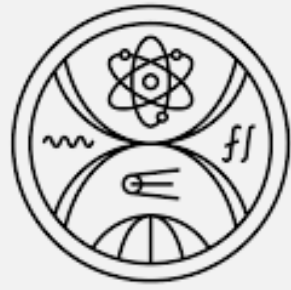


Klimatologické charakteristiky búrok na Slovensku

Peter Váš¹ , Juraj Bartok² , Ladislav Gaál² , Marián Jurašek³ , Marián Melo¹ , Martin Gera^{1*}



FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY
Univerzita Komenského
v Bratislave

1 Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava
2 MicroStep-MIS, Čavojského 1, 841 04 Bratislava
3 Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava
* Korešpondenčný autor. E-mail: martin.gera@fmph.uniba.sk



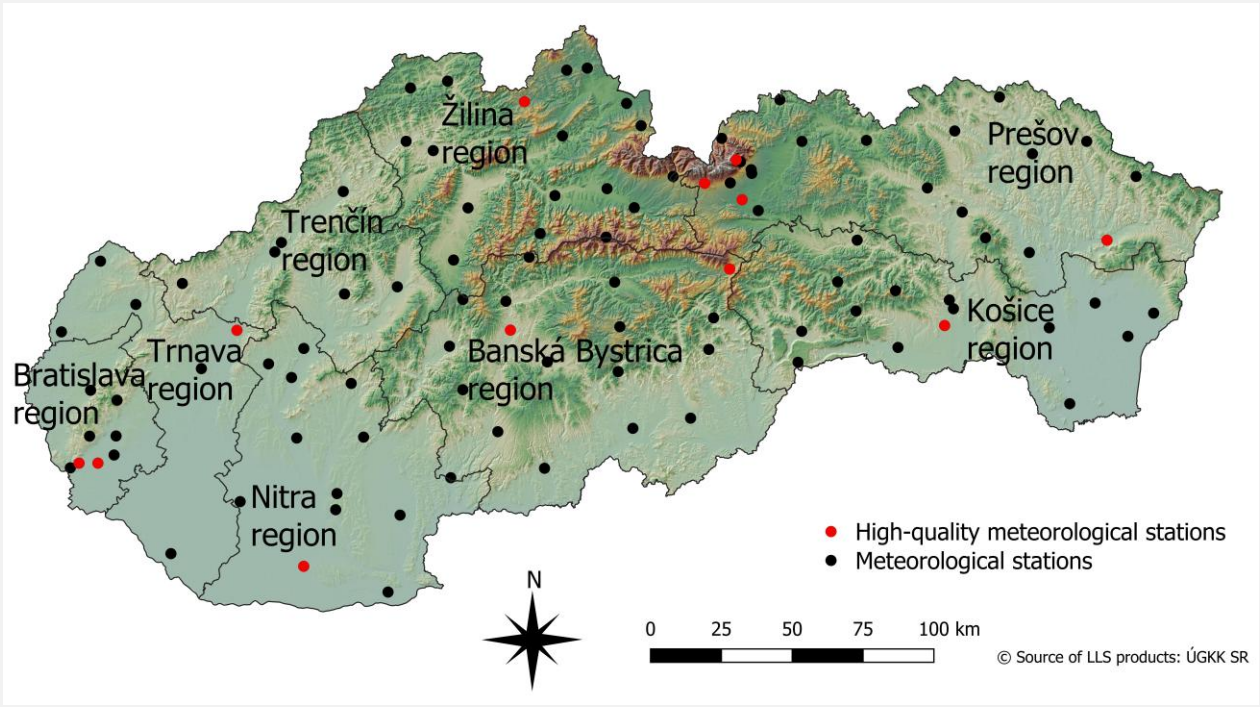
Táto štúdia sa zaoberá výskytom búrok na Slovensku na základe záznamov o búrkových dňoch z meteorologických staníc (1965–2023), radarových údajov a údajov zo systémov detekcie bleskov (2010–2023). Na identifikáciu búrok bol vyvinutý algoritmus využívajúci radarové a bleskové dáta. Časový výskyt búrok je analyzovaný na ročnej, sezónnej, dennej a hodinovej škále, s osobitnou pozornosťou venovanou priestorovému rozloženiu. Blízke búrky (do 3 km od danej lokality) sa vyskytujú v priemere 15 dní ročne, najčastejšie v júni a júli a prevažne medzi 15:00 a 17:00 CEST. Priestorové rozloženie je nehomogénne, so zvýšeným výskytom v strednej časti Slovenska (Muránska planina, Stolické a Volovské vrchy) a najnižším na západe. Najviac silných búrok sa vyskytuje v regióne Gemer. Výskyt búrok je analyzovaný aj vo vzťahu k makrosynoptickým typom podľa 28-člennej klasifikácie SHMÚ. Najpriaznivejšie podmienky sú spojené s typmi B, Bp, C a Cv. V posledných desaťročiach sa zaznamenal pokles počtu búrkových dní, ktorý môže súvisieť s klesajúcim trendom cyklonálnych synoptických situácií v Európe.

