

LETNÉ PERIÓDY TEPLÉHO POČASIA V OBDOBÍ 1951 – 2017 NA SLOVENSKU, IDENTIFIKOVANÉ S VYUŽITÍM PRIESTOROVÝCH HODNÔT TEPLOTNÝCH CHARAKTERISTÍK

DALIBOR VÝBERČI, JOZEF PECHO

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

The article deals with an approach in elaboration of sustained prolonged periods of high air temperature that has not yet been used yet in climatological practice in Slovakia. The study deals with the summer warm spells as events which are considered hot in a relative sense of excessive heat. While assessing the whole territory of Slovakia, the warm spells were identified by using spatial values of temperature characteristics. Six different definitions were applied for the detection of the events in time series. The results indicate marked changes in frequency, duration, intensity and overall severity of the summer warm spells in the long term. Comprehensively, we have determined the August 2015 warm spell as the most severe event within the period under study (1951–2017). We definitely recommend to use presented assessment for the purposes of the future climatological analyses.

Príspevok sa zaoberá na Slovensku doposiaľ nevyužívaným variantom klimatologického spracovania súvislých dlhšie trvajúcich období s vysokou teplotou vzduchu. Práca zachytáva periódy teplého počasia s teplom v relatívnom zmysle slova, zaznamenané v letnej sezóne. Periódy boli pritom identifikované kompaktné pre celé územie Slovenska pomocou priestorových hodnôt teplotných charakteristík. Samotná identifikácia periód v časových radoch bola uskutočnená pomocou šiestich rozličných definícií takýchto období. Preukázané boli nápadné zmeny v dlhodobej početnosti a trvaní, intenzite aj celkovej závažnosti letných periód teplého počasia. Za komplexne najzávažnejšiu, v analyzovanom období 1951–2017 bola na základe výsledkov označená perióda z prvej a druhej dekády augusta 2015. Prezentovaný prístup spracovania odporúčame využívať aj pre účely budúcich klimatologických analýz.

Key words: *climate change, weather extremes, temperature events, warm spells, heat, summer, Slovakia*

ÚVOD

Stále častejšie, intenzívnejšie a dlhšie obdobia extrémne vysokých teplôt vzduchu, typicky v podobe vln horúčav v najteplejšej časti roka, sú jedným z kľúčových očakávaných prejavov prebiehajúcej klimatickej zmeny (Meehl a Tebaldi, 2004; IPCC, 2014). Univerzálna a široko implementovaná definícia takýchto období však v klimatologickej praxi zatiaľ neexistuje (Kuchcik, 2006; Perkins a Alexander, 2013; Perkins, 2015; Zuo a kol., 2015).

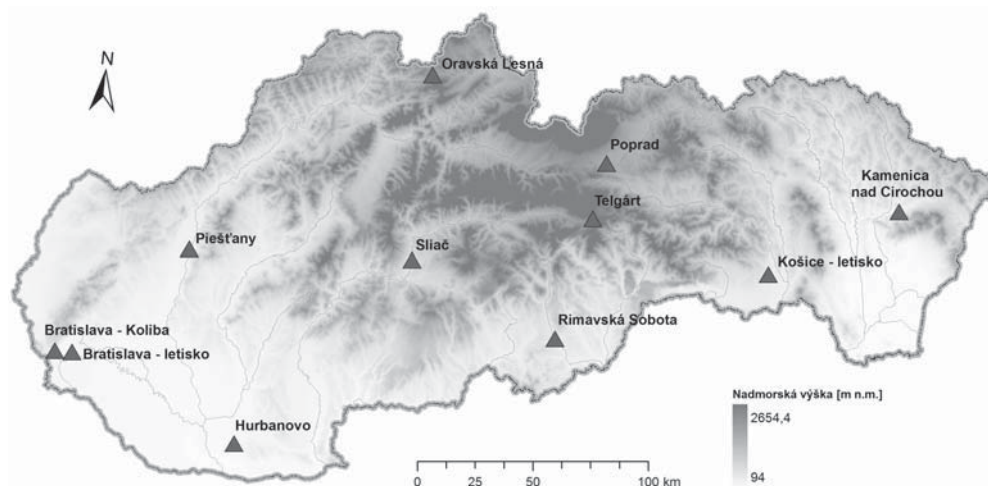
V klimatológii je v každom prípade evidentne dôležité rozlišovať *horúčavy*, kedy je teplo v absolútnom význame (čiže horúco) a (*veľmi*) *teplé obdobia*, kedy je teplo v relatívnom význame, vzhľadom k normálnym teplotám pre príslušnú ročnú dobu. V miernom pásme sú teda horúčavy nevyhnutne časovo obmedzené na teplý polrok, zatiaľ čo teplé obdobia sa môžu vyskytovať v ktorejkoľvek časti roka. Z klimatologického hľadiska sú horúčavy spojené s neobvykle vysokými teplotami, kým teplé obdobia s neobvykle vysokými teplotnými odchýlkami (Nairn a Fawcett, 2015). Súvislé obdobia horúčav sú známe aj ako *vlny horúčav*, teplé obdobia pre zmenu bývajú označované aj ako *teplé periódy*, alebo *periódy teplého počasia*, menej často tiež ako *vlny tepla*.

