MOŽNÝ VPLYV KLIMATICKEJ ZMENY NA PRIESTOROVÝ A DYNAMICKO-KLIMATOLOGICKÝ VÝSKYT BÚROK NA SLOVENSKU

Jozef Pecho

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na štatistickú, priestorovú a dynamicko-klimatologickú analýzu početnosti dní s búrkou v rámci jednotlivých regiónov Slovenska v období 1951, resp. 1961 až 2002. Hlavným cieľom riešenia tejto závažnej problematiky bolo na základe výsledkov vyššie uvedených analýz hľadať určité logicky zdôvodniteľné súvislosti medzi dlhodobými priestorovými zmenami výskytu búrok a zmenami veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry. Na štatistickú a dynamicko-klimatologickú analýzu sme použili údaje z 55 meteorologických, resp. klimatologických staníc. Pri hodnotení možného vzťahu medzi klimatickou zmenou a charakteristikami búrkovej činnosti sme uprednostňovali metódy štatistického hodnotenia časových radov (štatistické trendy a cykličnosť). V rámci dynamicko-klimatologickej analýzy sme sa pokúsili zhodnotiť vplyv zmien veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry na dlhodobé zmeny priestorového výskytu búrok, a to najmä v letnom období.

Kľúčové slová: búrky na Slovensku, klimatická zmena, štatistická analýza, dynamicko-klimatologická analýza, dlhé časové rady

Possible impact of climate change on spatial and dynamic-climatological occurrence of thunderstorms in Slovakia. *Climatological analysis of long-term changes in spatial and dynamic-climatological incidence of thunderstorms in Slovakia in the 1951, resp. 1961 – 2002 period is presented in this contribution. Statistical evaluation of long-term tendency of thunderstorms occurrence in particular regions of Slovakia and attempt of correct interpretation of mentioned changes is the prime object of presented contribution. The long-term data series from 55 meteorological stations have been used for statistical, spatial and dynamic-climatological analysis. In the presented contribution we have tried to find some logical relation between the changes in total number of thunderstorms on the one hand and the changes in large-scale circulation over the Slovakia on the other hand.*

Key words: thunderstorms in Slovakia, climate change, statistical analysis, dynamic-climatological analysis, long-term time serie

.

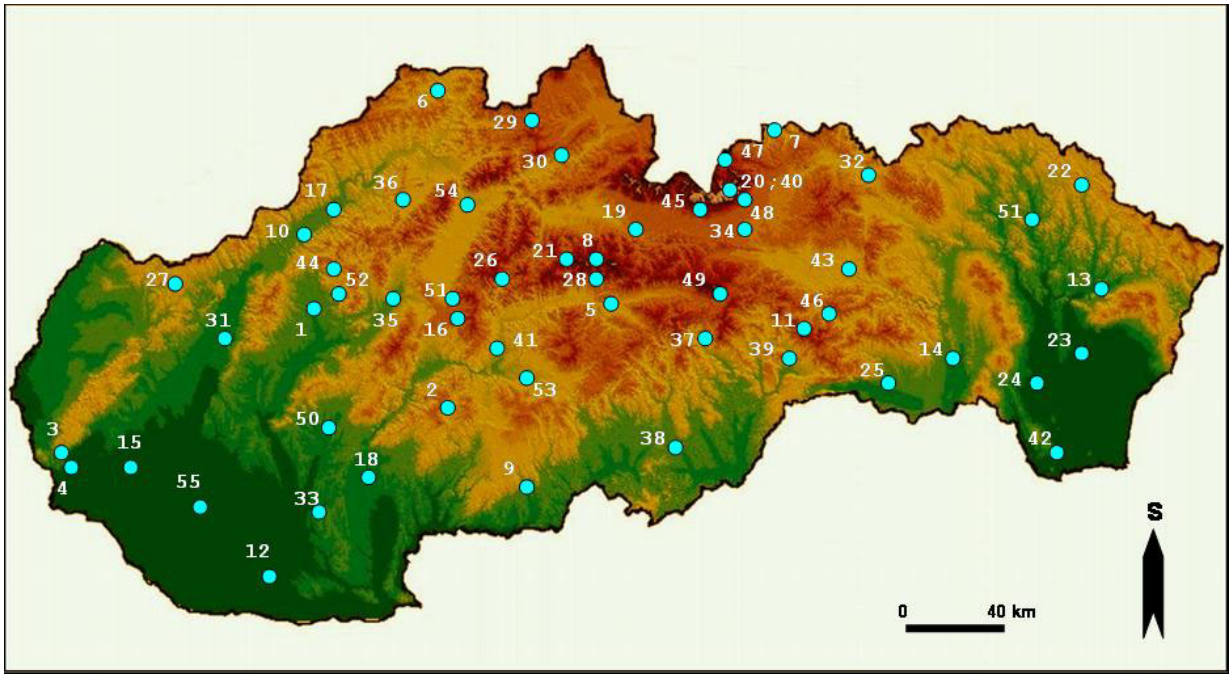
Úvod

Búrky, patriace nepochybne medzi najatraktívnejšie a súčasne aj najnebezpečnejšie prírodné javy, sa podobne ako iné extrémne prejavy počasia stávajú v poslednom období stredobodom pozornosti tak odbornej ako aj laickej verejnosti, a to najmä v súvislosti s očakávanými prejavmi klimatickej zmeny. Predpokladá sa, že najmä rast teploty vzduchu prízemnej vrstvy atmosféry môže do značnej miery ovplyvniť dynamiku atmosférických procesov vedúcich k vzniku búrok. Opodstatnenosť riešenia tohto závažného problému vyplýva najmä z potreby predikcie všeobecného charakteru búrkovej činnosti na Slovensku v nasledujúcom období, ktorého klimatické podmienky budú zrejme do značnej miery ovplyvnené už spomínanou klimatickou zmenou.

Prvým z cieľov predkladaného príspevku je analyzovať priestorové a časové zmeny výskytu búrok na Slovensku v období rokov 1951, resp. 1961 až 2002, a to na základe zmien počtu dní s búrkou pozorovaných na meteorologických staniciach v rôznych regiónoch Slovenska. Druhým, zrejme ešte dôležitejším cieľom, je na základe výsledkov dynamicko-klimatologickej analýzy zhodnotiť citlivosť jednotlivých regiónov na výskyt búrok počas rôznych poveternostných situácií, a to predovšetkým v letnom období. Dlhodobé zmeny v početnosti búrok v rámci jednotlivých synoptických typov počasia môžu veľa napovedať najmä o meniacich sa pomeroch veľkopriestorovej cirkulácie, ktorých pôsobením zrejme dochádza aj k zmenám priestorového výskytu búrok na Slovensku. Popri potvrdení tohto predpokladu je nevyhnutné zistiť aj to, ktoré typy synoptických situácií majú najväčší podiel na týchto zmenách a aký je ich konkrétny prejav v jednotlivých regiónoch Slovenska.

Použité údaje

Na štatistickú analýzu sme použili údaje z 55 meteorologických, resp. klimatologických staníc, ktorých výber ovplyvnila požiadavka tak na dostatočne dlhé a kvalitné časové rady pozorovaných búrkových javov (obdobie: 1951-2002, resp. 1961-2002), ako aj na polohu jednotlivých staníc v rámci regiónov s pomerne častým výskytom búrok počas roka.
V prípade analýzy zmien priestorového výskytu búrok v uvedenom období sme vychádzali z hodnotenia počtu dní s búrkou na vybraných staniciach za rok, sezóny (jar: III. - V.; leto: VI. – VIII.; jeseň: IX. – XI.; a zima: XII. – II.), či iné klimaticky významné obdobia, ako napríklad teplý (IV. – IX.) a chladný (X. – III.) polrok. Z hľadiska predmetu práce sme sa v štatistickej analýze sústredili na hodnotenie vývojových trendov uvedeného prvku v jednotlivých regiónoch a uvedených sezónach, pričom sme využili možnosti v klimatológii bežne používaných štatistických metód výskumu.. Priestorové rozloženie použitých meteorologických staníc je ilustračne znázornené na Obr.1 (kompletný zoznam je uvedený v Tab.1).



Obr.1 Priestorové rozloženie použitých meteorologických staníc na Slovensku (číselné označenie zodpovedá ich poradiu v Tab.1).

Fig.1 Spatial distribution of used meteorological stations in Slovakia (the numbers of stations in Fig.1 agree with numerical order in Tab.1).

Pre potreby dynamicko-klimatologickej analýze bolo potrebné „transformovať“ počet dni s búrkou na konkrétny dátum výskytu búrok v rámci celého 51, resp. 41-ročného časového radu. V tomto prípade sme použili informačnú bázu z 50 meteorologických staníc. Nemenej významnými boli aj informácie o výskyte vybraných typov synoptických situácií v sledovanom období nad územím Slovenska, ktoré sú pre každý rok prehľadne publikované v Meteorologických správach.
Závažným problémov použitých časových radov uvedených prvkov je hodnotenie ich spoľahlivosti, resp. homogenity. Obzvlášť sa to dotýka spoľahlivosti časových radov počtu dní s búrkou, resp. termínov výskytu búrok. Je všeobecne známe, že metodika pozorovania búrok je značne zaťažená subjektivitou a často krát aj obmedzenými schopnosťami pozorovateľa identifikovať búrku hlavne v tých prípadoch, keď sa jav vyskytol vo väčšej vzdialenosti (nad 3 km) od pozorovacej stanice, prípadne mimo pozorovacieho termínu (7., 14. a 21. hod.), predovšetkým v nočných hodinách.

