

TEPLÉ A CHLADNÉ OBDOBIA NA SLOVENSKU (1951 – 2017) V KONTEXTE KLIMATICKEJ ZMENY

DALIBOR VÝBERČI, JOZEF PECHO, PAVOL FAŠKO, OLIVER BOCHNÍČEK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

The study serves as a comprehensive evidence in the issue of sustained prolonged series of unusually warm (above normal) and cool (below normal) days in Slovakia. These so-called warm and cool spells are considered to occur throughout the whole year and their analysis was carried out in the time series of all three basic daily characteristics of air temperature. In the process, the identification of the warm and cool spells was performed using spatial values of the given characteristics for the entire country. A quantitative, comparative assessment over the period 1951–2017 was conducted in the context of climate change detection and documentation. The results confirm a markedly higher importance of warm temperature extremes in the current climatic conditions. The most remarkable registered tendency of substantial increase in the warm spells' variables was expressed in all of the appropriate event's parameters (frequency, duration, intensity, severity). A slight to moderate decline or weakening in the respective variables was generally registered in case of the cool spells.

Práca predstavuje súborný výstup v problematike výskytu dlhších súvislých sérií neobvykle teplých (teplotne nadnormálnych) a chladných (teplotne podnormálnych) dní na Slovensku. Tieto tzv. teplé a chladné obdobia sú teda chápané a boli nami analyzované v rámci celoročného režimu teploty vzduchu, a to v časových radoch všetkých troch základných denných teplotných charakteristík. Identifikácia teplých a chladných období bola pritom uskutočnená s využitím priestorových hodnôt daných charakteristík reprezentatívne pre celú krajinu. Kvantitatívne komparatívne hodnotenie za roky 1951–2017, štylizované v kontexte prejavov nastúpivšej zmeny klímy, potvrdilo výrazne väčšie zastúpenie teplých extrémov teploty vzduchu v súčasných klimatických podmienkach. Najpozoruhodnejšia zaregistrovaná tendencia, ktorou sa stal podstatný nárast ukazovateľov pri teplých obdobiach, sa prejavila vo všetkých náležitých atribútoch období (početnosť a frekvencia, trvanie, intenzita, závažnosť). V prípade chladných období dané ukazovatele vo všeobecnosti zaznamenali nepatrne až mierne klesajúcu, resp. zoslabujúcu tendenciu.

Key words: weather extremes, temperature events, warm spells, cool spells, Slovakia, climate change

ÚVOD

V súčasných podmienkach otepľujúcej sa klímy je v globálnom meradle veľmi pravdepodobné, že početnosť teplých dní a nocí dlhodobo rastie, zatiaľ čo počet chladných dní a nocí klesá. Náležité charakteristické zmeny sú zároveň evidované aj pri intenzite denných teplotných extrémov (IPCC, 2014). V súvislosti s týmito tendenciami sa analogicky otvára otázka zmien vo výskyte dlhších súvislých sérií neobvyčajne teplých a chladných dní (Perkins a kol. 2012; Christidis a Stott, 2016), ktoré môžu predstavovať formu obzvlášť zaťažujúceho teplotného stresu ako pre prírodnú, tak aj spoločenskú sféru.

Teplé a chladné dni sa v relatívnom zmysle slova vyskytujú v priebehu celého roka. V klimatológii je takéto chápanie spojené so zaznamenanými dennými odchýlkami teploty vzduchu od dlhodobého priemeru, alebo od intervalu normálu v príslušnej ročnej dobe. Principiálny záujem pochopiteľne vzbudzujú neobvykle teplé/chladné dni s výraznými kladnými/zápornými teplotnými odchýlkami. Práve sled takýchto dní tvorí tzv. *teplé/chladné obdobia*, v praxi a literatúre tiež rôzne nazývané aj ako *teplé/chladné periódy/vlny*, *obdobia/periódy/vlny teplého/chladného počasia*, prípadne *vlny tepla/chladu*. Najbežnejšie, de facto fundamentálne, sa tieto obdobia definujú a identifikujú ako sledy silne abnormálnych hodnôt (< 10. a > 90. percentil distribúcie) teploty vzduchu.

Štandardné klimatologické hodnotenia dlhšie trvajúcich teplotne abnormálnych období, identifikovaných pomocou relatívne ladených kritérií, sa v uplynulých rokoch objavili aj v rámci niekoľkých publikácií, ktoré sa bližšie dotýkajú aj územia Slovenska. Birsan a kol. (2014) ako súčasť svojej trendovej analýzy vyhodnocovali celoročný výskyt teplých a chladných období v regióne Karpát s využitím priestorovo gridovaných údajov. V rovnakom type práce pre karpatský región neskôr Spinoni a kol. (2015) priniesli špecializované, obširnejšie hodnotenie plošného výskytu teplých a chladných vln v celoročnom režime, a tiež za jednotlivé ročné obdobia. Bochníček a kol. (2016, 2017) skúmali relatívne definované teplé obdobia sezónne aj celoročne na štyroch, resp. troch meteorologických staniách v rámci Slovenska. Veľmi teplé periódy boli jedným zo zaradených indikátorov Šveca a kol. (2016) v analýze tepelného stresu v lete pre štyri slovenské stanice. V našom prechádzajúcom výskume (Výberči a Pecho, 2018), na ktorý týmto príspevkom nadväzujeme, sme sledovali dlhodobé zmeny výskytu letných periód teplého počasia na Slovensku pomocou územných hodnôt teplotných charakteristík. V rámci zimy boli relatívnym prístupom identifikované vlny chladu v Hurbanove a Oravskej Lesnej súčasťou hodnotenia Balážovičovej a kol. (2015).

Podľa doposiaľ publikovaných prác a dostupných zdrojov tak zatiaľ v literatúre absentuje komplexnejšia štúdia, zahrňujúca tradičné kvantitatívne klimatologické

spracovanie a porovnanie dlhodobého výskytu teplých i chladných období v celoročnom režime teploty vzduchu, s využitím priestorových hodnôt teplotných údajov a územnou platnosťou výlučne pre (celé) Slovensko. V predkladanom článku prinášame práve takéto ucelené hodnotenie uvedených období na Slovensku, analyzujúc časovú premenlivosť najdôležitejších atribútov ich výskytu (početnosť a frekvencia, trvanie, intenzita, závažnosť) od roku 1951 do roku 2017 vrátane. Teplé a chladné obdobia boli identifikované pre všetky tri základné denné charakteristiky teploty vzduchu. Použité pri tom boli identifikačné definície období, odporúčané Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) pre analýzu týchto udalostí v kontexte detekcie a monitorovania prejavov prebiehajúcej klimatickej zmeny.

