovnání je možné. Průměrná četnost výskytu krup v libovolně zvoleném gridovém bodě na území Česka se při použití POH = 100 % pohybují nejčastěji mezi 0,1 a 0,5 dne za rok. Pro Belgii uvádí Lukach et al. (2017) četnost 0,55 dne za rok pro POH  $\geq 90$  %, pro Švýcarsko uvádí Nisi et al. (2016) velký rozsah hodnot, který souvisí s jeho velmi proměnlivou orografií; nejčastěji jsou



**Obr. 9 Průměrný roční počet blesků do země za období 2002–2016. Velikost gridového bodu je  $1 \times 1$  km (a) a  $20 \times 20$  km (b).**  
 Fig. 9. The annual average of cloud to ground flashes for 2002–2016 period. Grid point size is  $1 \times 1$  km (a) and  $20 \times 20$  km (b).





**Obr. 10 Průměrný roční počet dnů s výskytem alespoň 2 bleskových výbojů do země v 15 km okolí (a), MAX\_Z ≥ 44 dBZ (b), POH = 100 % (c) a POSH ≥ 50 % (d) za období 2002–2016.**

Fig. 10. The annual average number of days with the occurrence of at least 2 cloud to ground strokes in 15 km surroundings (a), MAX\_Z ≥ 44 dBZ (b), POH = 100% (c) a POSH ≥ 50% (d) for 2002–2016 period.

pozorovány hodnoty v rozsahu 0,5–2,5 dne za rok pro POH > 80 %, na poměrně velkém území zejména ve vrcholových partiích Alp jsou hodnoty nižší než 0,5 dne za rok, maxima naopak dosahují hodnot až 4 dnů za rok. Pro pravděpodobnost nebezpečných krup POSH ≥ 50 % se průměrná četnost výskytu pohybuje typicky v rozsahu 0–0,2 dne za rok, což odpovídá rozsahu 0–0,25, který získaly pro Česko (Skripniková, Řezáčová 2014) při využití COMBI kritéria zaměřeného na detekci nebezpečných krup, které kombinuje modifikované produkty POSH a POH. Četnost 0,2 dne za rok pro POSH ≥ 50 % uvádí též Lukach et al. (2017) pro Belgii.

V rámci počítání prostorových charakteristik bylo též studováno denní pokrytí Česka konvektivními bouřkami v jednotlivých měsících. Na obr. 11(a) a 11(b) jsou znázorněna procentuální denní pokrytí Česka radiolokační odrazivostí MAX\_Z ≥ 44 dBZ a oblastí s výskytem alespoň 1 bleskového výboje do země v 5 km okolí (použití pouze 1 × 1 km gridových bodů s výskytem bleskového výboje by zřejmě podceňovalo oblast bouřkové aktivity, 5 km okolí bylo vybráno jako oblast, která by měla lépe odpovídat oblastem, kde hrozí nebezpečí bouřkové aktivity). Pro jednotlivé měsíce jsou zobrazeny box-ploty a violin-ploty sestavené pro hodnoty ze všech dnů z daného měsíce v období 2002–2016. Box-ploty zobrazují průměr, medián a všechny