Tab.1 Zoznam použitých meteorologických staníc (P – poradie; v zátvorke sú uvedené obdobia použité v štatistickej analýze).

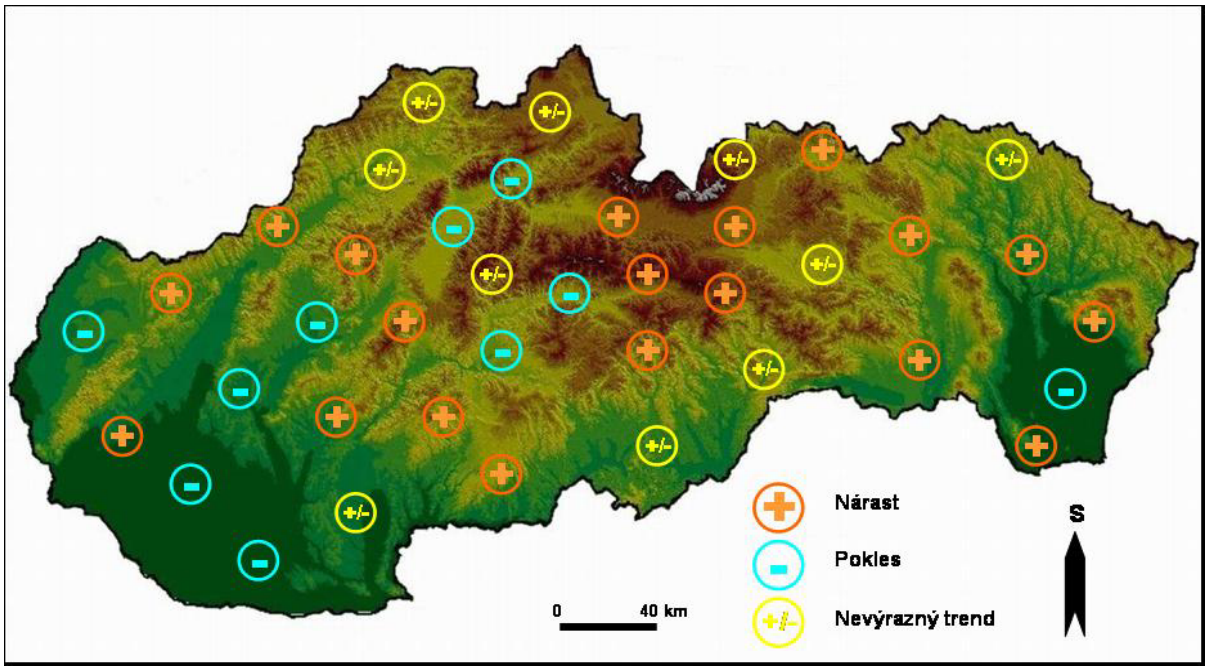
Tab.1 The list of used meteorological stations (P – numerical order, the used time periods are mentioned in the round brackets).

P	Názov stanice	P	Názov stanice
1.	**Bánovce nad Bebravou** (1951-2002)	28.	**Mýto pod Ďumbierom** (1951-2002)
2.	**Banská Štiavnica** (1961-2002)	29.	**Oravská Lesná** (1951-2002)
3.	**Bratislava - Koliba** (1951-2002)	30.	**Oravská Podzámok** (1961-2002)
4.	**Bratislava - letisko** (1951-2002)	31.	**Piešťany** (1951-2002)
5.	**Brezno** (1961-2002)	32.	**Plaveč** (1961-2002)
6.	**Čadca** (1961-2002)	33.	**Podhájska** (1961-2002)
7.	**Červený Kláštor** (1961-2002)	34.	**Poprad** (1951-2002)
8.	**Chopok** (1961-2002)	35.	**Prievidza** (1951-2002)
9.	**Dolné Plachtince** (19621-2002)	36.	**Rajec** (1951-2002)
10.	**Dubnica** (1951-2002)	37.	**Revúca** (1961-2002)
11.	**Henclová** (1961-2002)	38.	**Rimavská Sobota** (1961-2002)
12.	**Hurbanovo** (1951-2002)	39.	**Rožňava** (1961-2002)
13.	**Kamenica** (1951-2002)	40.	**Skalnaté Pleso** (1961-2002)
14.	**Košice-letisko** (1951-2002)	41.	**Sliač** (1951-2002)
15.	**Kráľová pri Senci** (1961-2002)	42.	**Somotor** (1951-2002)
16.	**Kremnica** (1951-2002)	43.	**Spišské Vlachy** (1961-2002)
17.	**Ladce** (1951-2002)	44.	**Šípkov** (1951-2002)
18.	**Levice** (1961-2002)	45.	**Štrbské Pleso** (1951-2002)
19.	**Liptovský Hrádok** (1951-2002)	46.	**Švedlár** (1951-2002)
20.	**Lomnický štít** (1951-2002)	47.	**Tatranská Javorina** (1961-2002)
21.	**Magurka** (1951-2002)	48.	**Tatranská Lomnica** (1961-2002)
22.	**Medzilaborce** (1961-2002)	49.	**Telgárt** (1951-2002)
23.	**Michalovce** (1961-2002)	50.	**Tesárske Mlyňany** (1961-2002)
24.	**Milhostov** (1961-2002)	51.	**Turček** (1961-2002)
25.	**Moldava nad Bodvou** (1961-2002)	52.	**Uhrovec** (1951-2002)
26.	**Motyčky** (1961-2002)	53.	**Vígľaš Pstruša** (1961-2002)
27.	**Myjava** (1961-2002)	54.	**Vrútky** (1961-2002)
		55.	**Žiharec** (1961-2002)

Dôležité je si tiež uvedomiť, že najmä v oblastiach s veľmi členitým reliéfom je celkový počet pozorovaných búrok o niečo nižší, ako by v skutočnosti mal byť. Tento problém je najlepšie ilustrovaný tým, že nie každá stanica poskytuje informácie o celkovom počte búrok, ktoré sa objavili v blízkom okolí stanice v rámci konkrétneho dňa. Mnohé stanice uvádzajú len jediným symbolom, či sa v danom dní búrky vyskytli, alebo nie (počet búrok neuvádzajú, pretože je to takto jednoduchšie). Z tohto dôvodu bolo vhodnejšie použiť objektívnejší prvok charakterizujúci frekvenciu výskytu búrok, a to počet dní s búrkou.

Výsledky štatistickej analýzy

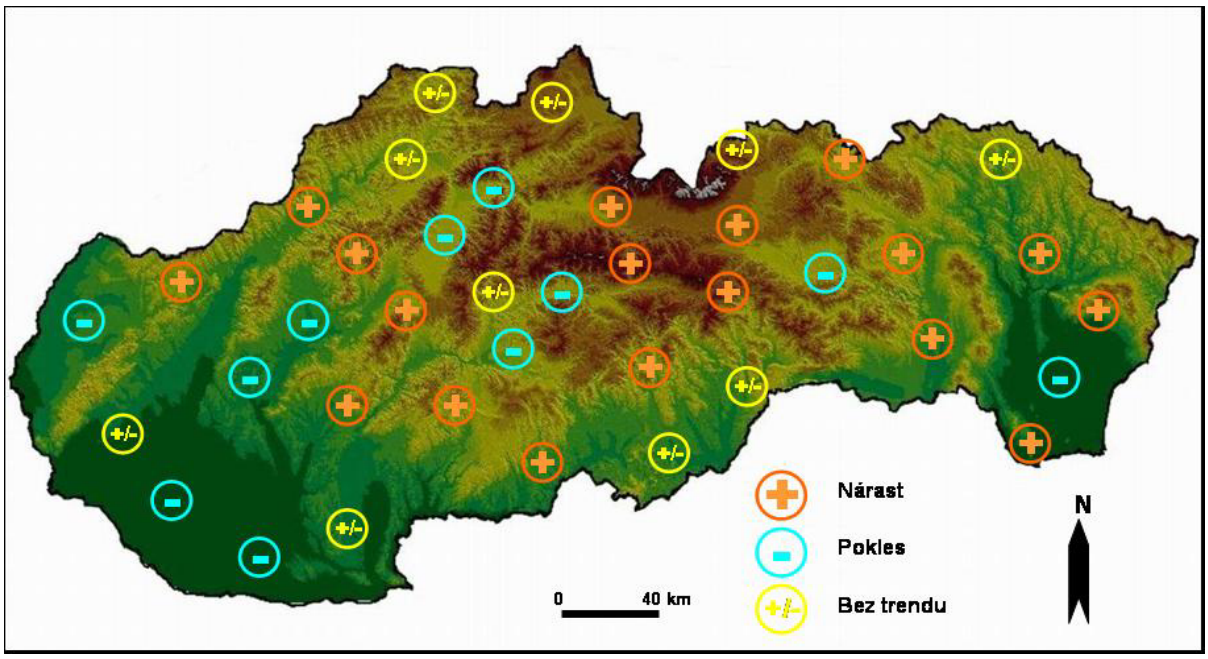
Na základe dosiahnutých výsledkov analýzy je možné potvrdiť všeobecný nárast počtu dní s búrkou na väčšej časti územia Slovenska, aj keď je potrebné pripomenúť, že sa potvrdili signifikantné rozdiely tak medzi jednotlivými regiónmi ako aj ročnými obdobiami (najmä teplým a chladným polrokom; Obr.2; 3 a 4).
Zatiaľ čo pre centrálne časti našich nížin je charakteristický celkový pokles búrkovej činnosti (Hurbanovo o takmer 15%; Obr.5), a to predovšetkým v letnom období, v ich okrajových častiach nie je tento pokles tak výrazný, naopak vo väčšine prípadov je nahradený miernym až výrazným rastom. Podobné trendy sa prejavujú aj v jarných mesiacoch. Naopak v chladnom polroku, predovšetkým v jesennom období, sa preukázal na väčšine staníc nezávisle od ich polohy trvalý nárast počtu dní s búrkou, ktorý je výraznejší najmä v posledných dvoch desaťročiach (80. a 90. roky 20. storočia). Veľmi podobný charakter zmien sa odzrkadľuje aj v dlhodobých trendoch výskytu búrok v rámci južnej časti stredného Slovenska (Juhoslovenská kotlina).