MATERIÁL A METÓDY

Klimatologické údaje

V analýze boli využité údaje z klimatologickej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu o maximálnej (T_x), minimálnej (T_n) a priemernej (T_m) dennej teplote vzduchu z 11 meteorologických staníc s klimatologickým programom meraní a pozorovaní (Obr. 1) za obdobie od 1. januára 1951 do 31. decembra 2017. T_m je počítaná z aktuálnych hodnôt teploty vzduchu v troch základných klimatických termínoch o 7., 14. a 21. hodine stredného miestneho času podľa vzorca: $(T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$.

Stanice vo vyhovujúcej miere reprezentujú celé územie SR, zastupujú jeho rôzne klimatické oblasti a nadmorské výšky s výnimkou vysokohorských polôh. Príslušné časové rady vybraných staníc patria v rámci Slovenska medzi najkvalitnejšie, úplne vynechané z výberu boli stanice, ktorých lokalizácia bola zásadne zmenená. Časové rady v konečnom dôsledku uspokojivo spĺňajú kritéria časovej a priestorovej homogenity, ako aj úplnosti charakteristik teploty vzduchu.

Kvôli viacerým výpadkom v časovom rade minimalnej dennej teploty T_n na stanici Rimavská Sobota (so súhrnným trvaním až takmer 400 dní, aj počas zvoleného normálneho obdobia), v kombinácii s premiestnením stanice, sme tieto údaje z uvedenej stanice pri spracovaní nevyužili. V prípade T_n bola teda analýza uskutočnená iba z údajov zo zvyšných 10 staníc. Chýbajúce hodnoty údajov sa v spracovávaných časových radoch vyskytli ešte aj v prípade maximálnej dennej teploty vzduchu T_x z Oravskej

Lesnej v septembri a októbri 1953. Tento kratší výpadok vzhľadom k použitému prístupu spracovania (viď nasledujúca podkapitola Identifikácia teplých a chladných období) možno považovať za zanedbateľný.

Všetky hodnoty charakteristik teploty vzduchu boli pri výpočtoch zaokrúhľované štandardne s presnosťou na jedno desiatinné miesto.

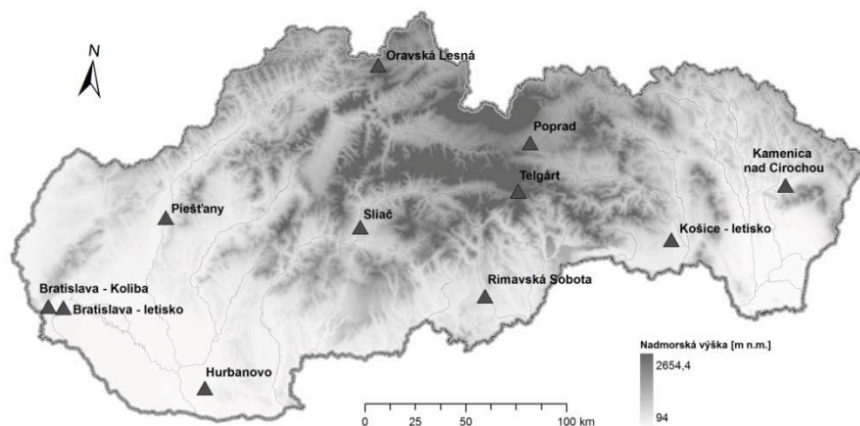
Identifikácia teplých a chladných období

Súvislé dlhé série dni s nezvykle vysokou teplotou vzduchu uvádzame v našej analýze ako teplé obdobia (TO), v prípade série nezvykle nízkych teplôt ide o chladné obdobia (CHO). Metodický koncept definovania období je založený na odchyľkach zaznamenatej teploty vzduchu v každom dni záujmového obdobia od normálu pre daný deň v roku. Dosiahnutím určenej prahovej hodnoty teplotnej odchyľky sú definované teplé/chladné dni, ktorých neprerušený sled určitého trvania tvorí TO/CHO. Odchyľky teploty vzduchu boli pri identifikácii období počítané pre každú stanicu zvlášť a následným spriemerovaním hodnôt z celého súboru staníc bola vypočítaná výsledná priestorová hodnota, reprezentatívna pre celé územie Slovenska. Následná samotná identifikácia TO/CHO bola teda uskutočnená v časových radoch príslušných údajov s vypočítanými priestorovými hodnotami. Možno podotknúť, že na základe uvedeného postupu, výsledné zaznamenanie obdobia s celouzemnou platnosťou typicky znamená jeho výskyt prinajmenšom na väčšine referenčných staníc. TO/CHO boli v analytickej časti identifikované a hodnotené celoročne (I–XII, január až december).

Základné definovanie TO/CHO navrhol a publikoval Expertný tím pre detekciu a ukazovatele klimatickej zmeny (ETCCDI), ktorý bol špeciálne vytvorený zo zástupcov troch komisií WMO: Komisie pre klimatológiu (CCL), Komisie pre variabilitu klímy (CLIVAR) a Komisie pre oceánografiu a marinú meteorológiu (JCOMM). Tento definíčný prístup (ETCCDI, 2009) predstavuje významne upravenú a optimalizovanú náhradu predtým odporúčaného variantu (Frich a kol., 2002) a odporúčanie jeho používania je platné stále aj v súčasnosti. Samotné definície sú súčasťou komplexnejších ukazovateľov, ktoré boli navrhnuté ako globálne indikátory klimatickej zmeny. Pre Slovensko, vzhľadom k jeho klimatickým podmienkam, neexistujú žiadne lokálne obmedzenia vo vhodnosti a použiteľnosti týchto definícií.

Obrázok 1.
Poloha vybraných klimatologických staníc v rámci hypsometrie Slovenska.