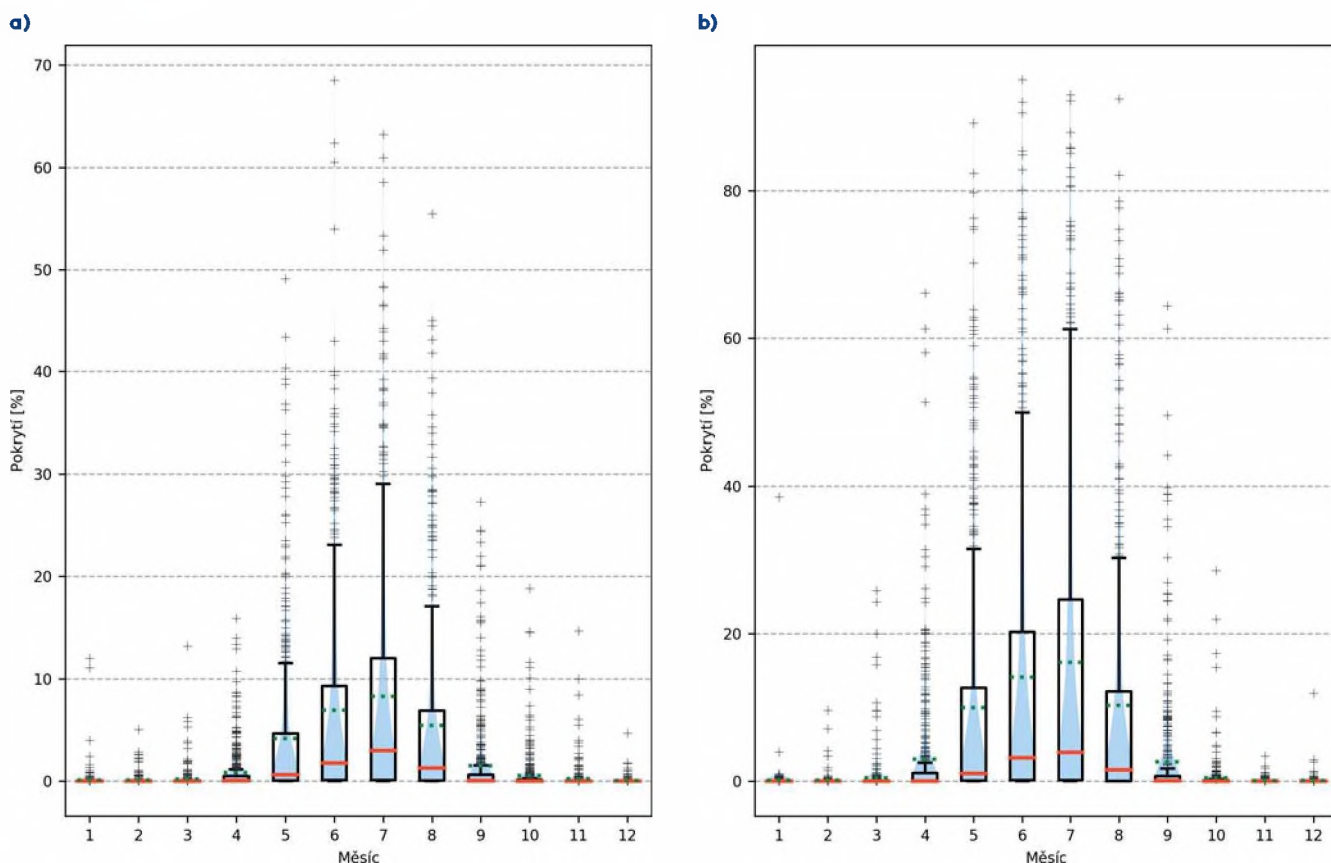
odlehle extrémní hodnoty. Z grafů vidíme, že typická velikost oblasti zasažená konvektivními bouřkami v jeden den během letních měsíců je do cca 10 % plochy Česka z pohledu radiolokační odrazivosti a do cca 20 % plochy z pohledu dat detekce blesků, maximální dosažené pokrytí je necelých 70 % plochy Česka z pohledu radiolokační odrazivosti a přes 90 % plochy z pohledu detekce blesků. Větší zasažená oblast v případě dat detekce blesků je dána tím, že u každého blesku uvažujeme i 5 km okolí, zatímco u radarových dat pouze skutečně zasažené gridové body (MAX\_Z > 44 dBZ).

Dále byla studována závislost počtu blesků do země na nadmořské výšce, která je zobrazena na obr. 12. Vidíme, že s rostoucí nadmořskou výškou lze pozorovat jisté zvyšování bleskové aktivity, tato závislost však není nijak významná. Odlehle hodnoty s vysokou četností výskytu blesků do země představují nejčastěji již dříve zmiňované body s výskytem vysokých budov či konstrukcí, jako například televizních vysílačů.

### 3.3 Charakteristiky vztážené k identifikovaným jádrům odrazivosti

V rámci studie byla též analyzována jádra radiolokační odrazivosti s MAX\_Z ≥ 44 dBZ identifikovaná nowcastingovou meto-





**Obr. 11** Denní pokrytí území Česka gridovými body s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ (a) a gridovými body s alespoň 1 bleskovým výbojem do země v 5 km okolí (b) v období 2002–2016. Medián je zobrazen plnou červenou čarou, průměr zelenou čárkovanou čarou.

Fig. 11. Daily fractional coverage of the Czech Republic by grid points with  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ (a) and grid points with at least 1 cloud to ground stroke in 5 km surroundings (b) for 2002–2016 period. Median of distribution is shown by solid red line, mean by green dashed line.

dou CELLTRACK operativně využívanou v ČHMÚ (Kyznarová, Novák 2009). Metoda CELLTRACK byla přepočítána pro celé patnáctileté období. Celkem byla na sloučených produktech maximální odrazivosti identifikováno 1 850 340 jader odrazivosti.