Obr.2 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien ročného počtu dní s búrkou na Slovensku za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

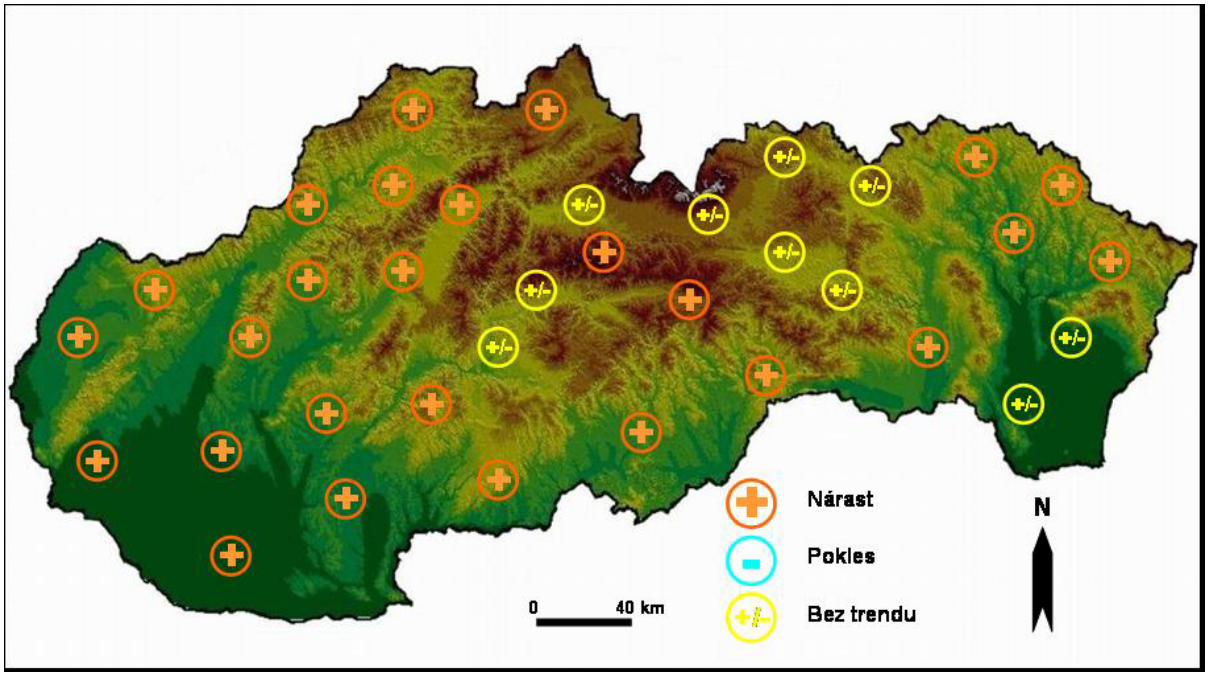
Fig.2 Spatial distribution of long-term changes in annual number of days with thunderstorm in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Veľmi zaujímavo sa správa vývoj častosti výskytu búrok v horských oblastiach stredného Slovenska. Pre južnejšie situované kotliny tohto regiónu (napr. Zvolenská kotlina a Horehronské podolie) je prekvapujúco typický výrazne klesajúci trend početnosti výskytu búrok vo všetkých ročných obdobiach, predovšetkým však v lete (Vigľaš-Pstruša: pokles až o takmer 40%). Pre horské oblasti stredného Slovenska je v sledovanom období naopak príznačné všeobecné zvýšenie početnosti búrkových dní vo všetkých ročných obdobiach. Podstatne odlišný charakter dlhodobých zmien sa prejavuje severne od horského masívu Nízkych Tatier, a to predovšetkým v kotlinových polohách, v rámci ktorých všetky sledované stanice zaznamenali nárast výskytu búrok, a to opäť najmä v letnom období (Poprad: nárast o takmer 40%).
Určitú podobnosť vo vývoji častosti výskytu búrok vykazujú lokality nachádzajúce sa na náveterných stranách pohorí v severnej a severozápadnej časti Slovenska. Meteorologické stanice nezaznamenali v týchto oblastiach za posledných 50 rokov žiadne významnejšie zmeny výskytu búrok.
V prípade niektorých staníc bolo možné v študovaných časových radoch identifikovať istú podobnosť vo výskyte viacročných cyklov (napr. Somotor, Oravská Lesná a pod.) (Obr.6). Na základe toho je možné si všimnúť, najmä v prípade počtu dní s búrkou za rok, že 60., 70. a zvlášť 90. roky sa vyznačovali relatívne častejším, zatiaľ čo 50. a najmä 80. roky menej častým výskytom búrok..



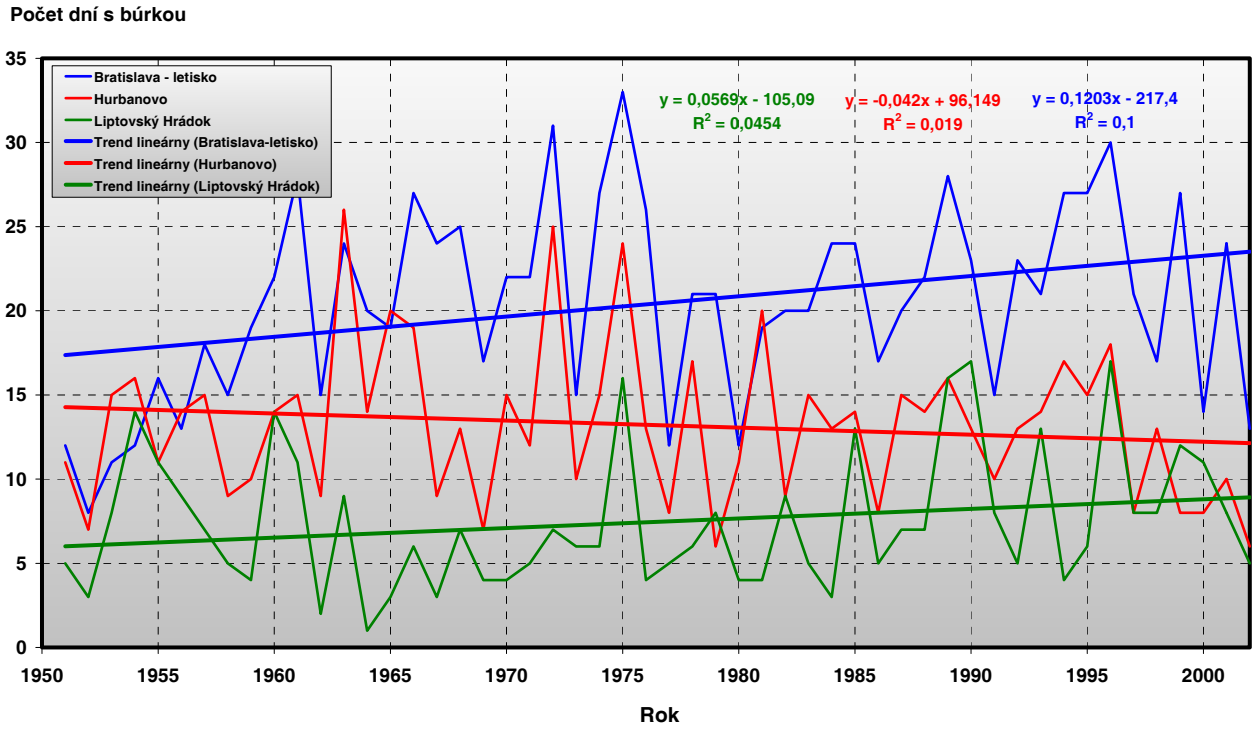
Obr.3 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien v počte dní s búrkou na Slovensku v teplom polroku (IV. – IX.) za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

Fig.3 Spatial distribution of long-term changes in number of days with thunderstorm within the warm half-year (April-September) in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.