Figure 1.
Location of selected meteorological stations within the hypsometry of Slovakia.



Teplotné pomery sú v dvojici základných definícií ETCCDI vyjadrené prostredníctvom vysokých denných maxím teploty vzduchu T_x (pre teplé obdobia) a nízkych denných mínim T_n (pre chladné obdobia). ETCCDI (2009) ale zároveň v súvislosti so zmenou klímy adresuje aj sledovanie početnosti dní s nízkymi maximami a vysokými minimami, odporúčané definície sme preto odvodili aj pre súvislé obdobia týchto extrémov daných charakteristik. Napokon, popri maximálnej a minimálnej teplote vzduchu je identifikácia teplotne výrazných období prípustná a bežne využívaná aj na Slovensku (napr. Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016), tiež na základe priemernej dennej teploty vzduchu T_m . Pre oba typy období sme sa preto rozhodli pridať aj odvodený ekvivalent definície s využitím priemernej teploty vzduchu.

Použité identifikačné definície a nami ďalej v práci používané označenie období sú nasledovné:

- **TOx** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych maximálnych denných teplôt vzduchu T_x]: Podľa ETCCDI (2009) séria za sebou idúcich dní s kladnou odchýlkou T_x od hodnoty 90. percentilu empirickej distribúcie T_x pre daný deň v roku z obdobia 1961–1990, pričom hodnoty denných percentilov sú zhladené 5-dennými centrovanými kľzavými priemermi.
- **TO_n** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych minimálnych denných teplôt vzduchu T_n]: Identická so základovou definíciou TOx, ale pre T_n .
- **TO_m** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych priemerných denných teplôt vzduchu T_m]: Identická so základovou definíciou TOx, ale pre T_m .
- **CHOn** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych minimálnych denných teplôt vzduchu T_n]: Podľa ETCCDI (2009) séria za sebou idúcich dní so zápornou odchýlkou T_n od hodnoty 10. percentilu empirickej distribúcie T_n pre daný deň v roku z obdobia 1961–1990, pričom hodnoty denných percentilov sú zhladené 5-dennými centrovanými kľzavými priemermi.
- **CHOx** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych maximálnych denných teplôt vzduchu T_x]: Identická so základovou definíciou CHOn, ale pre T_x .
- **CHOm** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych priemerných denných teplôt vzduchu T_m]: Identická so základovou definíciou CHOn, ale pre T_m .

ETCCDI východiskovo odporúča minimálnu dĺžku trvania obdobia 6 dní. V užšom priestore strednej Európy, vrátane Slovenska, však niektorí autori neskôr objektívnejšie navrhli už 5-dňové minimálne trvanie teplotne výrazných období (Spinoni a kol., 2015; Lapin a kol., 2016), ktoré sa zhoduje s dolnou hranicou trvania priemerného synoptického cyklu (Sobíšek, 1993). V predkladanej analýze preto TO a CHO sledujeme práve s dĺžkou trvania minimálne 5 dní.

Vybraný súbor v analytickej časti prezentovaných ukazovateľov zachytáva všetky rozhodujúce atribúty obdobia extrémnych teplôt. Základnými sú jeho trvanie a intenzita, vyjadrujúca magnitúdu denných teplotných

odchýlok nad/pod prahovou hodnotou, dosiahnutie ktorej je potrebné na klasifikáciu TO/CHO podľa príslušnej definície. Vo výstupoch sledujeme a prezentujeme priemernú intenzitu TO/CHO, t.j. priemer zaznamenaných denných teplotných odchýlok počas obdobia. Paralelne tiež vyhodnocujeme najväčšiu intenzitu TO/CHO, čo je parameter, charakterizujúci najteplejší/najchladnejší deň obdobia, čiže najvyššiu/najnižšiu dosiahnutú dennú teplotnú odchýlku v priebehu celého obdobia. Relevantne najdôležitejším atribútom v konečnom dôsledku je závažnosť (severita) TO/CHO, ktorú možno charakterizovať aj ako sumárnu intenzitu obdobia. Táto predstavuje sumu zaznamenaných denných teplotných odchýlok za celé obdobie, je teda vlastne kombináciou trvania a priemernej intenzity obdobia.

VÝSLEDKY

V analyzovanom časovom období od roku 1951 do roku 2017 vrátane bolo zvoleným metodickým postupom identifikovaných spolu 166 TOx (s celkovým trvaním 1127 dní), 116 TO_n (764 dní), 167 TO_m (1151 dní), 87 CHOx (602 dní), 56 CHOn (411 dní) a 111 CHOm (744 dní). Za účelom základnej ilustrácie výskytu TO/CHO je ďalej v tabuľke 1 načrtnutá aj ich sezónnosť v rámci celého záujmového obdobia.

Tabuľka 1. Percentuálny podiel z celkového počtu dní v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017 za jednotlivé sezóny v roku.

Table 1. Seasonal proportion [%] of the total count of days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017.

sezóna	TOx	TO _n	TO _m	CHOx	CHOn	CHOm
zima (XII–II)	25,5	31,4	28,5	37,2	46,7	37,8
jar (III–V)	26,1	13,0	22,1	27,9	30,2	29,0
leto (VI–VIII)	29,9	33,4	29,4	6,0	4,9	6,5
jeseň (IX–XI)	18,5	22,3	20,1	28,9	18,2	26,7
chladný polrok (X–III)	44,9	53,4	50,4	69,6	78,1	71,6
teplý polrok (IV–IX)	55,1	46,6	49,6	30,4	21,9	28,4

Početnosť a frekvencia TO/CHO

Na obrázkoch 2 a 3 je vykreslená úplná časová distribúcia identifikovaných TO, resp. CHO, ktorá primárne dokumentuje početnosť a frekvenciu výskytu období. Zmeny početnosti vyjadrené číselným ukazovateľom ilustruje ďalej aj tabuľka 2.