Obr. 13 zobrazuje trajektorie pohybu jader odrazivosti žijících po dobu alespoň 90 minut identifikovaných metodou CELLTRACK v období 2002–2016. Četnost identifikovaných jader a jejich trajektorií je ovlivněna rostoucí minimální výškou radarového paprsku nad povrchem země s rostoucí vzdáleností od radaru. Četnost jader je vyšší na území Česka než v okolních zemích, kde je již radarový parsek dále od radaru, a tedy i výše nad zemským povrchem, a není proto možné detekovat odrazivost v nejnižších hladinách. Pokles počtu identifikovaných jader s rostoucí vzdáleností od radaru dobře koresponduje s obr. 10(b), kde obdobně pozorujeme pokles průměrného počtu dní s výskytem maximální odrazivosti  $MAX\_Z > 44$  dBZ s rostoucí vzdáleností od radaru.

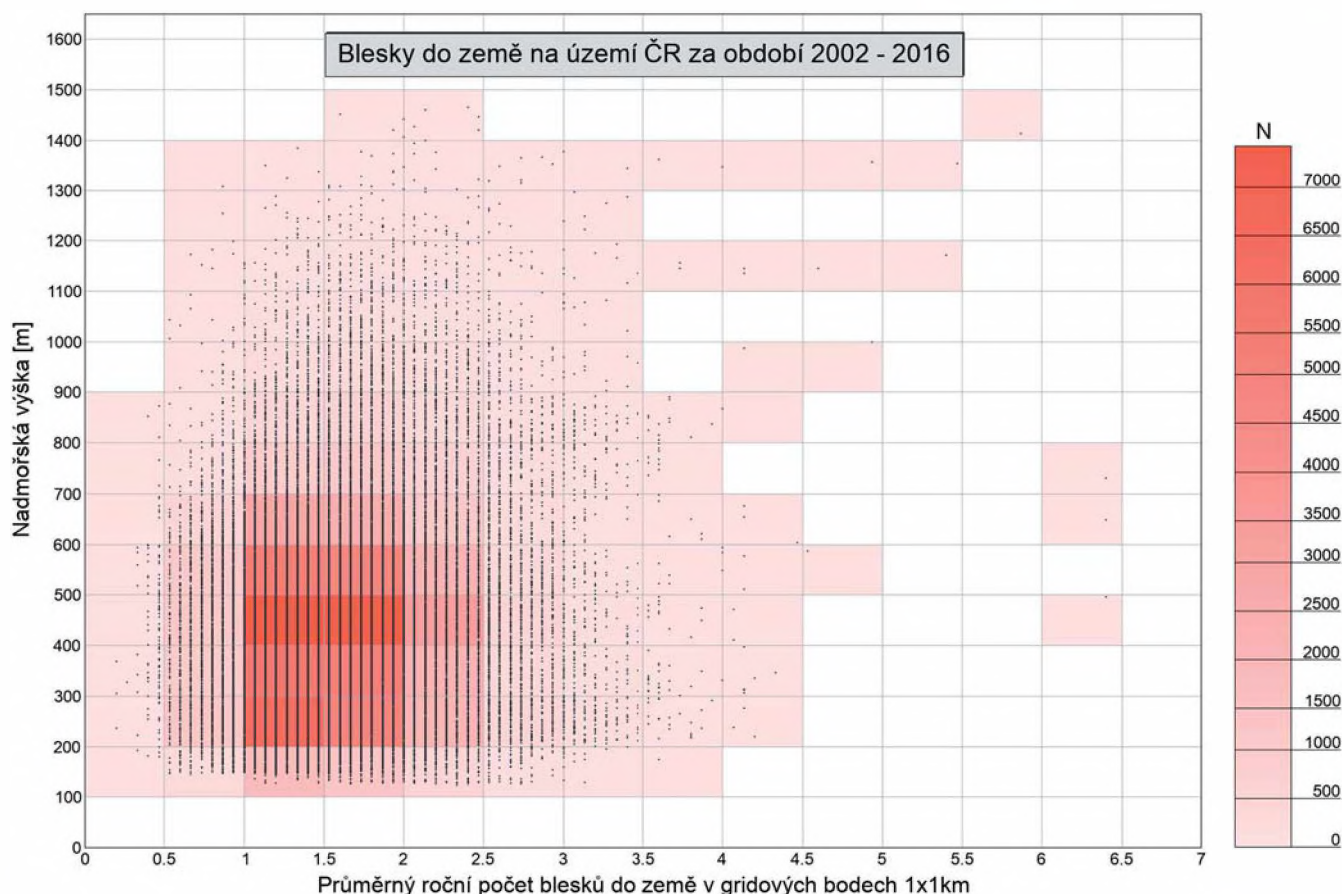
Rozložení relativních četností pohybových vektorů všech identifikovaných jader odrazivosti a rozložení relativních četností vektorů rychlosti větru v tlakové hladině 500 hPa získaných ze sondážních výstupů v 12:00 UTC v Praze a Prostějově je zobrazeno na obr. 14. Grafy relativních četností sondážních výstupů jsou dále rozděleny podle dnů, kdy byla zaznamenána aktivita konvektivních bouří (alespoň 10 gridových bodů s  $MAX\_Z \geq 44$  dBZ) a zbylé dny z období 2002–2016. Jádra odrazivosti se pohybují všemi směry, nejvíce jader se pohybuje z jihozápadu na severovýchod, četnost klesá se rostoucí rychlostí. Tlaková