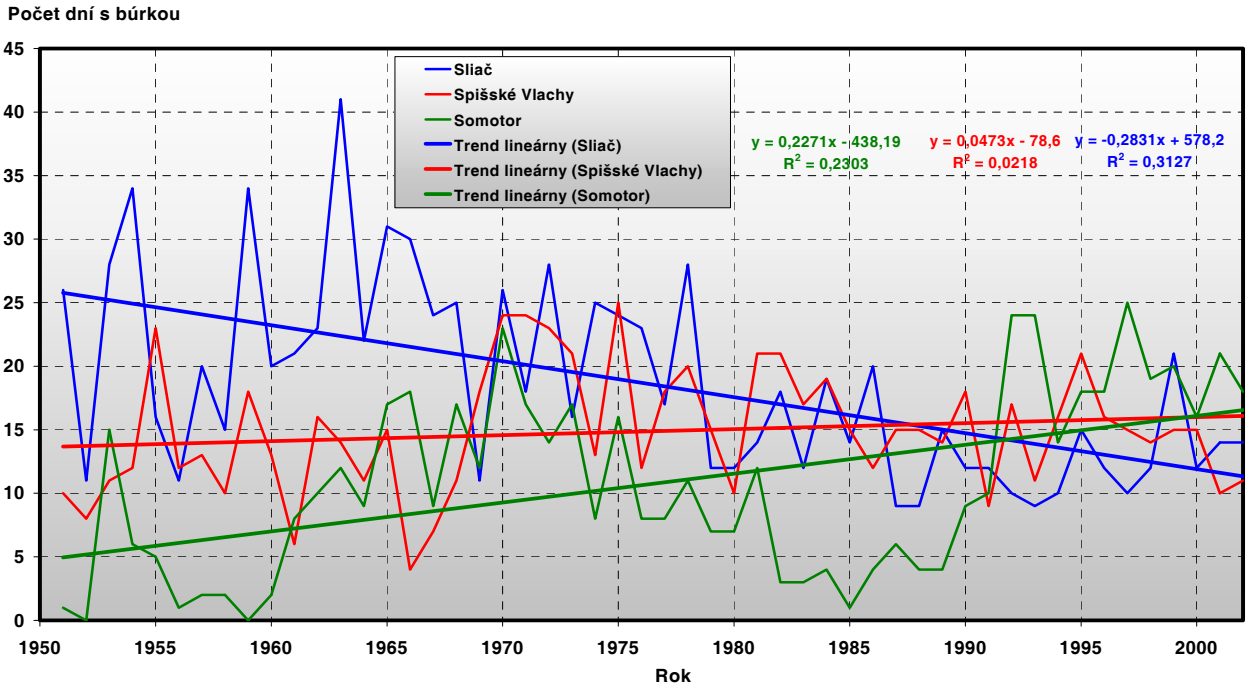
Obr. 4 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien v počte dní s búrkou na Slovensku v chladnom polroku (X. – III.) za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

Fig.4 Spatial distribution of long-term changes in number of days with thunderstorm within the wintry half-year (October-March) in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.



Obr. 5 Vývoj počtu dní s búrkou za rok na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku v období 1951 až 2002.

Fig.5 The annual number of days with thunderstorm trend on selected meteorological stations in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

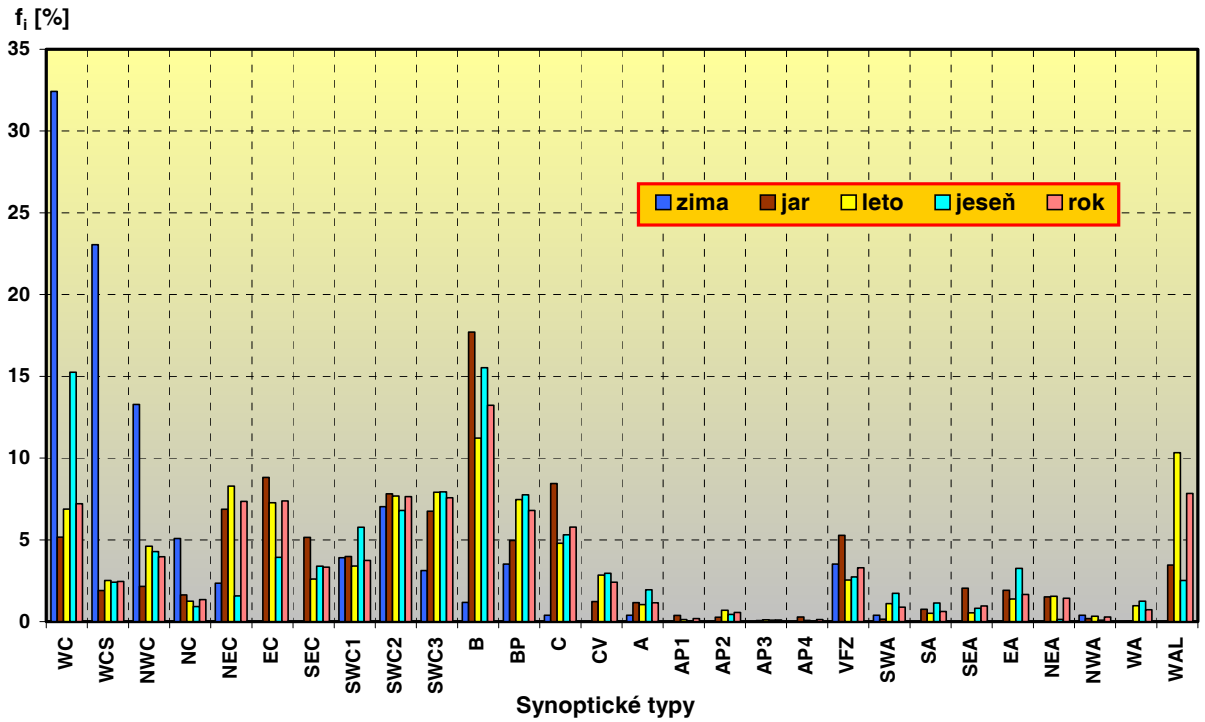


Obr. 6 Vývoj počtu dní s búrkou za rok na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku v období 1951 až 2002.

Fig. 6 The annual number of days with thunderstorm trend on selected meteorological stations in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Výsledky dynamicko-klimatologickej analýza

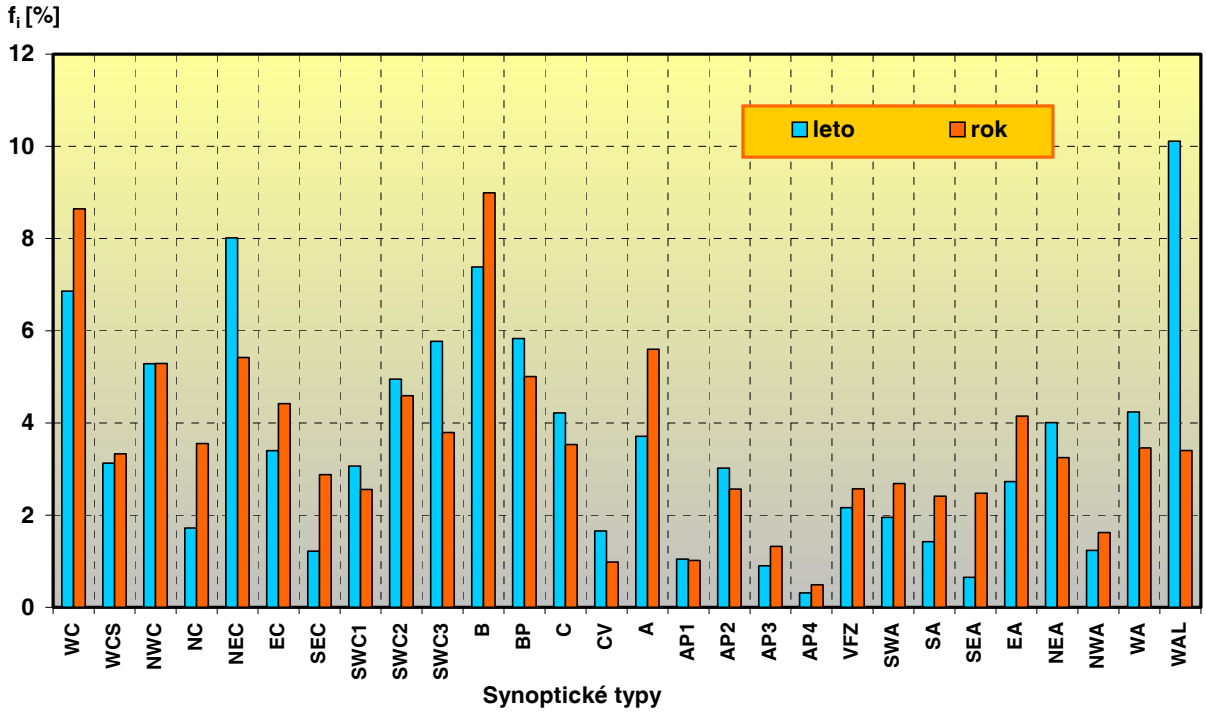
Ako sme uviedli už v úvode tohto príspevku, hlavným zámerom dynamicko-klimatologickej analýzy je pokúsiť sa do istej miery korektne zhodnotiť vplyv dlhodobých zmien početnosti vybraných poveternostných typov počasia na zmeny častosti výskytu búrok v jednotlivých regiónoch Slovenska a zistiť tak určitú regionálnu citlivosť na tvorbu a prejavy búrkovej činnosti pri zmenách veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry.
Z grafu na Obr.7 je zjavná dominantnosť niektorých cyklonálnych, resp. anticyklonálnych synoptických situácií z hľadiska hodnotenia podielu počtu dní s búrkou v rámci jednotlivých typov počasia na území celého Slovenska.