S ohľadom na rôznorodosť klimatických podmienok a rozmiestnenie obyvateľstva Slovenska sa môže javiť plne adekvátnym, a snáď aj celkovo vhodnejším variantom, uprednostňovať v analýzach definície období vysokých

teplôt v relatívnom význame. Na rozdiel od absolútnych teplotných charakteristík, komparativita teplotných odchýlok medzi lokalitami (stanicami) je totiž spravidla, čo je aj prípad SR, lepšia a priestorovo konzistentnejšia. Relatívne ladené definície teplých období sú preto spôsobilé zahrnúť celé územie krajiny, teda aj s prakticky celým obyvateľstvom a jeho aktivitami, pričom všetky lokality sú si navzájom rovnocenné. Súčasne však treba dbať na to, že je nutné oddeľovať čisto klimatologicko-geografický význam výskytu období vysokých teplôt a na druhej strane prípady, kedy sa orientujeme na zachytenie ich dôsledkov na spoločnosť. Ako klimaticky, tak aj sektorovo so zreteľom na spoločenský dopad, niekedy môže byť stále vhodnejšie využívať teplotne absolútne ladené definície, výber je preto v každom prípade vždy potrebné posudzovať podľa konkrétneho zamerania analýzy (Perkins a Alexander, 2013; Perkins, 2015; Zuo a kol., 2015). Napriek lepšej priestorovej (tak geografickej, ako aj klimatologickej) konzistentnosti období teplého počasia v relatívnom zmysle slova, boli doposiaľ v ucelenejších tradičných klimatologických štúdiách dlhodobej premenlivosti uvedených období na Slovensku dominantne spracúvané vlny horúčav, identifikované pomocou absolútnych teplotných charakteristík (Kolláriková a kol., 2013; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016). Jedinú čiastočnú výnimku možno nájsť v príspevku Šveca a kol. (2016), v ktorých hodnotení sú jedným zo zaradených ukazovateľov aj veľmi teplé periódy, identifikované v relatívnom ponímaní.

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

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



Hoci horúčavy, resp. teplé obdobia sú vo väčšine prípadov priestorovo extenzívnymi udalosťami a zasahujú celé územie Slovenska, predsa občas bývajú len regionálneho rozsahu. Práve kvôli takýmto prípadom sa nezdajú byť adekvátnymi kritériá, definované v príspevku Lapina a kol. (2016), po ktorých splnení už na jednej stanici kdekoľvek na Slovensku je vlna horúčav automaticky vzťahovaná aj pre ďalšie stanice z územia krajiny. Náležitou a vhodnou alternatívou veľkoplošného spracovania môže byť hodnotenie na základe priestorových hodnôt príslušných údajov z presne definovaného väčšieho súboru vhodne zvolených, t.j. reprezentatívne rozmiestnených staníc. Pri takomto postupe je očakávateľné, že na zaznamenanie obdobia s platnosťou pre dané (väčšie) územie, v našom prípade pre Slovensko, musia byť klasifikačné kritériá v praxi splnené na väčšine staníc. Doposiaľ žiadna práca s predkladanou problematikou v rámci Slovenska sa spracovaniu uvažovaných období z priestorových hodnôt nevenovala, autori ich spravidla identifikujú na stanicach jednotlivito, s následným vzájomným priestorovým porovnaním (Kolláriková a kol., 2013; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016).

Fundamentálnym účelom predkladaného príspevku je priniesť nový pohľad na klimatologické spracovanie teplotne výrazných období na Slovensku. Prvým z konkrétnych ústredných motívov je identifikácia periód teplého počasia v relatívnom význame teplotných charakteristík, takže analýza v sebe umožňuje zahrnúť aj mnohé menej exponované lokality z hľadiska výskytu horúčav v absolútnom chápaní. Pre potreby tejto práce sme zámerné zvolili spracovanie v sezóne klimatologického leta, takže identifikované periody teplého počasia sa podľa predpokladu súčasne prelínajú s obdobiami horúčav v regiónoch s dlhodobou najväčšou frekvenciou ich výskytu v rámci územia SR. Druhým konkrétnym prínosom práce je vymedzenie uvedených udalostí na základe priestorových hodnôt príslušných teplotných charakteristík z väčšieho počtu staníc. Vďaka obom uvedeným princípom spracovania je značne objektívnejšie a zároveň jednoduchšie hodnotiť výskyt období vysokých teplôt v rámci Slovenska ako celku. Pre detekciu periód teplého počasia v časových radoch sme zvolili spolu až 6 konkrétnych definícií (kritérií), vychádzajúc pri tom z globálne odporúčaných postupov pre analýzy tohto druhu. Vo výsledkovej časti pre-