hladina 500 hPa přibližně odpovídá hladině non-divergence. Většina identifikovaných jader odrazivosti odpovídá krátce žijícím konvektivním buňkám, lze tedy předpokládat, že interní dynamika jejich pohyb zásadně neovlivňuje. Při zanedbatelné propagaci jader odrazivosti vlivem interní dynamiky konvektivních bouří by mělo být rozložení relativních četností pohybových vektorů jader odrazivosti a proudění v hladině 500 hPa obdobné. Což potvrzují rozložení na obr. 14. Při porovnání vektorů rychlostí získaných ze sondážních měření existuje rozdíl mezi rozložením relativních četností pro dny se zaznamenanou aktivitou konvektivních bouří a bez ní. V druhém případě je nejvyšších relativních četností dosaženo pro jižní proudění v hladině 500 hPa.

V případě metody CELLTRACK je vidět, že v každém směru existují přibližně desítky až nízké stovky vektorů, jejichž velikost je větší než velikost vektorů získaných sondážními měřeními. Lze předpokládat, že u části z nich se jedná o vektory vzniklé v důsledku chybného přiřazení jader odrazivosti, nicméně tyto pravděpodobně chybné vektory tvoří jednotky promile ze všech vektorů, což lze považovat za dobrý výsledek.

Zpracováno bylo též rozložení doby života a plochy jednotlivých jader odrazivosti, které jsou zobrazeny na obr. 15. Počet jader s rostoucí délkou života klesá přibližně exponenciálně. Pokles počtu jader s rostoucí plochou je ještě vyšší. Graf rozložení doby života ukazuje, že existuje značné množství jader detekovaných pouze v jednom termínu měření. Pevný spodní práh odrazivosti 44 dBZ pro detekci jader může přispívat k navýšení počtu jader detekovaných pouze v jednom termínu. Některá jádra, jejichž





**Obr. 12** Závislost průměrného ročního počtu blesků do země na nadmořské výšce za období 2002–2016. Jednotlivé body představují průměrné roční počty blesků do země pro jednotlivé 1 × 1 km gridové body na území Česka. Intenzitou červené barvy je vyznačena četnost bodů v jednotlivých intervalech.