Obr. 7 Podiel (f_i) vybraných synoptických typov počasia na celkovom počte dní s búrkou na Slovensku v období 1951 – 2002 (pre jednotlivé sezóny a rok).

Fig.7 The proportions (f_i) of selected synoptic types of weather to total number of days with thunderstorm in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

V letnom období sa búrky najčastejšie vyskytujú počas synoptických typov **B** (11,22%), **Wal** (10,33%), **NEc** (8,28%), **SWc3** (7,9%), **SWc2** (7,69%), **Bp** (7,46%), **Ec** (7,26%) a **Wc** (6,89%). Podiel niektorých ďalších významných typov nepresiahol 5% (**C** – 4,8%; **NWc** – 4,6%;...). Najmenej zastúpenými synoptickými typmi sú **Ap4** (0,07%), **Ap3** (0,11%), **Ap1** (0,12%), ako aj **NWa** (0,33%). Zastúpenie uvedených synoptických typov sa vzhľadom na hodnotenie ostatných ročných sezón mení buď len veľmi nepatrne (napr. pri **SWc1**, **SWc2**,...) alebo podstatne výrazne (**Wal**, ako typický letný poveternostný typ má zastúpenie v rámci ostatných sezón len minimálne; naopak typy **Wc**, **Wcs** a **NWc** výrazne zvyšujú svoj podiel najmä v zimnom období).
Pri vzájomnom porovnaní grafov na Obr.7 a 8 je možné si všimnúť skutočnosť, že charakteristické zastúpenie búrkových dní v jednotlivých typoch počasia je možné všeobecne pripísať typickému rozdeleniu bežne sa vyskytujúcich synoptických situácií počas letného obdobia a roka. Aj napriek tomuto tvrdeniu tu existujú jemné rozdiely pri posudzovaní percentuálneho zastúpenia oboch charakteristík. Najvýraznejší rozdiel je v prípade synoptického typu **Ec**, počas ktorého sa vyskytlo v sledovanom období 7,26% búrkových dní, avšak jeho podiel na výskyte poveternostných typov v letnom období je len 3,40%. Pomerne výrazný rozdiel je v prípade typu **B** (10,22%, resp. 7,4%). Pri hodnotení ostatných poveternostných situácií nie sú tieto diferencie až tak markantné.



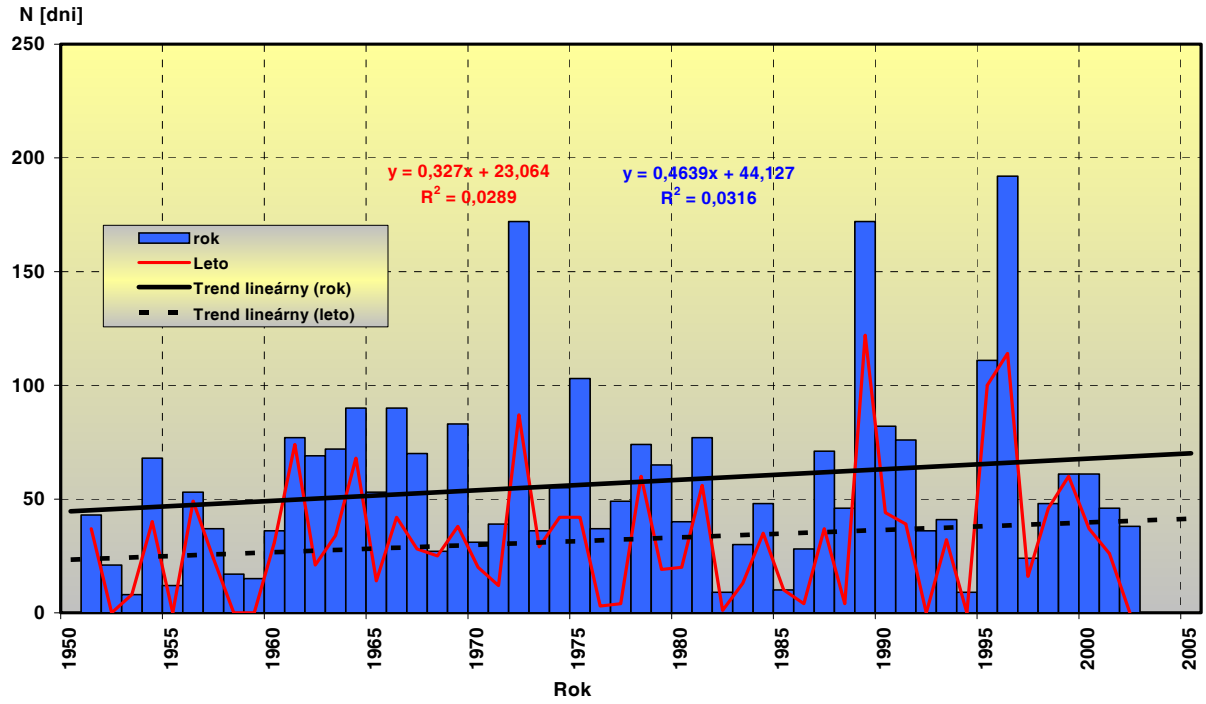
Obr. 8 Podiel (f_i) početnosti jednotlivých synoptických typov na celkovom počte poveternostných typov na Slovensku v období 1951 – 2002 (pre letné obdobie a rok).

Fig.8 The proportion of frequency of selected synoptic types to total number of synoptic types in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Z hľadiska hodnotenia dlhodobého zastúpenia búrkových dní v rámci jednotlivých typov počasia vo vybraných regiónoch Slovenska možno všeobecne konštatovať určitú všeobecnú zhodu regionálnych rozdelení početností s rozdelením na celoslovenskej úrovni. Popri tejto všeobecnej zhode je možné pri vzájomnom porovnaní jednotlivých oblastí identifikovať aj určité závažnejšie rozdiely, resp. podobnosti v zastúpení konkrétnych synoptických typov pri výskyte búrok..
V rámci celoslovenského zhodnotenia (Obr.7) je možné si všimnúť určitú dominantnosť typov **B** a **Wal** z hľadiska výskytu búrkových dní. Pri regionálnom porovnávaní však všeobecne platí, že vplyv poveternostného typu **Wal** je výraznejší v severnejších, vyššie položených oblastiach Slovenska, zatiaľ čo v nižšie položených južnejších oblastiach výraznejšie dominuje typ **B**. Okrem uvedenej severojužnej zákonitosti bolo možné identifikovať aj západovýchodnú, ktorá sa prejavuje na jednej strane narastajúcim významom poveternostného typu **NEc** pri postupe na východ a na strane druhej rastúcim vplyvom typov **SWc2** a **SWc3** pri postupe smerom na západ až severozápad územia Slovenska. Ostatné „búrkové“ poveternostné typy nevykazujú z priestorového hľadiska až tak výrazné závislosti.

Z hľadiska predmetu predkladaného príspevku sú azda najzaujímavejšie dlhodobé zmeny vyššie charakterizovaných rozdelení početností tak búrkových dní v rámci jednotlivých synoptických situácií ako aj samotných poveternostných typov.
Všeobecný nárastu výskytu búrok na Slovensku, o ktorom sme sa zmienili už v predchádzajúcej kapitole, je pravdepodobne do značnej miere podmienený nárastom počtu búrkových dní počas cyklonálnych poveternostných typov, ktoré sú v tomto prípade reprezentované najmä typmi **B** (Obr.9), **Bp**, **SWc2**, **NEc**, **Ec**, **SEc** a **Cv**. Miernejší nárast počtu dní s búrkou zaznamenali aj typy **Wc**, **NWc** a **Nc**, zatiaľ čo celkový pokles bol zaznamenaný v rámci typov **SWc1**, **SWc3**, **C** a **Wal** (Obr.10). Pri hodnotení ostatných, najmä anticyklonálnych poveternostných typov, nie sú dlhodobé zmeny až tak významné (vzhľadom na ich relatívne malé zastúpenie v letnom období), i keď nárast výskytu búrok je príznačný aj pre tieto typy (najmä **SWa**, **SEa**, **Sa**,...).

V časových radoch počtu búrkových dní niektorých synoptických typov sa väčšinou odráža aj vcelku veľmi dobre vyjadrená cykličnosť častosti výskytu konkrétnych typov počasia v rámci letného obdobia (počas roka je vyjadrenie cykličnosti o niečo výraznejšie). Najlepšie je to vidieť v prípade typov **Wc**, **Wcs**, **NWc**, **SWc2**, či **C** a **Wal**. V prípade prvých štyroch menovaných typov sa cykličnosť prejavuje na jednej strane výrazným nárastom frekvencie výskytu tak búrkových dní ako aj samotných poveternostných typov v priebehu druhej polovice 80. a v prvej polovice 90. rokov a na strane druhej relatívne nízkou frekvenciou ich výskytu v 60., 70. a v druhej polovici 90. rokov 20. storočia.