zentujeme základné vyhodnotenie dlhodobej premenlivosti výskytu periód teplého počasia od polovice 20. storočia do súčasnosti a osobitne sa tiež venujeme zhodnoteniu najzávažnejších prípadov spomedzi týchto udalostí.

MATERIÁL A METÓDY

Klimatologické údaje

V analýze boli využité údaje z klimateckej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu o maximálnej (T_x) a priemernej (T_m) dennej teplote vzduchu z 11 klimatických staníc (Obr. 1) za obdobie 1951–2017. 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. 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 uspokojivej miere spĺňajú kritériá časovej a priestorovej homogenity, ako aj úplnosti charakteristík teploty vzduchu. Jediným zanedbateľným výpadkom v spracovávaných časových radoch boli chýbajúce údaje o maximálnej dennej teplote vzduchu z Oravskej Lesnej v septembri a októbri 1953.

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

Identifikácia periód teplého počasia

Súvislé dlhšie trvajúce obdobia s nezvykle vysokou teplotou vzduchu nazývame v našej analýze *periódami teplého počasia* (PTP). PTP sme v analýze identifikovali pomocou celkovo šiestich rôznych definícií. Všetky definície sú založené na odchýlkach zaznamenanej teploty vzduchu v každom dni záujmového obdobia od rôzne navrhnutých normálov pre daný deň v roku. Dosiahnutím, resp. prekročením určenej prahovej hodnoty teplotnej odchýlky sú definované teplé dni, ktorých neprerušovaný sled určitého

trvania tvorí PTP. Odchýlky teploty vzduchu pri všetkých definíciách boli počítané pre každú stanicu zvlášť a následným spriemerovaním z nich bola vypočítaná výsledná priestorová hodnota, reprezentatívna pre celé územie Slovenska. V súlade so zameraním štúdie boli PTP v analytickej časti identifikované a hodnotené len v priebehu klimatologického leta (VI – VIII; jún, júl, august).

Prvé tri definície môžeme označiť ako základové. Tvorcom definície /1/ je spoločná pracovná skupina Komisie pre klimatológiu (CCL) a variabilitu klímy (CLIVAR) Svetovej meteorologickej organizácie (WMO). Definícia /2/ predstavuje neskôr navrhnuté spresnenie predchádzajúcej. Túto druhú definíciu publikoval Expertný tím pre detekciu a ukazovatele klimatickej zmeny (ETCCDI), ktorý bol špeciálne vytvorený zo zástupcov troch komisií WMO: CCL, CLIVAR a Komisie pre oceánografiu a marinnú meteorológiu (JCOMM). V prípade definície /3/ ide o ďalšiu, optimalizovanú alternatívu príslušnej skupiny autorov voči predošlým variantom. Definície súvislých období vysokých teplôt /1/ až /3/ sú súčasťou komplexnejších ukazovateľov, ktoré boli navrhnuté ako globálne indikátory klimatickej zmeny. Pre Slovensko, vzhľadom k jeho klimatickým pomerom, neexistujú žiadne obmedzenia vo vhodnosti a použiteľnosti ktorejkoľvek zo základových definícií /1/ až /3/.

Teplotné pomery sú v trojici základových definícií /1/ až /3/ vyjadrené prostredníctvom denných maxim teploty vzduchu T_x . Popri maximálnej teplote je ale identifikácia teplotne výrazných období prípustná a bežne využívaná aj na Slovensku (Výberčí a kol., 2015; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016; Výberčí a kol., v tlači), tiež na základe priemernej dennej teploty vzduchu T_m . Ku každej z trojice základových definícií sme sa preto rozhodli pridať aj odvodený ekvivalent s využitím priemernej teploty, vid' definície /4/ až /6/.