Dáta a metodika

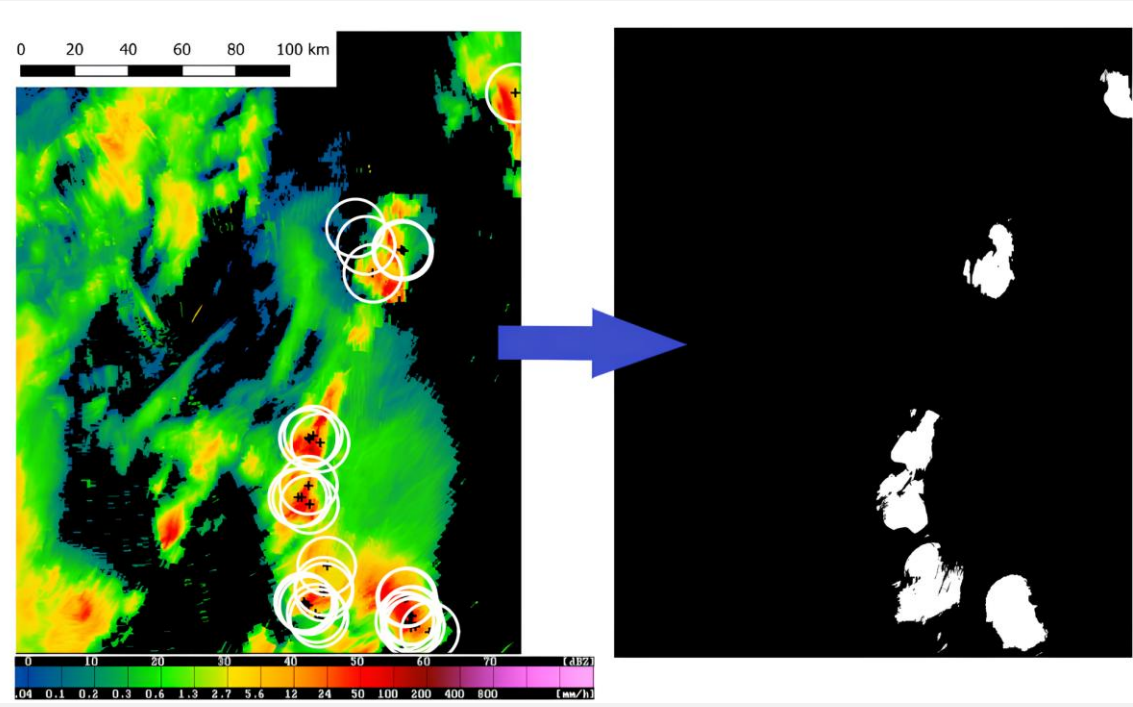
Analýza využíva záznamy o búrkových dňoch (TD) zo 169 meteorologických staníc SHMÚ za obdobie 1965–2023. Búrkový deň je definovaný ako deň, počas ktorého došlo k búrke v stanici alebo v jej blízkosti (<3 km). Pre validáciu bol vytvorený subset 12 vysokokvalitných staníc s kontinuálnymi záznamami, pričom pre celú analýzu sa využili všetky stanice. Počet TD bol štandardizovaný na jednu aktívnu stanicu za rok.

Radarové dáta (2010–2023) pochádzajú zo siete SHMÚ, pokrývajúcej celé Slovensko a jeho blízke okolie, s priestorovým rozlíšením približne 330 m a 5-minútovým intervalom snímok, použitý bol produkt cmx. Zároveň boli využité dáta bleskovej siete LINET (12 staníc na Slovensku), určujúce polohu a čas výboja s presnosťou okolo 100 m.

Pre identifikáciu búrok bol vyvinutý jednoduchý algoritmus kombinujúci radarové a bleskové dáta. Všetky pixely prekračujúce prahovú hodnotu odrazivosti zrážok (30 dBZ pre bežné, 50 dBZ pre silné búrky) boli označené za “búrkové”, ak v ich blízkosti do 10 km sa vyskytol aspoň jeden blesk v daných 5 minútach. Takto algoritmus určuje polohu a priestorové rozloženie búrok s časovým krokom 5 minút.



Poloha pozorovacích staníc na Slovensku s meraniami búrkových dní v období 1965–2023. Zobrazených je 105 z celkovo 169 staníc použitých v analýze.

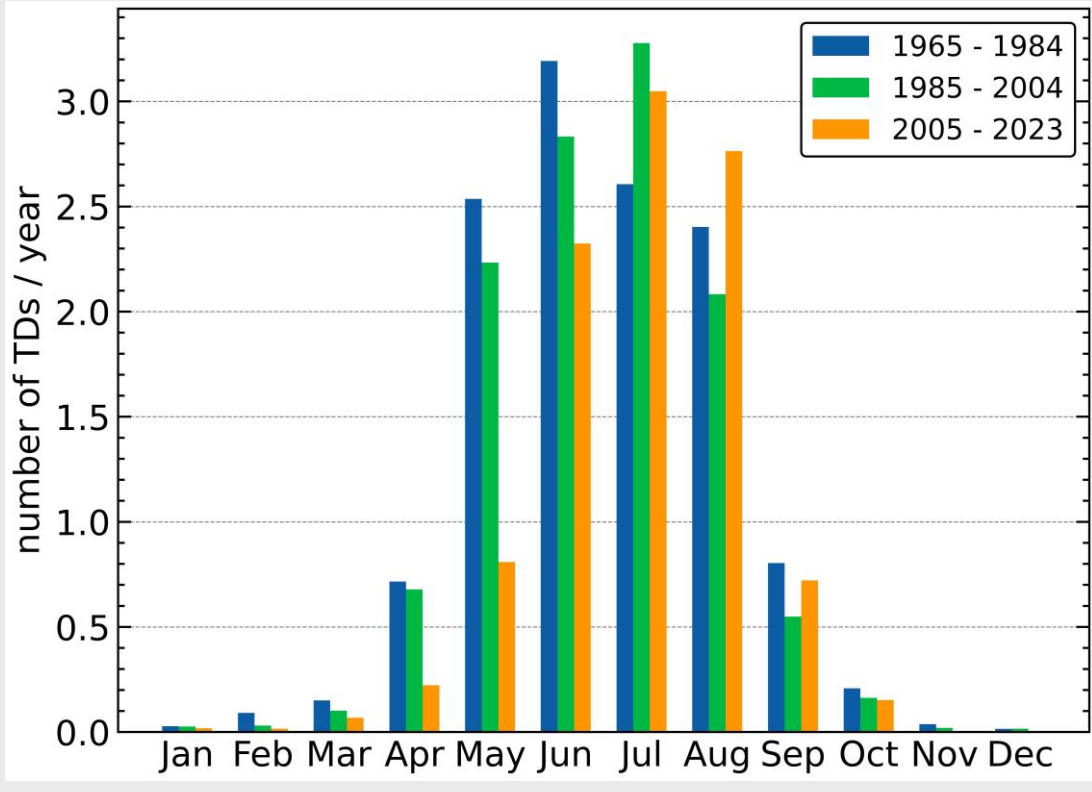


Schématické znázornenie použitého algoritmu na identifikáciu búrok pomocou radarových a bleskových údajov. Vľavo – časť pôvodného radarového snímku s vyznačenými bleskami „+“ a kružnicou s polomerom 10 km okolo bleskov. Vpravo – filtrované búrkové bunky.