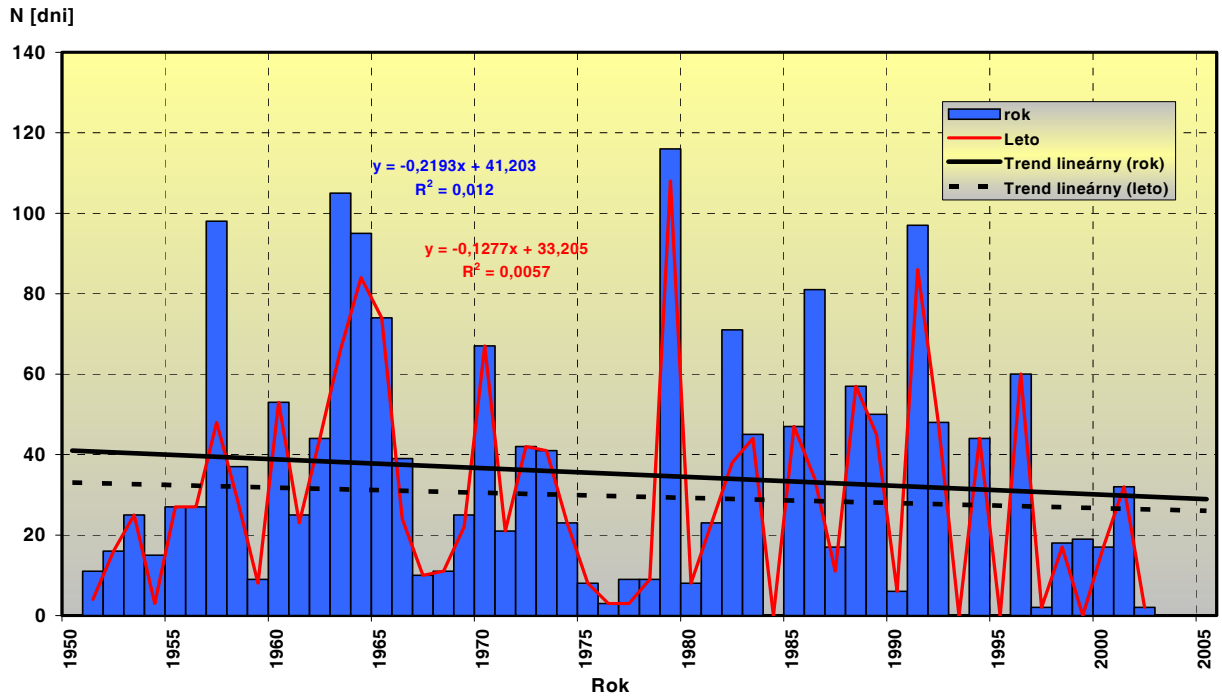


Obr.9 Dlhodobé zmeny počtu dní s búrkou (N = suma za celé Slovensko) v rámci synoptického typu B v období 1951 – 2002.

Fig.9 The long-term changes in total number of days with thunderstorms (N – the sum of all stations) within the synoptic type B in the period 1951 – 2002.

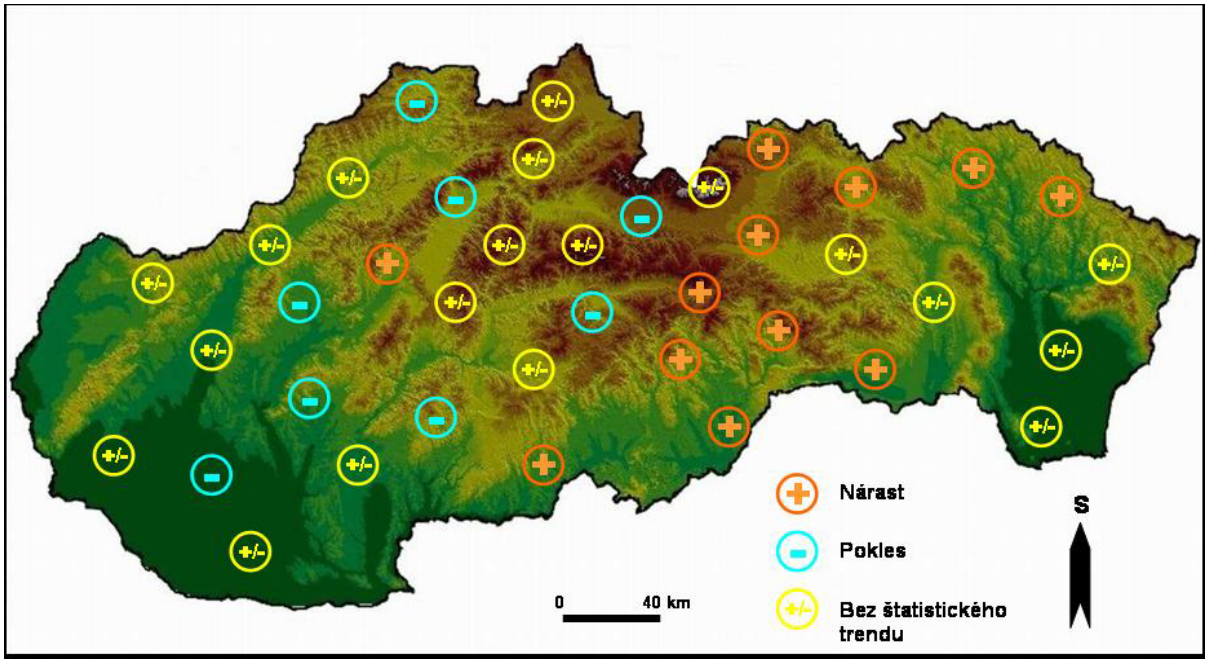
Pomerne dobre sú vyjadrené aj dlhodobejšie cykly v rámci typov **C** a **Wal**, ktoré sa prejavujú relatívne častejším výskytom oboch charakteristík v 50. rokoch a na prelome 80. a 90. rokov, a menej častým výskytom v druhej polovici 70. rokoch. Z hľadiska hodnotenia dlhodobých cyklov sú ostatné poveternostné typy vcelku menej zaujímavé, t.j. bez výraznejších prejavov a náznakov cyklických zmien.

Na záver sa pokúsime odpovedať na otázku, do akej miery sa dlhodobé zmeny veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry premietajú do zmien častosti výskytu búrkových dní v jednotlivých regiónoch Slovenska. Je možné predpokladať, že za zmenami vo frekvencii výskytu búrok v konkrétnom regióne stoja najmä zmeny v rámci tých poveternostných typov počasia, ktoré z dlhodobého hľadiska vykazujú relatívne najčastejší výskyt búrkových dní. Už sme spomínali, že z celoslovenského hľadiska dominujú vo výskyte búrok predovšetkým typy **B** a **Wal**, pričom prvý z nich je dominantný na juhu, zatiaľ čo druhý na severe Slovenska. Keďže dlhodobé zmeny početnosti výskytu búrok v rámci oboch typov majú obdobný charakter na celom území Slovenska, regionálne špecifiká v celkových tendenciách frekvencie búrkových dní budú ovplyvnené skôr zmenami v rámci ostatných významných typov (napr. **NEc**, **Wc**, či **SWc2** a **SWc3**), ktorých význam taktiež významné závisí od geografickej polohy regiónu.



Obr.10 Dlhodobé zmeny počtu dní s búrkou (N = suma za celé Slovensko) v rámci synoptického typu Wal v období 1951 – 2002.

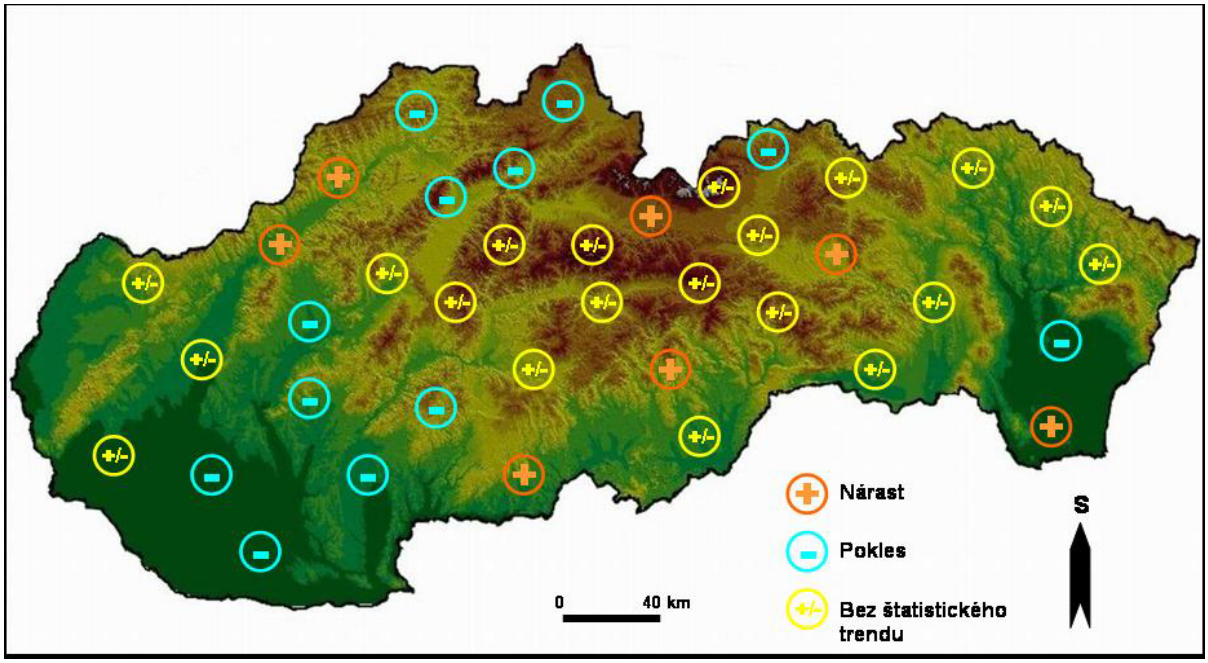
Fig.10 The long-term changes in total number of days with thunderstorms (N – the sum of all stations) within the synoptic type Wal in the period 1951 – 2002.