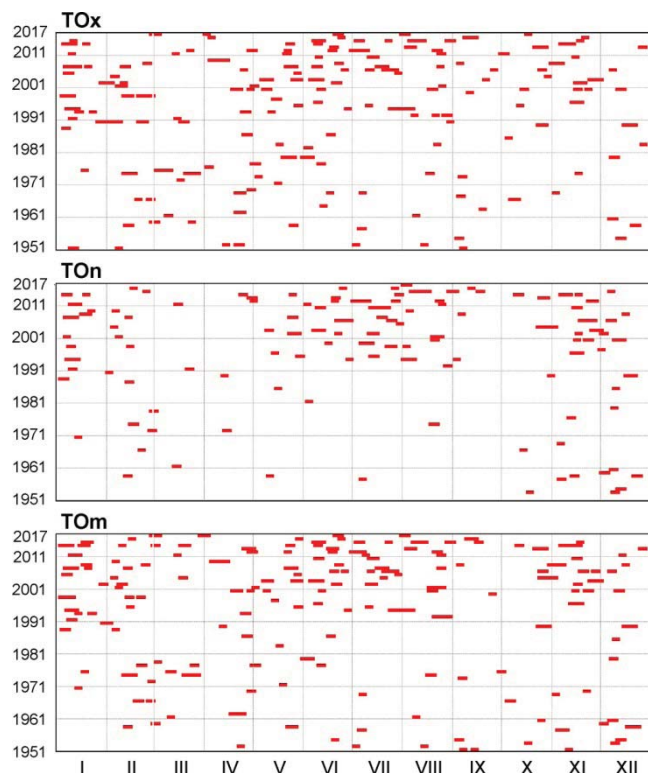
Tabuľka 2. Priemerný ročný počet teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

Table 2. Average annual number of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TO _n	TO _m	CHOx	CHOn	CHOm
1951–1980	1,53	0,77	1,57	1,67	1,13	2,00
1961–1990	1,47	0,70	1,23	1,33	0,87	1,53
1971–2000	2,03	1,27	1,73	1,50	0,80	1,63
1981–2010	2,80	2,07	2,67	1,13	0,67	1,47
1991–2017	3,93	3,11	4,07	1,11	0,44	1,48

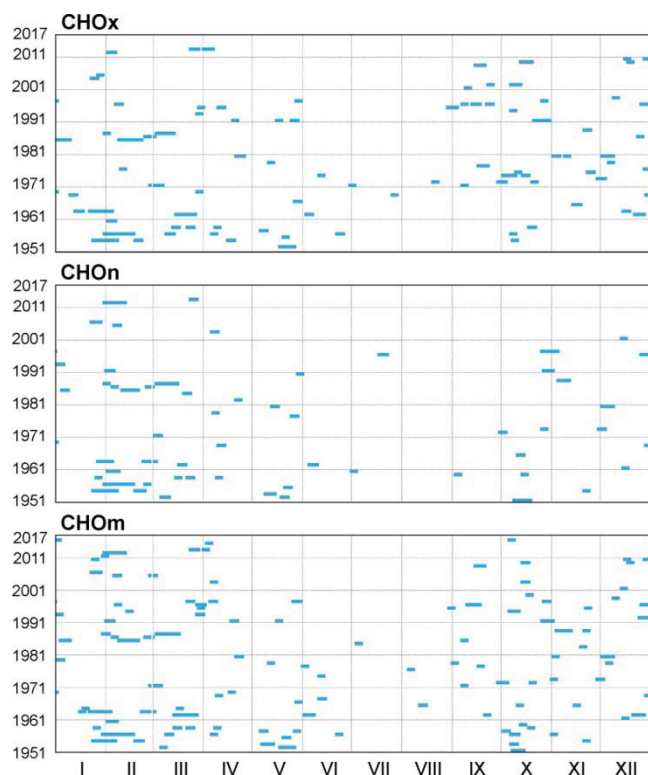
Obrázok 2. Časová distribúcia výskytu teplých období na Slovensku v rokoch 1951–2017.

Figure 2. Temporal distribution of the warm spells occurrence in Slovakia, 1951–2017.



Obrázok 3. Časová distribúcia výskytu chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017.

Figure 3. Temporal distribution of the cool spells occurrence in Slovakia, 1951–2017.



Početnosť výskytu TO a CHO bola približne do prelomu 80. a 90. rokov 20. storočia v zásade rovnocenná, TO/CHO sa teda v priemere vyskytovali podobne často. Odvtedy však všeobecne pozorujeme veľmi nápadné zvyšovanie rozdielu vo frekvencii ich výskytu, reprezentované veľmi značným pribúdaním TO a menej markantným úbytkom CHO. Od roku 1991 vrátane, t.j. za koncových cca 40 % dĺžky celého analyzovaného obdobia, sa vyskytlo 63,9 % zo všetkých identifikovaných TOx, 72,4 % TOn, 65,9 % TOm, 34,5 % CHOx, 21,4 % CHOn a 36,0 % CHOm.

Pokiaľ ide o rapidný rast počtu prípadov TO, znásobenie ich počtu bolo najväčšie v prípade TOn. Miernejšie vyjadrený pokles početnosti CHO celkovo gradoval skôr rovnomernejšie naprieč celou analyzovanou periódou takmer 70 rokov, pričom v druhej dekáde 21. storočia sa vyskytli už iba epizodické CHO. Z dlhodobého hľadiska je ústup CHO o čosi zreteľnejší iba v prípade CHOn, ktoré po r. 1991 dosiahli výskyt s priemernou frekvenciou menej ako raz za dva roky.

V sledovanom období 1951–2017 bol najvyšší ročný počet TOx zaregistrovaný v r. 2000 (9), TOn v r. 2014 (8), a TOm rovnako v r. 2014 (9). Najviac CHOx bolo zaznamenaných v r. 1956 (5) a 1996 (5, z nich jedno na prelome s nasledujúcim rokom), CHOn v r. 1958 (4), a CHOm v r. 1956 (6).