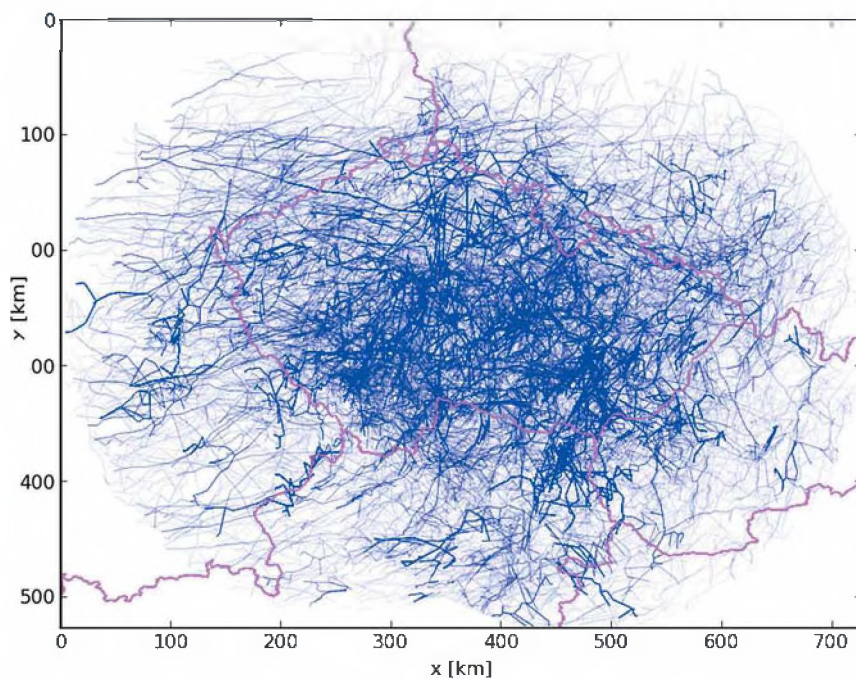
Fig. 12. The dependence of annual average number of cloud to ground flashes on the altitude for 2002–2016 period. Individual crosses represent annual average number of cloud to ground flashes for individual 1 × 1 km grid points over the Czech Republic territory. The intensity of red colour marks the number of crosses in individual intervals.

maximální odrazivost se pohybuje okolo 44 dBZ, totiž mohou z pohledu metody CELLTRACK opakovaně vznikat a zanikat, čímž se uměle zvyšuje počet jader s krátkou dobou života. Pro delší doby života již počet jader klesá přibližně exponenciálně. Během celého patnáctiletého období byly detekovány pouze stovky jader s délkou života 200 minut a větší.

#### 4. Závěr

Článek představuje patnáctileté časové a prostorové charakteristiky konvektivních bouří na území Česka odvozené z dat ze sítě detekce blesků CELDN a produktů české radiolokační sítě CZRAD. Byla doložena velká časová i prostorová proměnlivost konvektivních bouří. Ve zkoumaném období 2002–2016 byla největší blesková aktivita zaznamenána v letech 2007, 2009 a 2002, dny s nejintenzivnější bleskovou aktivitou byly 21. 6. 2007, 13. 7. 2002 a 17. 7. 2010.

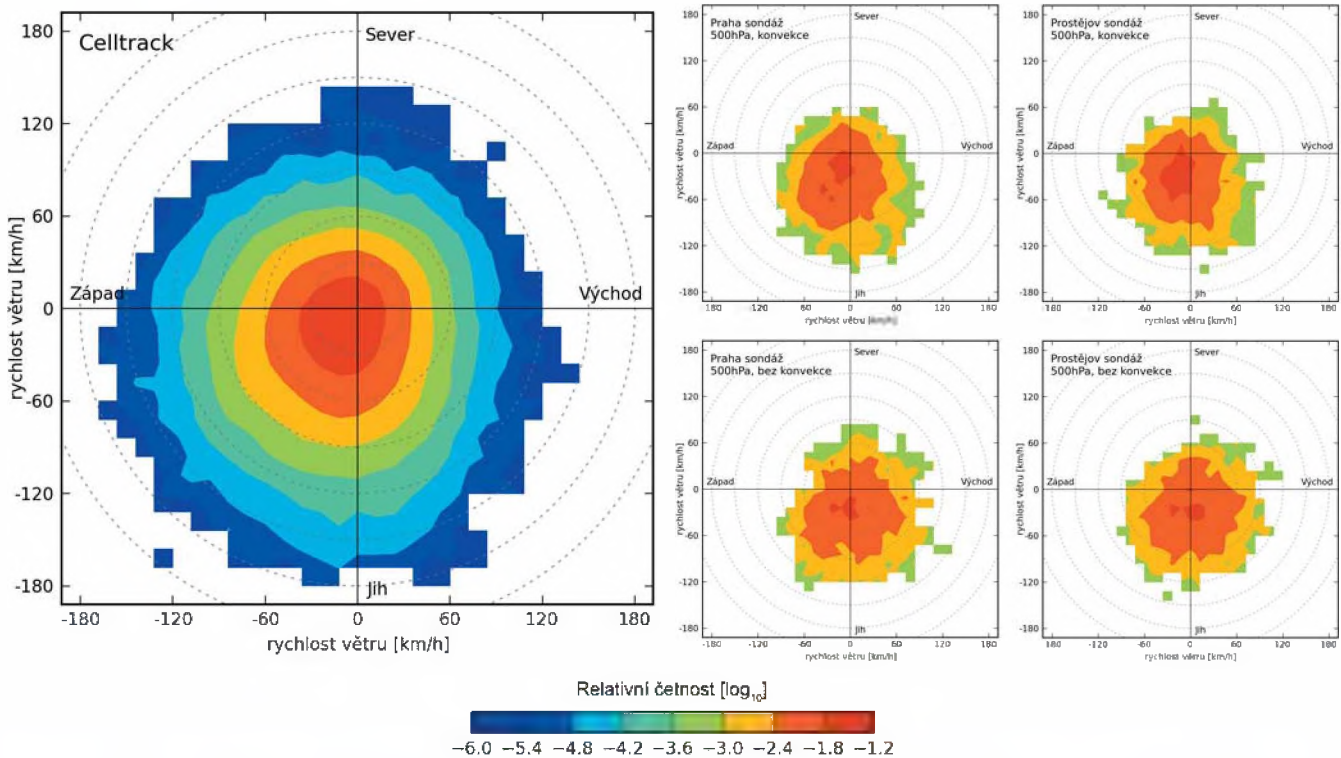
Časová proměnlivost konvektivních bouří je dobře popsána daty detekce blesků