Obr.11 Priestorové zmeny výskytu búrkových dní v rámci poveternostného typu NEc na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002.

Fig.11 Spatial changes of thunderstorm days occurrence within the synoptic type NEc in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Za celkovým poklesom počtu búrkových dní v **nížinných oblastiach** stoja najmä zmeny v rámci typov **Wal**, **C**, **SWc3** a **NEc** (Obr.11; 12 a 13). Všetky štyri typy zaznamenali pomerne výrazný pokles výskytu búrkových dní nielen v južných nižšie položených oblastiach, ale aj vo vyššie položených kotlinových regiónoch, prevažne v západnej a severozápadnej časti Slovenska. Výrazný je z tohto pohľadu najmä vplyv poklesu frekvencie búrok pri type **Wal** (najmä na Východoslovenskej nížine). V prípade typu **NEc** sme už síce pri celoslovenskom hodnotení spomenuli jeho výrazne rastúcu tendenciu častosti búrkových dní, avšak vplyv tohto nárastu je výraznejší skôr na východe územia, zatiaľ čo na západe sa významne prejavuje nielen pokles jeho významnosti, ale aj celkový pokles výskytu búrkovej činnosti.
Výraznejší pokles búrkovej činnosti v **kotlinách stredného a západného Slovenska** možno takisto odôvodniť najmä zmenami v rámci typov **Wal**, **NEc** a **SWc3**. Prejavuje sa to prevažne vo Zvolenskej, Žilinskej, Turčianskej kotline, ďalej v Horehronskom podolí a na Nitrianskej pahorkatine. Zatiaľ čo na západe má výraznejší vplyv na tento pokles typ **Wal** a čiastočne i **NEc**, na východe je to spôsobené skôr typom **SWc3** (napr. Hornádska kotlina).



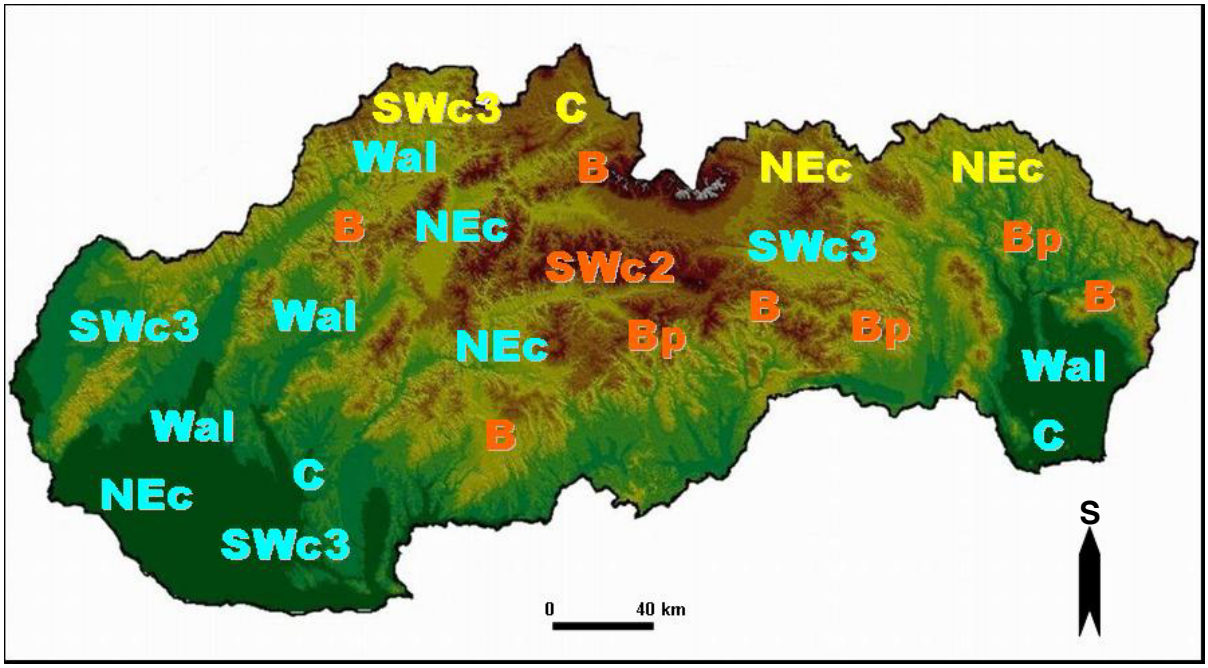
Obr.12 Priestorové zmeny výskytu búrkových dní v rámci poveternostného typu Wal na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002.

Fig.12 *Spatial changes of thunderstorm days occurrence within the synoptic type Wal in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.*

Dlhodobo rastúce tendencie výskytu búrkových dní v **horských oblastiach stredného a východného Slovenska** možno pripísať predovšetkým zmenám frekvencie búrok v rámci troch výrazných typov, a to **B**, **Bp** a **SWc2**. Vyššie spomenuté typy **Wal**, **NEc**, **SWc3** a **C**, ktoré majú v horských oblastiach tiež významné postavenie, nezaznamenali v sledovanom období žiadne výraznejšie zmeny, a preto sa v týchto oblastiach výraznejšie na náraste frekvencie búrkovej činnosti podieľajú práve už spomínané tri poveternostné typy.
Poslednou významnou oblasťou, ktorá však z dlhodobého hľadiska nezaznamenala žiadne výraznejšie zmeny vo výskyte búrok, je **krajný sever Slovenska**, kde sa v prípade zrážkovej činnosti dominantne prejavujú náveterné efekty od severu až severozápadu. Žiadne alebo len veľmi malé zmeny v počte búrkových dní v lete by sme mohli vysvetliť na základe nevýrazných zmien tejto charakteristiky v rámci takmer všetkých už spomínaných poveternostných typov. Najvýraznejší vplyv však na uvedenú situáciu majú bez pochýb typy **SWc3**, **C**, **NEc**, ktoré majú v severných horských oblastiach Slovenska zrejme významnú úlohu pri vzniku a formovaní búrok (majú väčší význam ako typy **Wc**, **NWc** či **Nc**).

Zmeny výskytu búrok v chladnom polroku a v rámci neho hlavne v **zimnom období** súvisia pravdepodobne s dlhodobými zmenami v poveternostných typoch **Wc**, **Wcs** a **NWc**, ktoré majú v tomto období najväčšie zastúpenie. Nárast výskytu búrkových dní, a to najmä v západnej a severozápadnej časti Slovenska, je možné pripísať predovšetkým zmenám v rámci typu **Wc** a **NWc**, ktorých frekvencia výskytu v priebehu sledovaného obdobia kontinuálne narastala.

Na základe predložených výsledkov je možné všeobecne potvrdiť fakt a v podstate aj predpoklad, z ktorého sme čiastočne vychádzali, že dlhodobé zmeny výskytu búrok na Slovensku možno do istej miery vysvetliť prostredníctvom zmien veľkopriestorovej cirkulácii atmosféry. V podstate sa nám podarilo aspoň v hrubých rysoch načrtnúť, aký podiel majú na týchto zmenách jednotlivé synoptické situácie a ako sa priestorovo mení ich vplyv na výskyt búrkovej činnosti.



Obr.13 Rámcové priestorové usporiadanie vplyvu najvýznamnejších poveternostných typov na dlhodobé zmeny výskytu búrkových dní na Slovensku za obdobie 1951, resp. 1961 – 2002 (typy označené červenou podmienili nárast; označené modrou podmienili pokles; označené žltou sa najviac podieľali na nevýrazných trendoch výskytu búrok).

Fig.13 The general spatial configuration of influence of the most significant synoptic types to long-term changes of thunderstorm days occurrence in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002 (the red marked types have caused incease of number of thunderstorm days; blue marked types have caused decrease; yellow marked types have caused non-significant trend of number of thunderstorm days) .