Trvanie TO/CHO

Na obrázku 4 sú zachytené ročné počty dní v rámci TO/CHO, čo je jeden z odporúčaného súboru oficiálnych ukazovateľov ETCCDI WMO na detekciu a monitoring klimatickej zmeny. Časové zmeny priemerného trvania TO/CHO znázorňuje tabuľka 3. Najdlhšie zaznamenané TO/CHO v sledovanom období sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Tabuľka 3. Priemerné trvanie [dni] teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

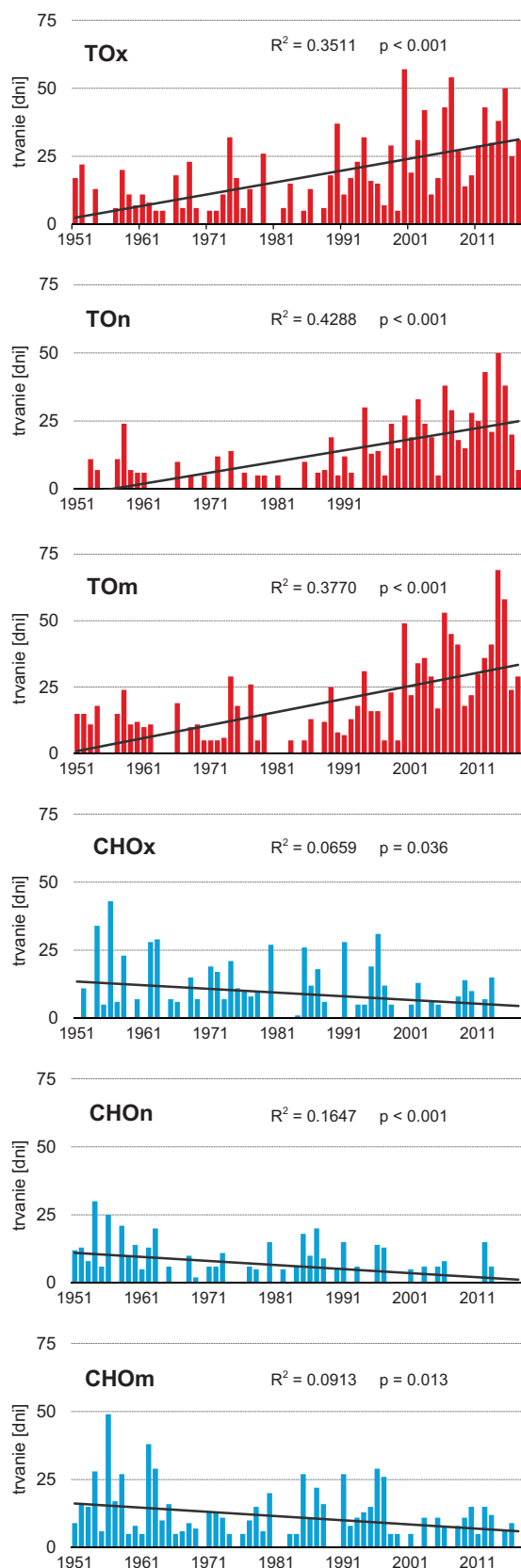
Table 3. Average duration [days] of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TOn	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
1951–1980	6,4	5,8	6,3	7,0	7,2	6,7
1961–1990	6,8	5,7	6,6	7,1	6,8	6,7
1971–2000	7,0	6,3	6,9	6,6	7,1	6,6
1981–2010	7,0	6,9	7,1	6,7	7,3	6,7
1991–2017	6,9	6,9	7,2	6,3	7,8	6,4

Podstatný, štatisticky významný nárast ročného trvania TO je najvýraznejší pre TOn. Menej výrazná, no stále štatisticky významná (na hladine významnosti $\alpha = 0,05$) je tendencia poklesu celkového ročného počtu dní v rámci CHO, najmarkantnejšie pri CHOn (trend významný aj na hladine $\alpha = 0,001$). Zrejme je postupné predlžovanie individuálnych TO, v porovnaní s obdobím pred rokom 1990 vzrástlo priemerné trvanie najviac pri TOn, až o vyše 1 deň. V prípade CHO sa výraznejšie prejavil azda len postupný pokles priemerného trvania CHOx. Istý náznak predlžovania sa v poslednej dobe objavil pri CHOn.

Obrázok 4. Ročné trvanie, t.j. počty dní v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017. Čiarou je naznačený odhad lineárneho trendu.

Figure 4. Annual duration, i.e. counts of days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The line indicates the respective linear trend.



Tabuľka 4. Najvýznačnejšie teplé a chladné obdobia na Slovensku v rokoch 1951–2017. V zátvorke je uvedené poradie pri troch popredných obdobiach podľa každého z príslušných ukazovateľov.

Table 4. The major warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The ranking of the top three events according to each of the respective variables is given in brackets.