**Obr. 13** Trajektorie pohybu jader odrazivosti žijících alespoň 90 minut identifikovaných metodou CELLTRACK v období 2002–2016.

Fig. 13. Tracks of reflectivity cores with lifetime at least 90 minutes identified by the CELLTRACK method during 2002–2016 period.





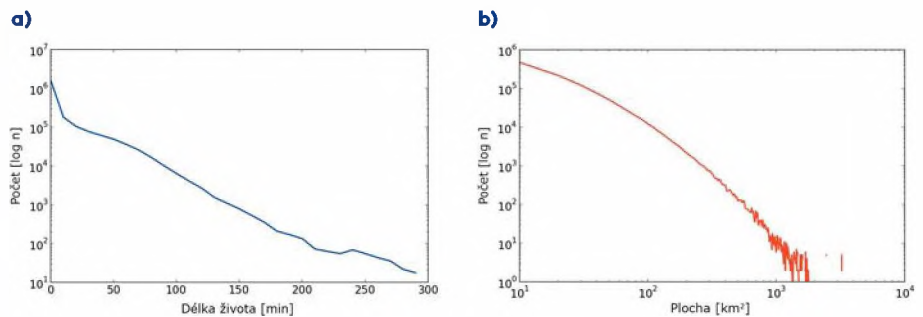
**Obr. 14 Rozložení relativních četností vektorů pohybu jednotlivých jader odrazivosti identifikovaných metodou CELLTRACK (vlevo) a rozložení relativních četností vektorů rychlosti větru v tlakové hladině 500 hPa získaných se sondážních výstupů v 12:00 UTC v Praze a Prostějově (vpravo) pro dny se zaznamenanou aktivitou konvektivních bouří (nahore) a bez ní (dole) v období 2002–2016.**

Fig. 14. Distribution of relative number of movement vectors of individual reflectivity cores identified by the CELLTRACK method (left) and distributions of relative number of wind vectors in 500 hPa pressure level obtained from 12:00 UTC Prague and Prostějov soundings (top) in days with detected convective storms activity (up) and without activity (bottom) during 2002–2016 period.

i radarovými produkty. Jejich roční i denní chody si navzájem odpovídají a jsou ve shodě i se záznamy výskytu bouřek z meteorologických stanic. Nejvyšší hodnoty ročních resp. denních chodů jsou dosahovány v červenci a červnu resp. mezi 14:00–17:00 UTC. U radarového produktu detekce krup byl v porovnání s ostatními daty pozorován mírný posun maxima u ročního i denního chodu. Vypočteny byly též průměrné počty dní za rok s překročením různých limitních hodnot u jednotlivých produktů, což umožní objektivní nastavení limitů při požadavku detekce jevu s určitou časovou četností.

Prostorová proměnlivost konvektivních bouří je v případě dat detekce blesků méně zatížena rozdíly v kvalitě pokrytí. Prostorová proměnlivost odvozená z radarových dat je výrazně ovlivněna snímací strategií radarových měření a zejména vlivem vzdálenosti na radarový paprsek. Tyto dlouhodobé plošné charakteristiky jsou však velmi užitečné pro popis kvality/nejistoty plošného rozložení jednotlivých radarových produktů.