Diskusia

V tejto časti by sme radi upozornili na niektoré skutočnosti, ktoré by bolo potrebné v súvislosti s riešenou problematikou v budúcnosti dôkladnejšie prehodnotiť.
Ide tu predovšetkým o zhodnotenie výpovednej hodnoty a kvality dostupných informácií – údajov o priestorovom výskyte búrok na Slovensku. Vzhľadom na v súčasnosti ešte stále pretrvávajúci subjektívny spôsobom pozorovania búrok na väčšine meteorologických staníc predstavuje posúdenie hodnovernosti a reprezentatívnosti vstupných dát veľmi závažný problém, ktorému sme v predkladanej práci nevenovali dostatočnú pozornosť. Má to aj svoj jednoduchý dôvod. **Testovanie homogenity** časových radov počtu dní s búrkou na vybraných staniciach pomocou niektorých špeciálnych štatistických metód (napr. Craddockov test relatívnej homogenity či iné) by bolo vzhľadom na neveľký počet profesionálnych pozorovacích staníc (vykonáva sa nich kontinuálne pozorovanie búrok počas celého dňa, alebo sa používa automatický snímač - počítač bleskov,...) na Slovensku mimoriadne obtiažne, aj keď nie celkom nemožné. Bolo by v budúcnosti nanajvýš vhodné

a potrebné podrobiť použité údaje detailnejšej analýze ich homogenity, aby nedošlo k spochybňovaniu dosiahnutých výsledkov.
Aj napriek absencii testov homogenity v tejto práci sme sa snažili eliminovať chyby vyplývajúce z nedostatočnej hodnovernosti niektorých údajov. V našom prípade sme začlenili vybrané meteorologické stanice do štatistickej analýzy až po expertnom posúdení dlhodobej kvality ich pozorovania. Okrem toho sme kontrolu homogenity a hodnovernosti dát čiastočne vykonávali (prevažne subjektívnym prístupom) už v priebehu ich štatistického spracovávania. Niektoré stanice boli najmä z dôvodov určitej pochybnosti o kvalite ich údajov (najmä z obdobia 50. rokov) zo štatistickej analýzy vylúčené a v rámci konečného hodnotenia sme informácie z týchto staníc nezohľadňovali, aby nedošlo k zbytočnému skresleniu výsledkov.
Ďalšou veľmi dôležitou otázkou sú **možnosti korektnej interpretácie** dosiahnutých výsledkov. Je zrejmé, že na základe vyššie uvedených výsledkov ešte nemožno formulovať žiadne všeobecne platné závery o vzťahu klimatickej zmeny a výskytu búrok na Slovensku. Ide o veľmi náročnú a komplexnú problematiku, ktorá si vyžaduje nielen ďalší a zrejme i rozsiahlejší klimatologický výskum, ale aj tesnejšiu spoluprácu s fyzikálnejšie orientovanými meteorológmi, ktorých odlišný prístup k riešeniu uvedeného problému bude pre nás určite prínosom.
Najmä v prípade výsledkov by bolo zrejme vhodnejšie a aj potrebnejšie hodnotiť ich kvantitatívne exaktnejším spôsobom, ako doposiaľ. Bolo by predovšetkým potrebné spresniť kvantitatívne vyhodnotenie vplyvu najdôležitejších poveternostných typov počasia na dlhodobé priestorové zmeny búrkovej činnosti v jednotlivých regiónoch Slovenska. Detailnejšie vyhodnotenie štatistických trendov a cyklov sledovaných klimatologických prvkov a charakteristík bude taktiež nevyhnutné.
V neposlednom rade by bolo veľmi užitočné konfrontovať dosiahnuté výsledky prezentované v tomto príspevku s už publikovanými, obdobne tematicky orientovanými príspevkami. Avšak vzhľadom na to, že doposiaľ sa podobnou tematikou na vedeckej úrovni nikto systematicky nezaoberal, nie je možné ani sčasti vykonať aspoň najzákladnejšie porovnanie dosiahnutých výstupov.

Záver

V predkladanej práci sme sa zamerali na klimatologické zhodnotenie dlhodobých zmien priestorového a dynamicko-klimatologického výskytu búrok na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002. Hlavným cieľom práce je predovšetkým poukázať na vývojové trendy výskytu búrok na Slovensku v uvedenom období a pokúsiť sa charakter týchto zmien korektne interpretovať a do istej miery aj vysvetliť ich príčiny. Štatistická analýza prezentovaná v tejto práci by sa mala stať prvým krokom v rámci riešenie širšie koncipovaného problému možného vzťahu očakávanej klimatickej zmeny a výskytu búrok na Slovensku.
Na základe štatistického rozboru časových radov tak počtu búrkových dní ako aj výskytu jednotlivých synoptických typov počasia sme dospeli k nasledujúcim záverom:

- miestami až výrazný pokles častosti výskytu búrkových dní v nížinných oblastiach juhozápadného a východného Slovenska je z hľadiska hodnotenia zmien veľkopriestorovej cirkulácie zrejme spôsobený poklesom frekvencie výskytu búrok v rámci poveternostných typov Wal, C, SWc3 a NEc; pričom vplyv situácií Wal a C na tieto zmeny je výraznejší na východe, zatiaľ čo vplyv SWc3 a NEc je významnejší na západe Slovenska;
- významný pokles frekvencie dní s búrkou v rámci kotlinových regiónov stredného a východného Slovenska je v prevažnej miere opäť zapríčinený poklesom výskytu búrok v rámci typov NEc, Wal a SWc3;
- mierny nárast počtu dní s búrkou v prevažnej časti horských regiónov stredného a východného Slovenska je pravdepodobne podmienený nárastom počtu búrkových dní v rámci poveternostných typov B, Bp a SWc2;
- nevýrazné dlhodobé zmeny vo frekvencii výskytu dní s búrkou v regiónoch krajného severu Slovenska (Orava, Kysuce,...) sú zrejme zapríčinené nevýrazným vývojom počtu búrkových dní najmä v rámci poveternostných typov C, SWc2 a NEc, pričom posledný menovaný typ mal výraznejší vplyv na dlhodobé zmeny vo východných oblastiach Slovenska.

Aj napriek tomu, že sme v dynamicko-klimatologickej analýze zaoberali prevažne len letným obdobím, ktoré je z hľadiska výskytu búrok najvýznamnejšie, môžeme predpokladať, že nárast výskytu búrkových dní v chladnom polroku, a to najmä v zimnom období, je pravdepodobne zapríčinený rastom frekvencie dní s búrkou v rámci typov Wc, Wcs a NWc. Uvedené typy sú v tomto období nielen najčastejšie sa vyskytujúce, ale v sledovanom období zaznamenali aj najzreteľnejší nárast dní s búrkou, najmä na západe a severozápade územia Slovenska. Dlhodobé cykly vo výskyte búrkových dní bolo možné identifikovať len na niektorých meteorologických staniciach (Oravská Lesná, Somotor a niektoré iné). Prejavovali sa najmä poklesom búrkovej činnosti v 80. a 50. rokoch, a naopak jej nárastom v 60., 70. a 90. rokoch 20. storočia. Výsledné cykly sú pravdepodobne výsledkom vzájomného pôsobenia všetkých významných poveternostných typov (najmä však Wal, C, SWc2, Wc, B).

Z výsledkov najmä dynamicko-klimatologickej analýzy je zrejmé, že dlhodobé zmeny vo veľkopriestorovej cirkulácií atmosféry na Slovensku sa v prevažnej miere podieľajú na dlhodobých zmenách priestorového výskytu búrkovej činnosti v jednotlivých regiónoch.

Poďakovanie

Predkladaná práce by nevznikla bez odborných rád a pripomienok dvoch vynikajúcich slovenských klimatológov, Prof. RNDr. Milana Lapina, CSc. a RNDr. Pavla Faška, CSc., ktorým chceme touto cestou poďakovať za odborné vedenie

Literatúra

AHRENS, C. AD. 1988. Meteorology today. St. Paul. West Publishing Company, New York, 1988, 581 s.

BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J. 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyňe, Přírodovědecká fakulta, Brno, 1986, 300 s.

DAI, A. 2001. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. In: Journal of climate. Vol. 14, No. 6, 2001, pp. 1092-1111.

IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D. (eds.). Cambridge Univ. Press, UK, 944 pp.

LAPIN, M., FAŠKO, P., ZEMAN, V. 1994. Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1 - 2°C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. In: *Národný klimatický program SR*. MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, č.2, 1994.

LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I. 2001. Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. In: *Národný klimatický program SR*. MŽP SR, SHMÚ Bratislava, č. 11, 2001.

LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M. 2001. Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. In: *Meteorologický časopis*, 4, 3, SHMÚ, Bratislava, 2001, pp. 29-40.

LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M. 2004. Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku. s. 33 In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds) *Extrémy počasí a podnebí – Zborník abstraktov + CD-ROM*, Brno.

MAJERČÁKOVÁ, O., FAŠKO, P., ŠŤASTNÝ, P., MARIKOVIČOVÁ, J. 2004. Frekvencia výskytu a priestorové rozloženie veľmi vysokých denných úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds) *Extrémy počasí a podnebí – Zborník abstraktov* + CD-ROM, Brno.

NOSEK, M. 1972: Metody v klimatologii. Academia, Praha, 434 s.

ORAVEC, D. 2000. Búrkové pomery na Horehroní. Bratislava: Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, 2000, s. 17-48 – Diplomová práca.

PODZIMEK, J. 1959. Fysika oblaků a srážek. Československá akademie věd, Praha, 476 s.

SMITH, J. A, BEACK, M. L., ZHANG, Y. 2001. Extreme rainfall and flooding from supercell thunderstorms. In. *Journal of hydrometeorology*. Vol. 2, No. 5, 2001, pp. 469-489.

Autor: Mgr. Jozef Pecho, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37, jozef.pecho@shmu.sk