začiatok	koniec	trvanie [dni]	priemerná intenzita [°C]	najväčšia intenzita [°C]	závažnosť = sumárna intenzita [°C]
TOx					
19.03.1974	29.03.1974	11	2,9	7,4 (3.-4.)	31,5
14.12.1989	23.12.1989	10	4,3	8,2 (1.)	42,9
25.01.1990	10.02.1990	17 (1.-2.)	2,0	3,8	33,6
25.08.1992	31.08.1992	7	5,9 (1.)	8,1 (2.)	41,6
23.07.1994	08.08.1994	17 (1.-2.)	2,6	4,9	44,6
27.01.2002	05.02.2002	10	2,9	7,4 (3.-4.)	29,3
05.01.2007	16.01.2007	12	4,1	7,0	49,6 (2.)
03.04.2009	16.04.2009	14 (3.)	2,5	3,6	35,1
22.08.2011	27.08.2011	6	5,3 (2.)	6,6	31,6
29.06.2012	11.07.2012	13	3,5	6,1	45,6 (3.)
04.08.2015	15.08.2015	12	4,2	6,6	49,9 (1.)
27.08.2015	02.09.2015	7	4,8 (3.)	7,1	33,9
TOn					
06.12.1960	11.12.1960	6	4,0 (3.)	6,3	23,9
15.11.2002	19.11.2002	5	4,1 (2.)	6,5 (3.)	20,4
22.10.2004	04.11.2004	14 (1.-3.)	2,5	6,6 (2.)	35,6 (1.)
05.01.2007	14.01.2007	10	3,3	5,5	33,4 (2.)
11.07.2010	24.07.2010	14 (1.-3.)	1,7	3,2	23,4
30.06.2012	12.07.2012	13	2,5	5,0	32,8 (3.)
17.01.2014	21.01.2014	5	4,2 (1.)	6,9 (1.)	21,0
05.08.2015	18.08.2015	14 (1.-3.)	1,7	3,1	23,2
TOm					
19.08.1992	31.08.1992	13 (3.-5.)	3,8	7,0 (3.)	48,8 (1.)
23.07.1994	08.08.1994	17 (1.)	1,6	3,5	27,7
12.02.1998	17.02.1998	6	4,4 (2.-3.)	7,6 (1.)	26,6
23.10.2004	04.11.2004	13 (3.-5.)	2,3	5,7	30,4
05.01.2007	14.01.2007	10	4,4 (2.-3.)	7,1 (2.)	44,0 (2.)
04.04.2009	16.04.2009	13 (3.-5.)	1,1	1,8	13,7
22.08.2011	27.08.2011	6	4,6 (1.)	6,4	27,8
05.11.2014	19.11.2014	15 (2.)	1,4	3,3	20,7
06.08.2015	16.08.2015	11	3,4	4,5	37,5 (3.)
CHOx					
23.01.1954	08.02.1954	17 (2.)	-5,3 (3.)	-9,4 (2.)	-90,3 (2.)
30.01.1956	18.02.1956	20 (1.)	-5,8 (1.-2.)	-10,2 (1.)	-116,2 (1.)
21.01.1963	05.02.1963	16 (3.-4.)	-3,1	-7,0	-48,8
08.02.1985	23.02.1985	16 (3.-4.)	-3,1	-7,9	-50,3 (3.)
01.02.2012	07.02.2012	7	-5,8 (1.-2.)	-8,6 (3.)	-40,6
CHOn					
23.01.1954	08.02.1954	17 (2.)	-6,1	-12,2 (1.)	-103,9 (2.)
30.01.1956	18.02.1956	20 (1.)	-7,0 (2.)	-12,1 (2.)	-140,0 (1.)
30.01.1987	03.02.1987	5	-8,1 (1.)	-11,2	-40,3
02.03.1987	16.03.1987	15 (3.-4.)	-3,8	-6,7	-56,7
25.12.1996	01.01.1997	8	-6,4 (3.)	-11,9 (3.)	-51,3
30.01.2012	13.02.2012	15 (3.-4.)	-4,6	-9,1	-69,7 (3.)
CHOm					
23.01.1954	07.02.1954	16 (2.-4.)	-6,5 (1.)	-12,0 (1.)	-103,9 (2.)
29.01.1956	18.02.1956	21 (1.)	-6,3 (2.)	-11,1 (2.)	-133,0 (1.)
13.03.1962	28.03.1962	16 (2.-4.)	-1,9	-3,9	-31,0
02.03.1987	17.03.1987	16 (2.-4.)	-3,4	-7,2	-55,1
25.12.1996	01.01.1997	8	-6,0 (3.)	-10,0 (3.)	-47,9
30.01.2012	13.02.2012	15	-4,3	-8,3	-65,2 (3.)

Intenzita TO/CHO

Tabuľka 5 ilustruje dlhodobé zmeny intenzity TO/CHO počas analyzovaného obdobia. Najprominentnejšie zaznamenané TO/CHO z pohľadu priemernej i najväčšej intenzity sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Intenzita TO, priemerná aj najväčšia, postupne v dlhodobom trende zreteľne vzrástla, najvýraznejšie je to v prípade TOm. V najteplejších dňoch je pritom vzostup intenzity TO o pár desiatín °C väčší než priemerný nárast za celé TO. Pri CHO je signál výraznejšieho celkového trendu len pre CHO_n, ktorých priemerná aj najväčšia intenzita sa do súčasnosti taktiež zosilnili, v najchladnejších dňoch takisto o čosi viac (~ 0,2 °C) než v prípade priemernej intenzity.

Tabuľka 5. Priemerné hodnoty priemernej a najväčšej intenzity teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

Table 5. Average values of the mean and largest intensity of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

		TO _x	TO _n	TO _m	CHO _x	CHO _n	CHO _m
priemerná intenzita [°C]	1951–1980	2,1	1,6	1,6	-2,2	-2,8	-2,3
	1961–1990	2,1	1,5	1,6	-2,2	-3,1	-2,4
	1971–2000	2,3	1,6	1,9	-2,1	-3,2	-2,3
	1981–2010	2,5	1,8	2,2	-2,2	-3,7	-2,5
	1991–2017	2,7	1,9	2,3	-2,4	-3,5	-2,2
najväčšia intenzita [°C]	1951–1980	3,8	2,9	2,8	-4,0	-5,2	-4,1
	1961–1990	3,8	2,7	2,8	-4,1	-5,8	-4,5
	1971–2000	4,0	2,9	3,3	-3,9	-5,8	-4,0
	1981–2010	4,3	3,2	3,7	-4,2	-6,3	-4,3
	1991–2017	4,5	3,4	3,9	-4,3	-6,1	-3,7

Závažnosť (sumárna intenzita) TO/CHO

Zmeny priemernej závažnosti TO/CHO z dlhodobého hľadiska znázorňuje tabuľka 6. Grafy v rámci obrázku 5 zachytávajú sumárnu závažnosť TO/CHO za jednotlivé roky. Najzávažnejšie zaznamenané TO/CHO sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Tabuľka 6. Priemerné hodnoty závažnosti (= sumárnej intenzity) [°C] teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