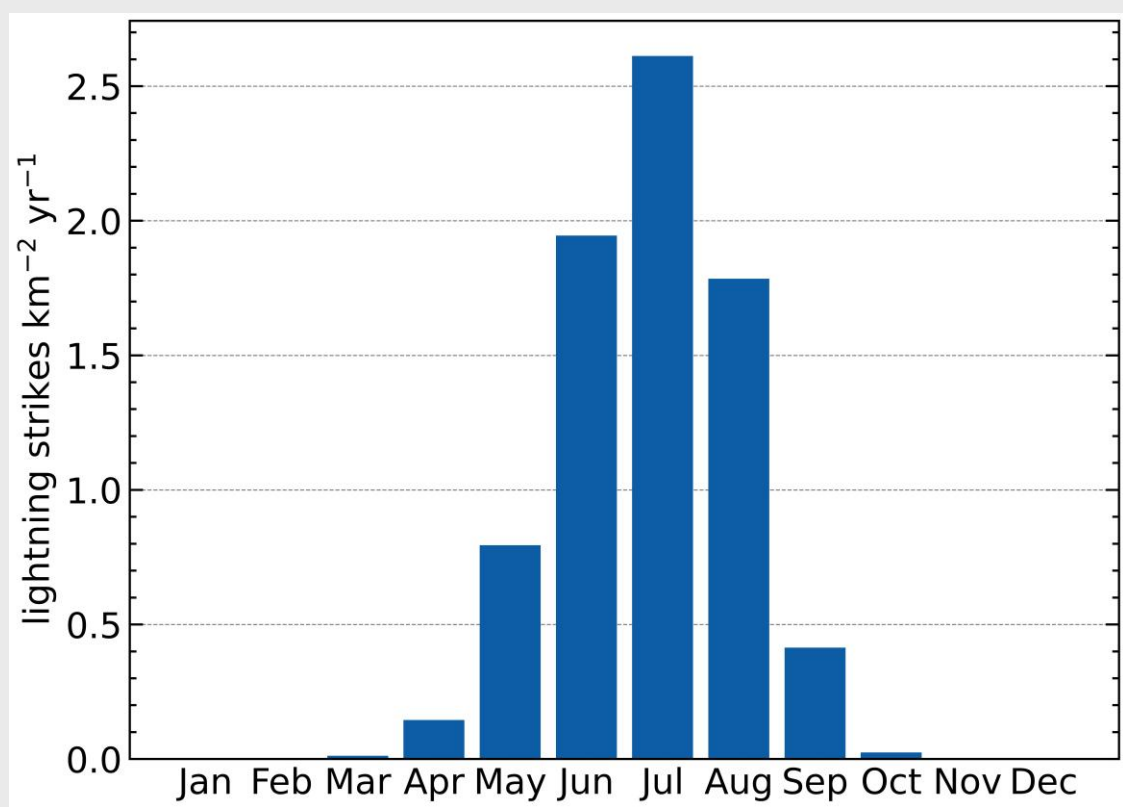
Časová distribúcia búrok

Priemerný počet búrkových dní (TD) na stanici je približne 15 za rok, čo znamená, že priemerná lokalita na Slovensku zažíva podobný počet TD. Na celom území Slovenska, keď sa TD počíta, ak nastala aspoň na jednej stanici, je priemerne 99 TD ročne. V posledných desaťročiach je pozorovateľný pokles počtu TD, najmä v letných mesiacoch, zatiaľ čo zníženie na jar, jeseň a zimu je miernejšie. Vrchol výskytu búrok nastáva v lete (jún–august), pričom sezónny posun za posledné dekády presunul maximum z mája–júla (1965–1984) na júl–august (2005–2023). Počet TD v letných mesiacoch dosahuje približne tri dni za mesiac.

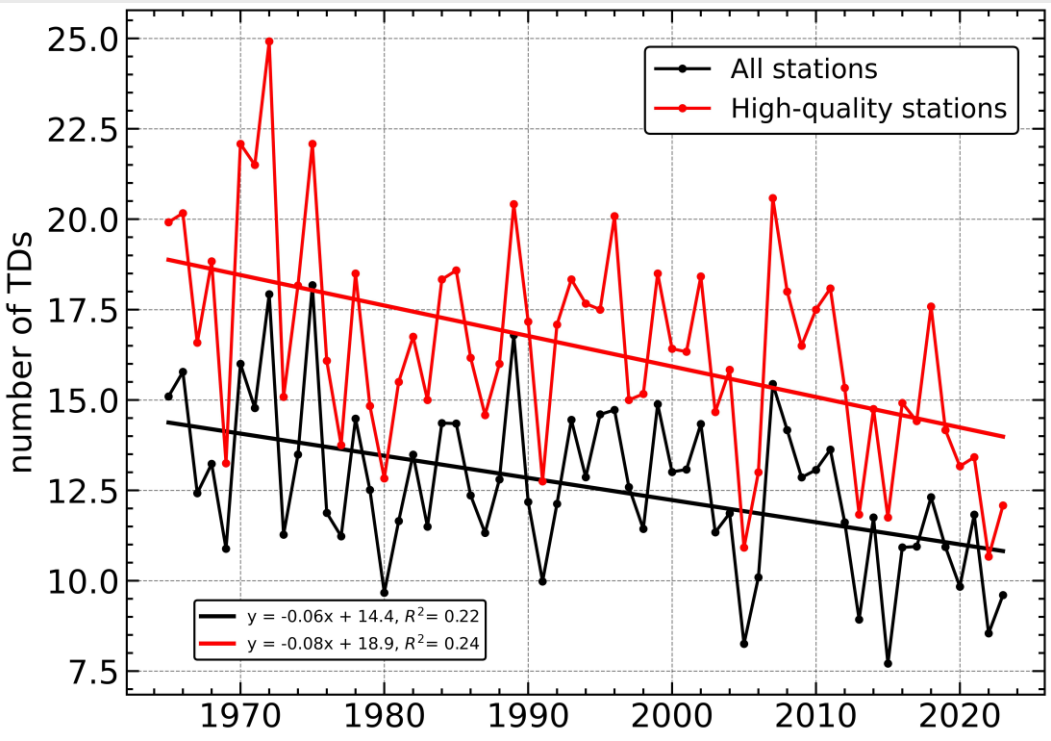
Denný priebeh búrok súvisí so zahrievaním spodnej vrstvy atmosféry, ktoré podporuje konvekciu a vertikálne pohyby. Ranná aktivita bleskov je najnižšia okolo 10:00, s vrcholom medzi 15:00 a 17:00 CEST. Tento denný cyklus zodpovedá fyzikálnym princípom tvorby búrok a súvisí s intenzitou konvekčných procesov a dostupnou vlhkosťou vzduchu.