Vyhodnoceny a porovnány s výsledky z okolních zemí byly průměrné roční hustoty blesků do země a roční počty dní s pravděpodobností výskytu krup POH = 100 %. Na území Česka je nejčastěji dosahována hustota blesků do země v rozmezí 1–2,2



**Obr. 15 Rozložení délky života (a) a plochy (b) jednotlivých jader odrazivosti identifikovaných metodou CELLTRACK v období 2002–2016.**

Fig. 15. Distribution of lifetime (a) and area (b) of reflectivity cores identified by the CELLTRACK method during 2002–2016 period.

blesků.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup> a kroupy jsou detekovány v radarovém produktu POH = 100 % typicky 0,1 až 0,5 dnů v roce.

Studována byla též jádra odrazivosti identifikovaná metodou CELLTRACK. Vyhodnoceny byly trajektorie a pohybové vektory jader a též jejich plocha a doba života. Metodou CELLTRACK byly za zkoumané období identifikovány téměř 2 miliony jader odrazivosti, z jejichž analýzy je patrné, že počet jader klesá s rostoucí dobou života exponenciálně. Z rozložení relativních četností vektorů pohybu jader odrazivosti plyne, že nejčastěji se jádra odrazivosti pohybují z jihozápadu, což souhlasí s rozložением relativních četností vektorů proudění v tlakové hladině 500 hPa v daných dnech. Ve dnech bez zaznamenané



aktivity konvektivních bouří nejvyšších relativních četností dosahuje v hladině 500 hPa jižní proudění.

Dlouhodobé charakteristiky dat detekce blesků a radarových produktů přispívají k rozšíření znalostí o konvektivních bouřích. Mohou být použity ke zkvalitnění klimatologie konvektivních bouří na území Česka, ale též ke zlepšení nowcastingových a v-rovňových systémů ČHMÚ díky lepšímu popisu kvality radarových a bleskových produktů a díky možnosti odvození objektivních kritérií pro posouzení nebezpečnosti konvektivních bouří.

#### Poděkování:

Práce prezentovaná v tomto článku vznikla s částečnou podporou výzkumného projektu MV ČR “Program bezpečnostního výzkumu pro potřeby státu 2016–2021 (BV III/2 – VZ)”. Autoři děkují recenzentům za cenné připomínky, které pomohly zlepšit kvalitu výsledného článku.