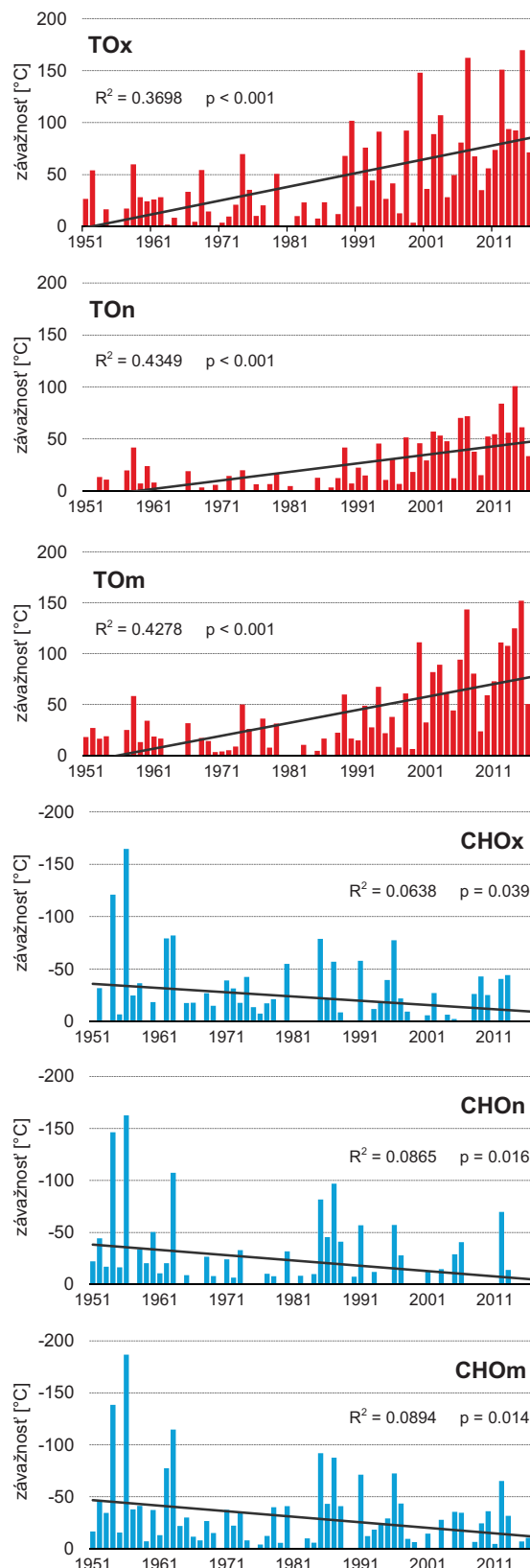
Table 6. Average values of the severity (= summary intensity) [in °C] of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TO _x	TO _n	TO _m	CHO _x	CHO _n	CHO _m
1951–1980	13,5	9,4	10,2	-17,8	-23,8	-18,1
1961–1990	14,5	8,6	10,8	-16,3	-22,6	-17,5
1971–2000	16,8	10,3	13,5	-14,4	-23,3	-15,8
1981–2010	18,0	12,5	15,6	-15,9	-27,1	-17,0
1991–2017	18,8	13,1	16,3	-15,3	-27,9	-14,6

Nakoľko ukazovateľ závažnosti TO/CHO v sebe kombinuje dosahované hodnoty trvania a priemernej intenzity období, trendy závažnosti logicky reflektujú zistené tendencie pri uvedených dvoch číastkových ukazovateľoch.

Obrázok 5. Ročná závažnosť, t.j. sumárna intenzita za dni v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017. Čiarou je naznačený odhad lineárneho trendu.

Figure 5. Annual severity, i.e. summary intensity over days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The line indicates the respective linear trend.



Pri hodnotách priemernej závažnosti TO je tak registrovaný jasný, a teda výrazný posun smerom k väčšej závažnosti. Taktiež sumárna ročná závažnosť pri TO očakávané vykazujú veľmi markantnú rastúcu tendenciu, ktorá je jednoznačne štatisticky významná. V prípade CHO je zdanlivo výraznejšou tendenciou iba nárast priemernej závažnosti individuálnych CHOn vzhľadom k nápadnejšiemu zvýšeniu hodnôt ku koncu sledovaného obdobia. Naznačené dlhodobé trendy ročnej závažnosti CHO mierne klesajú, pričom štatisticky významne (na hladine významnosti $\alpha = 0,05$), pri všetkých typoch CHO.

DISKUSIA

Nepochybne najzásadnejšou dlhodobou tendenciou, registrovanou v našich výsledkoch je podstatný nárast hodnôt všetkých sledovaných ukazovateľov TO v celoročnom režime. Tento stav je konzistentný so zisteniami v rámci štúdií Birsana a kol. (2014) a Spinoniho a kol. (2015) pre región Karpát. Uvedené trendy TO na Slovensku sú pritom primárne ovplyvnené, resp. vyvolané situáciou približne od začiatku 90. rokov 20. storočia, čo je v súlade aj s výsledkami Bochnička a kol. (2016, 2017). Z porovnania TO podľa teplotných charakteristík vyplýva, že vzostupný trend ukazovateľov početnosti, frekvencie a trvania TO na Slovensku je najzreteľnejší pri minimálnej teplote vzduchu (TO_n). Pri intenzite a priemernej závažnosti bol ale najvýraznejší nárast zaznamenaný pre zmenu v prípade priemernej teploty (TOM). Tieto skutočnosti sú v dobrej zhode s priestorovými trendovými indexmi pre celý karpatský región za obdobie 1961–2010 (Spinoni a kol., 2015).

Súhlasne so zaznamenanými priestorovými tendenciami v karpatskej oblasti (Birsan a kol., 2014; Spinoni a kol., 2015), hodnoty ukazovateľov CHO vo všeobecnosti na Slovensku signalizujú mierny dlhodobý pokles pri početnosti a trvaní a súčasne zoslabenie intenzity, prípadne sú trendy nevýrazné, stále však skôr záporného charakteru. Výnimku predstavuje určitý náznak predlžovania, intenzifikácie, a tým aj zväčšenia závažnosti individuálnych CHOn v poslednom období. Tieto zistenia však treba brať s určitou rezervou, kvôli veľmi nízkym zaznamenaným počtom CHOn obzvlášť po r. 2000.

Registrovaným trendom svojim časovým výskytom zodpovedajú aj absolútne najvýznamnejšie zaznamenané TO/CHO (Tab. 4) a prezentované najvyššie ročné hodnoty ich ukazovateľov. Najextrémnejšie CHO a roky s CHO sa väčšinou vyskytli pred diskutovaným „zlomom“ okolo roku 1990, zatiaľ čo analogické TO a roky s TO prakticky všetky po ňom, čo obdobie dokumentujú aj Spinoni a kol. (2015), či Bochniček a kol. (2016, 2017).