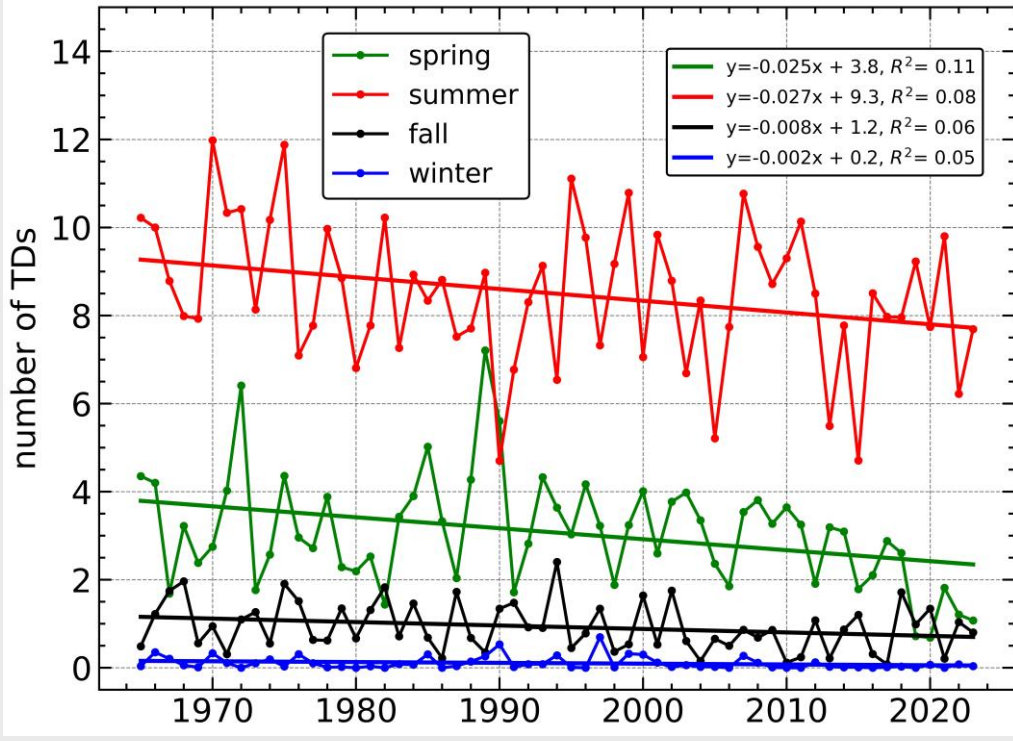
Priemerný počet dní s búrkami na pozorovacích staniciach v jednotlivých mesiacoch vo vybraných obdobiach.



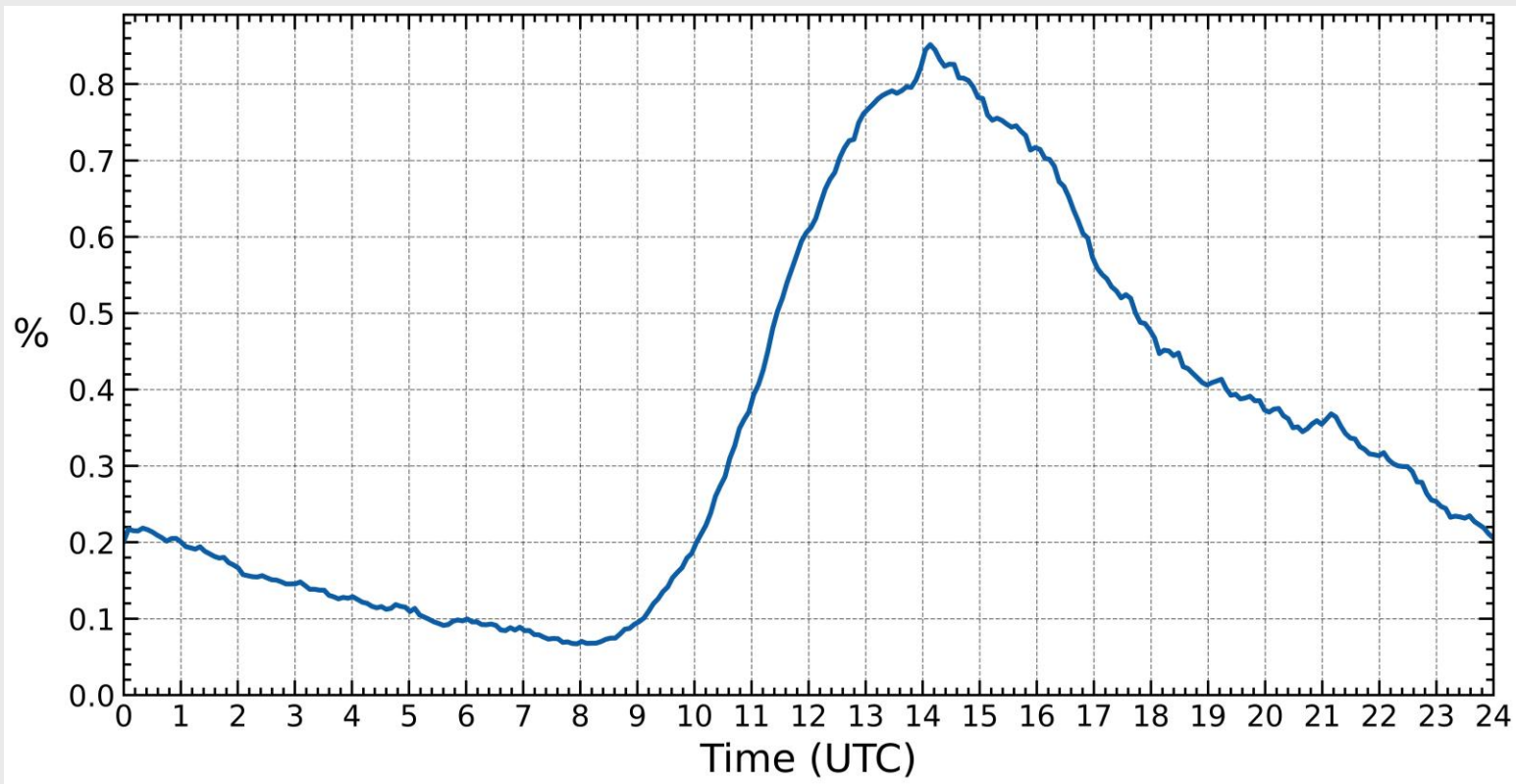
Priemerný počet bleskových výbojov za mesiac v období 10/2010–09/2023.