#### Literatura:

- AMBURN, S. A., WOLF, P. L., 1997. VIL Density as a Hail Indicator. *Weather and Forecasting*, Vol. **12**, s. 473–478. ISSN 0882-8156.
- ANTONESCU, B., BURCEA, S., 2010. A cloud-to-ground lightning climatology for Romania. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. **138**, s. 579–591. ISSN 0027-0644.
- BETZ, H. D., SCHMIDT, K., OETTINGER, P., 2008. LINET – An International VLF/LF Lightning Detection Network in Europe. In: “Lightning: Principles, Instruments and Applications”, Eds. H.-D. Betz, U. Schumann, and P. Laroche, Ch. 5, Dordrecht (NL), Springer, s. 115–140. ISBN 978-1-4020-9079-0.
- CUMMINS, K. L., MURPHY, M. J., BARDO E. A., HISCOX, W. L., PYLE, R. B., PIFER, A. E., 1998. A Combined TOA/MDF Technology Upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **103**, s. 9035–9044. ISSN 2169-897X.
- 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.
- GOUDENHOOFDT, E., DELOBBE, L., 2013. Statistical Characteristics of Convective Storms in Belgium Derived from Volumetric Weather Radar Observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. **52**, s. 918–934. ISSN 1558-8424.
- HAVRÁNEK, P., KRÁČMAR, J., 1996. Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. *Meteorologické zprávy*, Vol. **49**, s. 81–84. ISSN 0026-1173.
- KALTENBOECK, R., STEINHEIMER, M., 2015. Radar-based severe storm climatology for Austrian complex orography related to vertical wind shear and atmospheric instability. *Atmospheric Research*, Vol. **158–159**, s. 216–230. ISSN 0169-8095.
- KRÁČMAR, J., 2000. Nový meteorologický radar Brdy v síti CZRAD. *Meteorologické zprávy*, roč. **53**, č. 6, s. 161–168. ISSN 0026-1173.
- 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 cracking algorithm and its use for deriving life cycle characteristics. *Atmospheric Research*, Vol. **93**, s. 317–327. ISSN 0169-8095.
- LUKACH, M., FORESTI, L., GIOT, O., DELOBBE, L., 2017. Estimating the occurrence and severity of hail based on 10 years of observations from weather radar in Belgium. *Meteorological Applications*, Vol. **24**, s. 250–259. ISSN 1350-4827.
- NISI, L., MARTIUS, O., HERING, A., KUNZE, M., GERMANN, U., 2016. Spatial and temporal distribution of hailstorms in the Alpine region: a long-term, high resolution, radar-based analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. **142**, s. 1590–1604. ISSN 0035-9009.
- NOVÁK, P., 2007. The Czech Hydrometeorological Institute’s Severe Storm Nowcasting System. *Atmospheric Research*, Vol. **83**, s. 450–457. ISSN 0169-8095.
- NOVÁK, P., ŽEJDLÍK, T., TOLASZ, R., 2009. Deset let využívání dat detekce blesků v českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické zprávy*, Vol. **62**, s. 165–172. ISSN 0026-1173.
- NOVÁK, P., FROLÍK, P., BŘEZKOVÁ, L., JANÁL, P., 2010. Improvements of Czech Precipitation Nowcasting System. In: *6th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2010)*, Sibiu, 6.–10. 9. 2010.
- NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2011. Climatology of lightning in the Czech Republic. *Atmospheric Research*, Vol. **100**, s. 318–333. ISSN 0169-8095.
- NOVÁK, P., 2012. Comparison of lightning data from the CELDN and the LINET detection networks over the Czech Republic territory in the 2010 convective season. *Meteorologické zprávy*, Vol. **65**, s. 161–167. 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.
- ORVILLE, R. E., HUFFINES, G. R., 2001. Cloud-to-ground lightning in the United States: NLDN results in the first decade, 1989–98. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. **129**, s. 1179–1193. ISSN 0027-0644.
- RAKOV, V. A., UMAN, M. A., 2003. Lightning. Physics and Effects. Cambridge University Press, 687 s., ISBN 0-521-58327-6.
- SCHULZ, W., CUMMINS, K., DIENDORFER, G., DORNINGER, M., 2005. Cloud-to-ground lightning in Austria: a 10-year study using data from a lightning location system. *Journal of geophysical research*, Vol. **110**, D09101. ISSN 2169-897X.
- SCHULZ, W., DIENDORFER, G., PEDEBOY, S., POELMAN, D. R., 2016. The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. **16**, s. 595–605. ISSN 1561-8633.
- SKRIPNIKOVÁ, K., ŘEZÁČOVÁ, D., 2014. Radar-based hail detection. *Atmospheric Research*, Vol. **144**, s. 175–185. ISSN 0169-8095.
- STRACHOTA, J., 1981. Využití meteorologického radiolokátoru TESLA RM-2 při zajišťování požadavků uživatelů meteorologických radiolokačních informací. *Meteorologické zprávy*, roč. **34**, č. 1, s. 4–8. ISSN 0026-1173.
- STRACHOTA, J., 1983. Lokalizace a identifikace nebezpečných letních konvektivních jevů meteorologickým radiolokátorem MRL-2. *Meteorologické zprávy*, roč. **36**, č. 1, s. 147–157. ISSN 0026-1173.
- TASZAREK, M., CZERNECKI, B., 2015. A Cloud-to-Ground Lightning Climatology for Poland. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. **143**, s. 4285–4304. ISSN 0027-0644.
- TOLASZ, R. a kol., 2007. Atlas podnebí Česka. Praha – Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s., ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), ISBN 978-80-244-1626-7 (UP).
- TOLASZ, R., 2008. Databázové zpracování klimatologických dat. *Sborník prací ČHMÚ*, sv. **52**, 1. vydání, 68 s., ISBN 978-80-86690-50-6.
- TUOMI, T. J., MÄKELÄ, A., 2008. Thunderstorm climate of Finland 1998–2007. *Geophysica*, Vol. **44** (1–2), s. 67–80. ISSN 0367-4231.
- WALDVOGEL, A., FEDERER, B., GRIMM, P., 1979. Criteria for the Detection of Hail Cells. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. **18**, s. 1521–1525. ISSN 0021-8952.
- WITT, A., EILTS, M. D., STUMPE, G. J., JOHNSON, J. T., MITCHEL, E. D., THOMAS, K. W., 1998. An Enhanced Hail Detection Algorithm for the WSR-88D. *Weather and Forecasting*, Vol. **13**, s. 286–303. ISSN 0882-8156.

#### Lektoři (Reviewers):

RNDr. Jan Kráčmar,

RNDr. Jan Sulan