Považujeme za vhodné zdôrazniť, že v hodnotiacej časti práce sme nevenovali osobitnú pozornosť sezónnemu (v ročných obdobiach, teplom a chladnom polroku, a pod.), ani mesačnému výskytu TO/CHO. Pri početnosti a frekvencii TO/CHO však možno zvláštnosti ich výskytu v špecifických úsekoch roka vyčítať z obrázkov 2 a 3. Podrobnejší popis výskytu teplotne význačných období na Slovensku, špeciálne v rámci vybraných sezón, možno tiež nájsť v príbuzných prácach (Balážovičová a kol., 2015;

Spinoni a kol., 2015; Bochniček a kol., 2016; Švec a kol., 2016; Výberčí a Pecho, 2018).

Do nášho priestorového hodnotenia sme vedome nezahrnuli slovenské vysokohorské lokality, ktoré môžu z hľadiska teplotného režimu vykazovať nezanedbateľné špecifiká (Brázdil a kol., 1995; Lapin a kol., 2005; Faško a kol., 2013; Labudová a kol., 2015). V prípade dlhšie trvajúcich období to môže byť typické napr. pri výskyte inverzných situácií. Preto sa nazdávame, že analýza výskytu teplých a chladných období vo vysokých horských polohách bude vhodnejšia v rámci separátnej štúdie.

ZÁVER

Predkladaný príspevok má slúžiť v prvom rade ako súbor výstupný materiál v problematike výskytu súvislých dlhšie trvajúcich sérií vysokých a nízkych teplôt vzduchu na Slovensku v relatívnom chápaní, t.j. v celoročnom teplotnom režime v porovnaní s definovaným intervalom normálu. V príslušnej odbornej literatúre, podľa nášho najlepšieho vedomia, až doposiaľ absentovala možno povedať žiaduca, komplexnejšia komparatívna štúdia práve takéhoto zamerania. Dlhé série neobyčajne teplých a chladných dní totiž môžu mať obzvlášť negatívny účinok na prírodu aj spoločnosť, čo býva najpríznačnejšie predovšetkým v najteplejšej a najchladnejšej časti roka, kedy v náchylných lokalitách takéto náležité série znamenajú výskyt vln horúčav, resp. studených vln so silnými mrazmi.

Naše výstupy jasne potvrdzujú, že výskyt teplých období je v kontexte meniacej sa klímy aj na Slovensku de facto po všetkých stránkach značne prominentnejší, než obdobie chladných. Adekvátne tomuto stavu preto musia byť prispôbené ďalšie budúce aktivity, jednak v oblasti odborno-výskumnej, ale tiež, a najmä pri praktickej implementácii nadobudnutých poznatkov v konkrétnych sférach života a ľudskej činnosti, teda v adaptačných opatreniach.

LITERATÚRA

- Balážovičová, L.–Majkútová, D.–Kučera, M., 2015, *Analýza vln chladu a vývoj počtu ľadových a arktických dní v Oravskej Lesnej a v Hurbanove od roku 1951 do roku 2013. Meteorologický časopis 18(1): 3–8.*
- Birsan, M.-V.–Dumitrescu, A.–Micu, D.M.–Cheval, S., 2014, *Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. Natural Hazards 74(3): 1899–1910.*
- Bochniček, O.–Faško, P.–Markovič, L., 2017, *Heat waves according to warm spell duration index in Slovakia during 1901-2016. Poster prezentovaný na: 19th EGU General Assembly Conference, Viedeň (Rakúsko), 23.–28.4.2017. [Abstrakt dostupný online na <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-6108.pdf>]*
- Bochniček, O.–Faško, P.–Švec, M.–Markovič, L., 2016, *Heat waves and warm periods in Slovakia. Poster prezentovaný na: 18th EGU General Assembly Conference, Viedeň (Rakúsko), 17.–22.4.2016. [Abstrakt dostupný online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-2086.pdf>]*

- Brázdil, R.–Budíková, M.–Faško, P.–Lapin, M., 1995, Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Atmospheric Research* 37(1-3): 53–65.
- Christidis, N.–Stott, P.A., 2016, Attribution analyses of temperature extremes using a set of 16 indices. *Weather and Climate Extremes* 14: 24–35.
- ETCCDI, 2009, *Climate Change Indices: Definitions of the 27 core indices.* [Dostupné online na: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.]
- Faško, P.–Šťastný, P.–Švec, M.–Kajaba, P.–Bochmíček, O., 2013, Upward trends in time series of basic characteristics of air temperature at selected meteorological stations in Slovakia. Poster prezentovaný na: 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), Reading (United Kingdom), 9.–13.9.2013. [Dostupné online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2013/poster/13144>.]
- Frich, P.–Alexander, L.V.–Della-Marta, P.–Gleason, B.–Haylock, M.–Klein Tank, A.M.G.–Peterson, T., 2002, Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19(3): 193–212.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Ženeva, 151 p.
- Labudová, L.–Faško, P.–Ivaňáková, G., 2015, Changes in climate and changing climate regions in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 71–82.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Chmelík, M., 2005, Detection of climate change in the Slovak mountains. *Hrvatski meteorološki časopis* 40: 101–104.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčeková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. *Meteorologický Časopis* 19(1): 3–10.
- Perkins, S.E.–Alexander, L.V.–Nairn, J.R., 2012, Increasing frequency, intensity and duration of observed global heat-waves and warm spells. *Geophysical Research Letters* 39(20): L20714.
- Sobíšek, B. (ed.), 1993, *Meteorologický slovník výkladový a terminologický.* Praha: Academia, 594 p.
- Spinoni, J.–Lakatos, M.–Szentimrey, T.–Bihari, Z.–Szalai, S.–Vogt, J.–Antofie, T., 2015, Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology* 35(14): 4197–4209.
- Švec, M.–Faško, P.–Labudová, L.–Výberči, D.–Trizna, M., 2016, Dlhodobé zmeny vybraných charakteristík nadmerného tepelného stresu v lete na Slovensku. *Geographia Cassoviensis* 10(2): 193–203.
- Výberči, D.–Pecho, J., 2018, Letné periódy teplého počasia v období 1951–2017 na Slovensku, identifikované s využitím priestorových hodnôt teplotných charakteristík. *Meteorologický časopis* 21(1): 31–38.