Vývoj priemerného počtu dní s búrkami za rok na pozorovacích staniciach v období 1965–2023.



Vývoj priemerného počtu dní s búrkami na všetkých pozorovacích staniciach podľa ročných období v období 1965–2023.

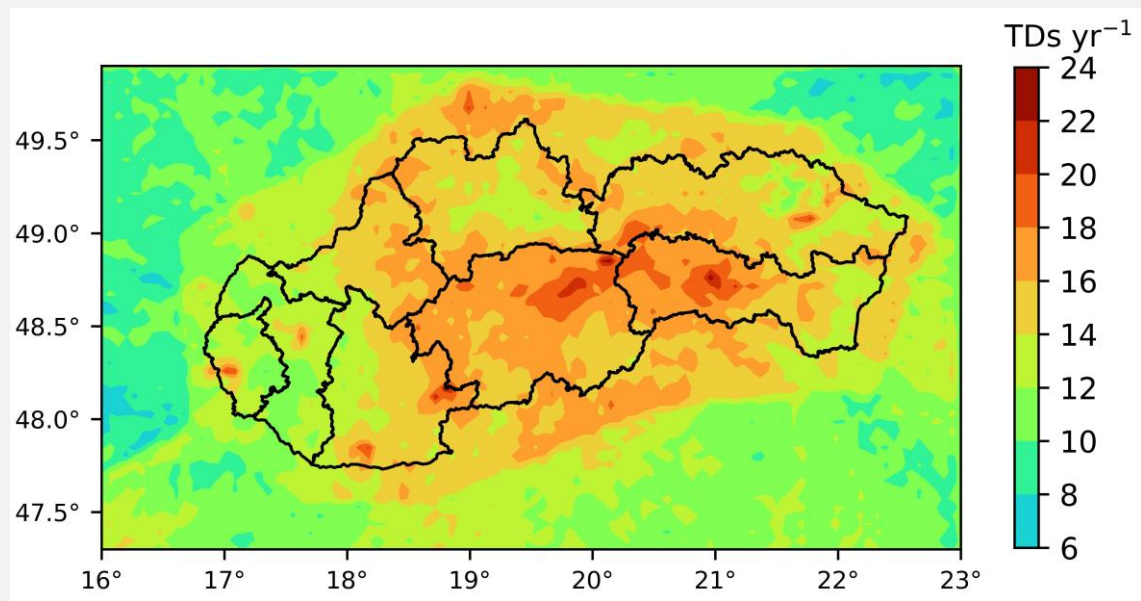


Denný chod výskytu bleskov na Slovensku v období 10/2010–09/2023 s časovým rozlíšením 5 minút. Na osi y je zobrazený percentuálny podiel z celkového počtu výbojov (15 miliónov) pre jednotlivé časové intervaly.

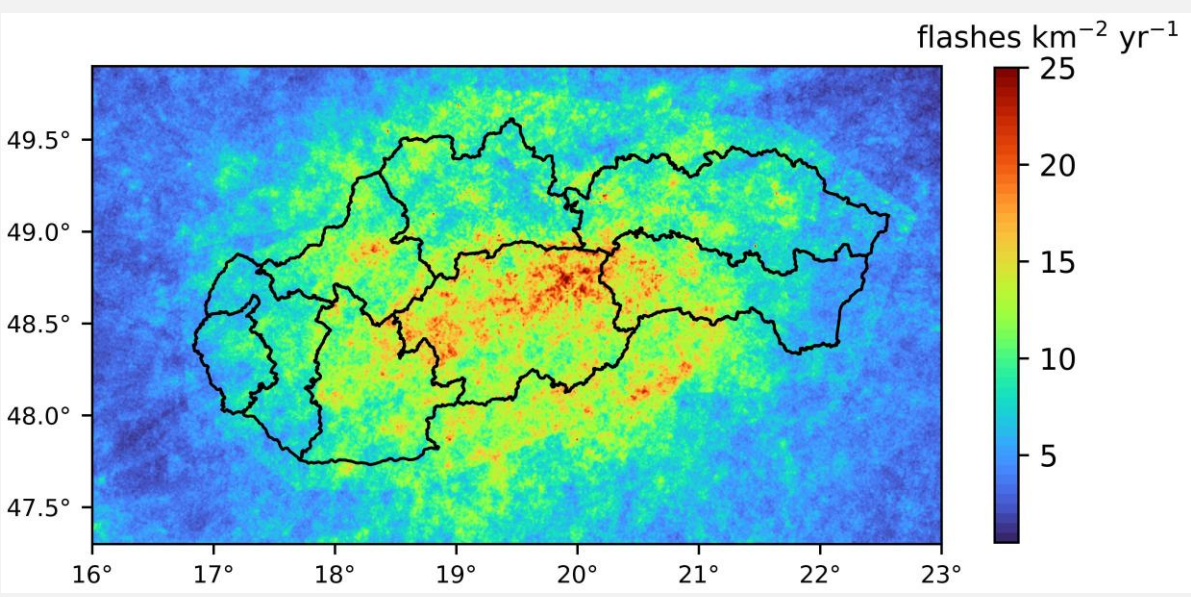
Priestorové rozloženie búrok

Priestorové rozloženie búrok na Slovensku je výrazne nehomogénne. Najvyššia frekvencia výskytu je zaznamenaná v južnej časti stredného Slovenska, najmä v Banskobystrickom kraji a v západnej časti Košického kraja. V týchto oblastiach je zároveň najvyššia blesková aktivita a najdlhšie trvanie búrok, čo naznačuje zvýšenú celkovú búrkovú aktivitu. Počet búrkových dní sa pohybuje približne od 12 na západe Slovenska do 20 v oblastiach s najvyššou aktivitou, s priemernou hodnotou okolo 15 dní ročne.

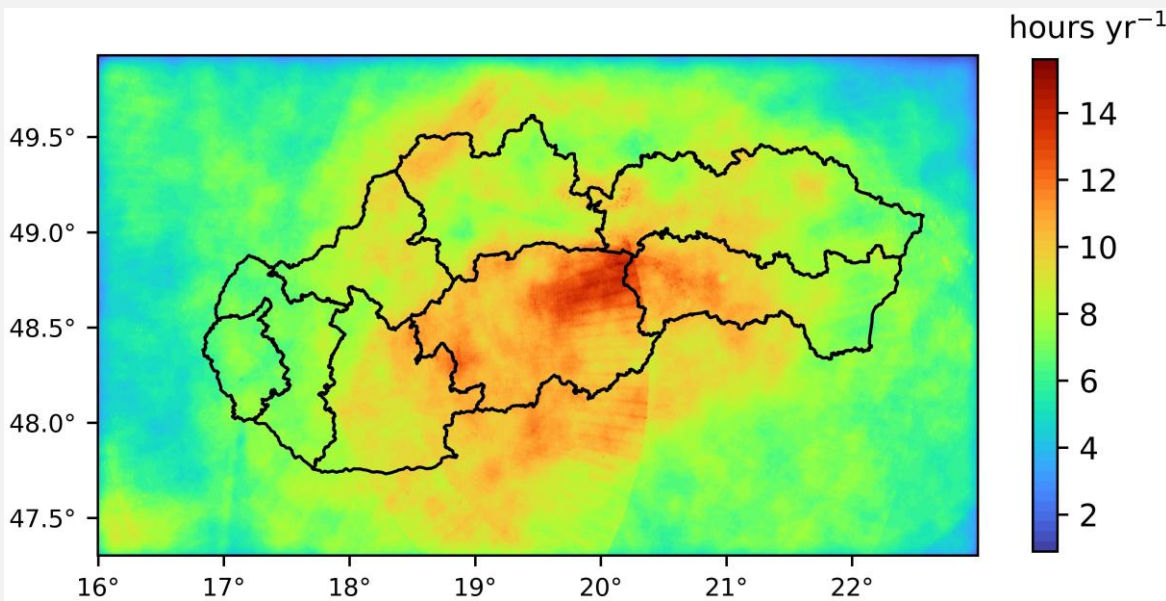
Priemerný počet bleskov dosahuje na území Slovenska približne 10 výbojov na km² za rok, pričom najvyššie hodnoty sa vyskytujú na strednom Slovensku. Zvýšená búrková aktivita je viazaná najmä na stredne vysoké pohoria (Muránska planina, Stolické a Volovské vrchy), zatiaľ čo v rozsiahlych kotlinách severného Slovenska je výskyt búrok nižší. Rozloženie búrok úzko súvisí s lokálnou orografiou, prúdením a podmienkami pre konvekciu.



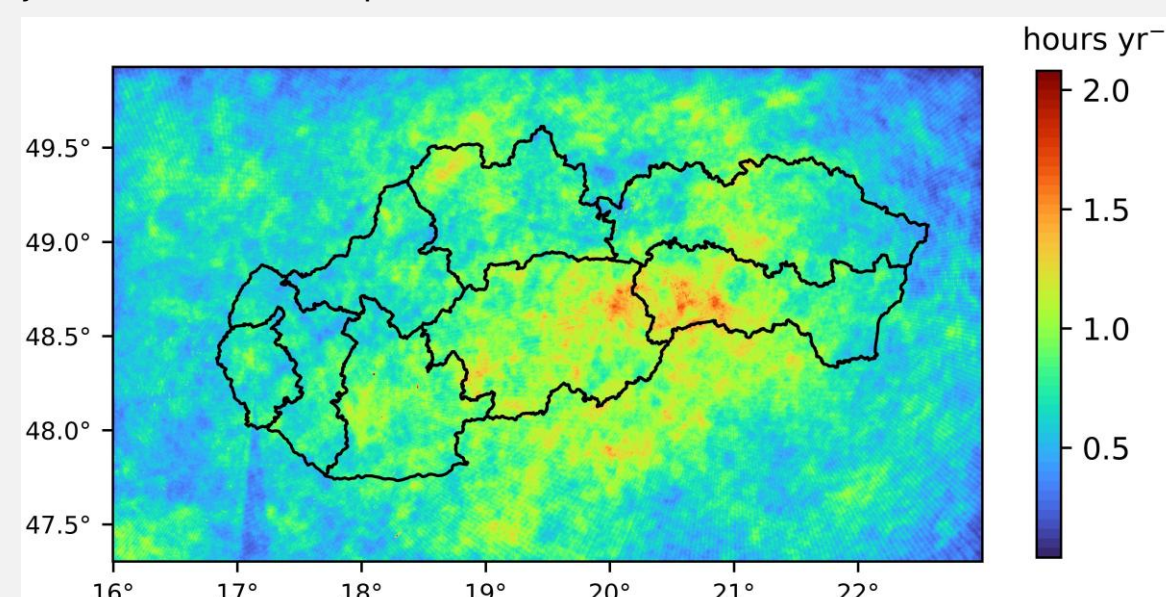
Priestorové rozloženie dní s búrkami na Slovensku, určené na základe bleskovej aktivity v gride 5 km × 5 km, v období 10/2010–09/2023.



Mapa absolútnej frekvencie bleskov na Slovensku v gride 1 km × 1 km, zobrazujúca počet bleskov na km² za rok v období 10/2010–09/2023.



Priestorové rozloženie trvania búrok na Slovensku podľa radarov a bleskov, pre búrky s odrazivosťou nad 30 dBZ, v období 10/2010–09/2023. Pre každý pixel s rozlíšením 330 m × 330 m je zobrazený celkový priemerný trvanie búrok v hodinách za rok.

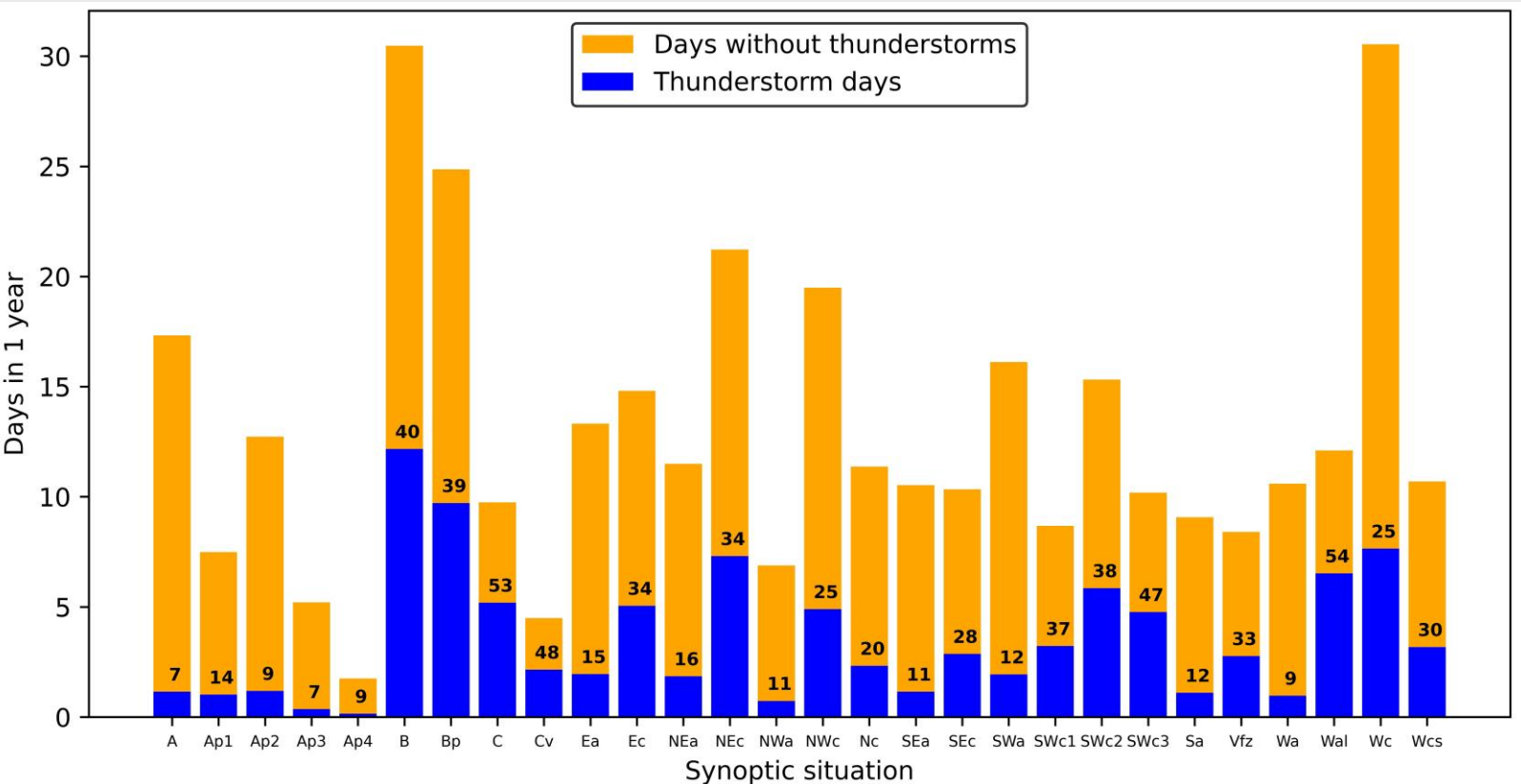


Priestorové rozloženie trvania búrok na Slovensku podľa rovnakej metodiky ako obr. vyššie, tentokrát pre silné búrky s odrazivosťou nad 50 dBZ.

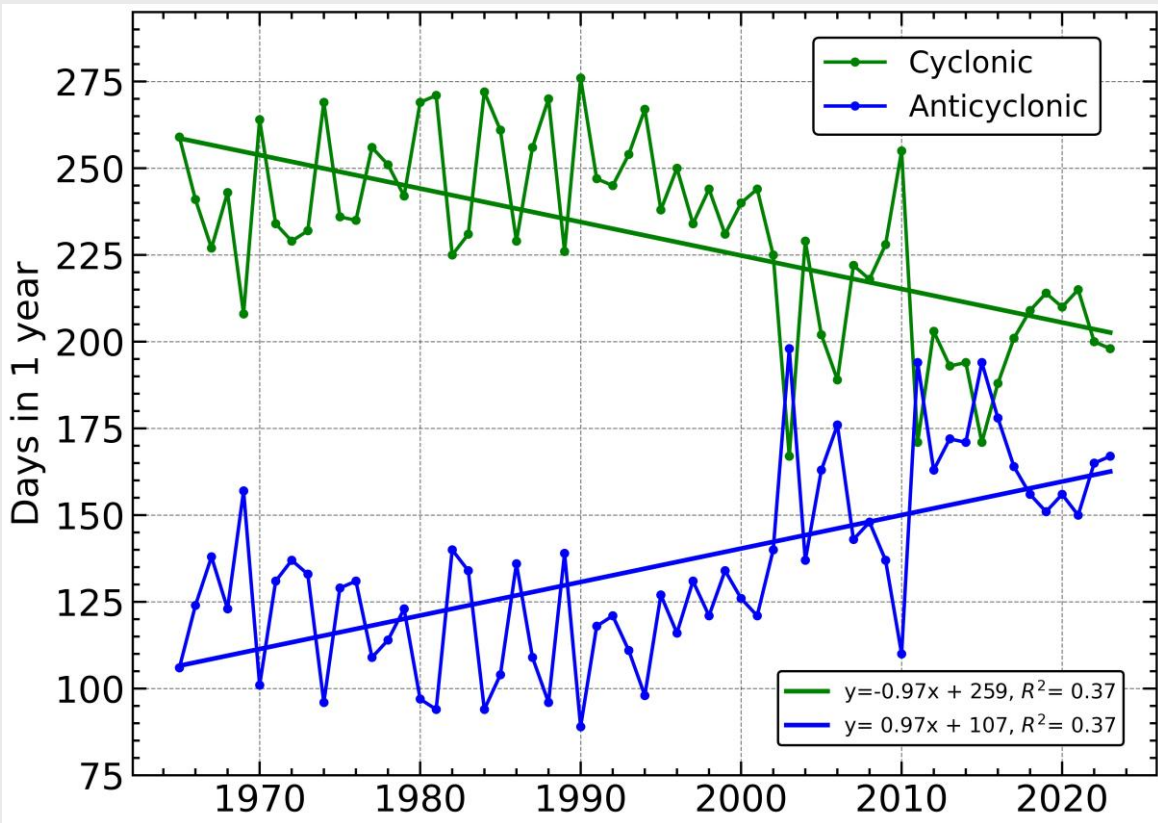
Klasifikácia búrok podľa synoptických typov

Makrosynoptické typy výrazne ovplyvňujú výskyt búrok na území Slovenska. Väčšina búrkových dní (TD) sa vyskytuje počas cyklonálnych situácií, zatiaľ čo pri anticyklonálnych typoch je počet TD nízky. V priemere sa na území Slovenska zaznamenáva 99 TD ročne, pričom cyklonálne typy B a Bp dosahujú viac ako 10 TD za rok a pravdepodobnosť výskytu búrkového dňa presahuje 40–50 %. Naopak, anticyklonálne typy majú pravdepodobnosť výskytu TD približne 10 %, výnimkou je typ Wal, ktorý sa správa podobne ako cyklonálne situácie.

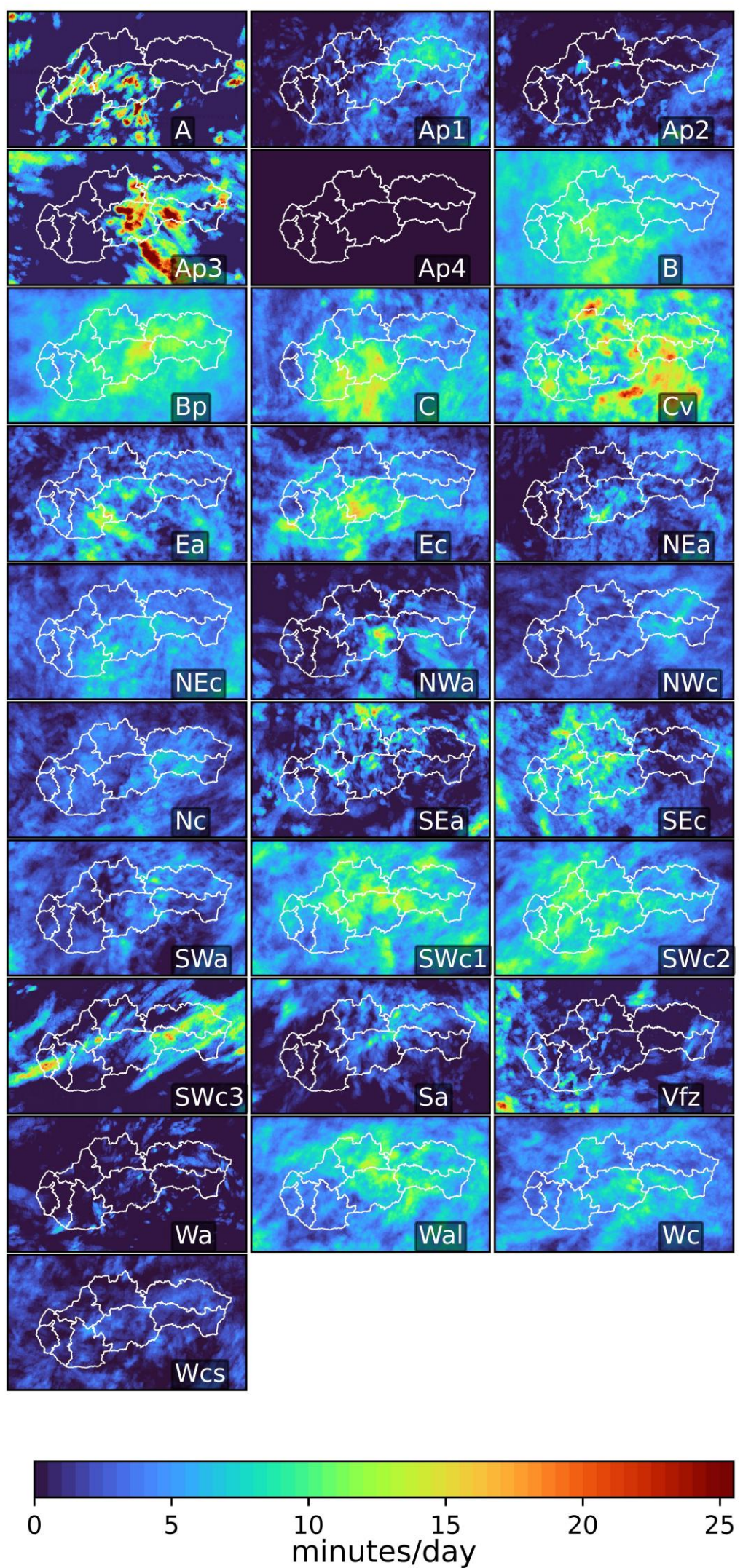
Dlhodobý vývoj ukazuje pokles výskytu cyklonálnych typov a nárast anticyklonálnych situácií, čo pravdepodobne prispieva k poklesu počtu búrkových dní v posledných desaťročiach. Hoci typy B a Bp majú najvyšší počet TD, najdlhšie trvanie búrok je viazané na typy C, Cv a Ap3. Priestorové rozloženie búrok sa pri niektorých typoch sústreďuje do konkrétnych oblastí, zatiaľ čo pri iných je rozloženie približne homogénne.



Priemerný počet dní s búrkami (TD) pre jednotlivé synoptické typy v porovnaní s celkovým počtom dní výskytu každého synoptického typu počas roka v období 1965–2023. Súčet hodnôt všetkých stĺpcov je 365. Zobrazená je aj percentuálna hodnota vyjadrujúca pravdepodobnosť výskytu dňa s búrkou. Údaje boli získané z TD na staniciach na celom území Slovenska.



Vývoj počtu dní s cyklonálnymi a anticyklonálnymi synoptickými typmi v období 1965–2023.



Priestorové rozloženie trvania búrok na Slovensku podľa radarov a bleskov pre jednotlivé synoptické situácie, normalizované podľa ich výskytu. Časová miera vyjadruje priemerné trvanie búrok v minútach na 1 deň situácie.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0409 (PRUDENCE) a zmluvy č. APVV-20-0374 (Regionálna detekcia, atribúcia a projekcia vplyvov klimatickej variability a zmeny klímy na režimý odtoku na Slovensku). Výskum bol ďalej financovaný v rámci Programu financovania multilaterálnych vedeckých a technologických kooperačných projektov v dunajskom regióne Agentúrou na podporu výskumu a vývoja, grant č. DS-FR-22-0017.

Práca bola pôvodne publikovaná pod názvom: Váš et al., 2025. Frequency shifts in thunderstorm patterns as key precursors to flash flood events. Journal of Hydrology and Hydromechanics.