Použitie identifikačné definície PTP sú nasledovné:

- /1/ Podľa Fricha a kol. (2002) séria za sebou idúcich dní, počas ktorých dosiahla odchýlka T_x od dlhodobého priemeru T_x 1961 – 1990 pre daný deň v roku hodnotu viac ako 5°C . Minimálna dĺžka trvania obdobia je 6 dní.
- /2/ 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 kľzavými priermi. Minimálna dĺžka trvania obdobia je 6 dní.
- /3/ Podľa Russo a kol. (2014) 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 1981 – 2010, pričom hodnoty denných percentilov sú zhladené 31-dennými kľzavými priermi. Minimálna dĺžka obdobia má byť podľa autorov zdrojovej štúdie zvolená s ohľadom na priestorové zameranie analýzy. V našich výstupoch sledujeme obdobia s minimálnym trvaním 6 dní, analogicky k definíciám /1/ a /2/. Toto trvanie bolo navyše už skôr navrhnuté pre európske podmienky (Fischer a Schär, 2010).

/4/ Séria za sebou idúcich dní, počas ktorých dosiahla odchýlka T_m od dlhodobého priemeru T_m 1961 – 1990 pre daný deň v roku hodnotu viac ako $4,4^\circ\text{C}$. Táto hodnota bola stanovená ekvivalentne k prahovej hodnote definovanej v rámci definície /1/ (5°C v prípade odchýlky T_x) a predstavuje hodnotu analogického kvantilu odchýlok T_m v celoročnej distribúcii hodnôt v celom záujmovom období 1951 – 2017. Minimálna dĺžka trvania obdobia je identická ako pri definícii /1/.

/5/ Identická s definíciou /2/, ale pre T_m .

/6/ Identická s definíciou /3/, ale pre T_m .

V zdrojových štúdiách základových definícií /1/ až /3/ používajú autori pre identifikované súvislé obdobia vysokých teplôt rôzne označenia. Na tomto mieste preto prízvukujeme, že v našej analýze tieto obdobia, s ohľadom na terminologickú korektnosť, interpretujeme pod jednotne zvoleným označením - t.j. PTP.

Taktiež je namieste ešte raz zdôrazniť, že pri všetkých šiestich definíciách prebieha samotná identifikácia PTP už v časových radoch údajov s vypočítanými priestorovými hodnotami pre územie Slovenska.

Vybraný súbor v analytickej časti prezentovaných ukazovateľov zachytáva všetky rozhodujúce atribúty obdobia vysokých teplôt. Zrejme najdôležitejším je *závažnosť* (*severita*) PTP, ktorá je vyjadrená sumou denných teplotných odchýlok nad prahovou hodnotou, dosiahnutie ktorej je potrebné pre klasifikáciu PTP podľa príslušnej definície. Ukazovateľ závažnosti v sebe vhodne kombinuje dve iné základné vlastnosti identifikovaného obdobia: jednak jeho *trvanie*, a taktiež dosiahnutú priemernú magnitúdu denných teplotných odchýlok, čiže *celkovú intenzitu*. Vo výstupoch ďalej tiež sledujeme a prezentujeme *maximálnu dennú intenzitu* PTP, čo je ukazovateľ, charakterizujúci teplotný vrchol (najteplejší deň) periódy, čiže najvyššiu dosiahnutú magnitúdu denných teplotných odchýlok v priebehu celej periódy.

Spomedzi PTP môžeme pri porovnávaní medzi definíciami užšie vyselektovať individuálne udalosti s rámcovo vhodným dátumovým zaradením (rozumej napr. perióda na prelome júla a augusta 1994, apod.), ktoré ďalej označujeme ako tzv. *rámcové* PTP. Len v jedinom prípade periódy v druhej polovici augusta 1992 sa stalo, že podľa jedinej definície (/1/) zahŕňalo rámcové obdobie dve rozdelené, kratšie individuálne PTP. Za smerodajnú pre vzájomné porovnanie rámcových PTP sme z dvojice periód v tomto prípade považovali tú s dlhším trvaním a väčšou závažnosťou.

VÝSLEDKY

Podľa jednotlivých definícií /1/ až /6/ bolo na Slovensku v letách v období 1951 – 2017 zaznamenaných 30, 31, 19, 22, 32, resp. 16 PTP (súhrnne 150). Celkovo bolo určených 41 tzv. rámcových PTP, z ktorých 16 bolo identifikovaných všetkými šiestimi použitými definíciami.

Početnosť a trvanie PTP

Zo súhrnného počtu 150 identifikovaných letných PTP sa 127 (84,7 %) vyskytlo po roku 1990 vrátane, 107 (71,3 %) po roku 2000 vrátane a 69 (presne 46 %) v období 2010–2017. Podľa dvojice najaktuálnejších definícií /3/ a /6/, využívajúcich novší operatívny normál 1981–2010, sa v letách pred rokom 1990 vyskytli iba 2 PTP: obe podľa definície /3/ a obe minimálneho možného trvania 6 dní. Z vyššie uvedeného vyplýva, že podľa definície /6/ boli úplne všetky PTP zaznamenané po roku 1990. Zmeny početnosti PTP v analyzovanom období ilustruje tabuľka 1.

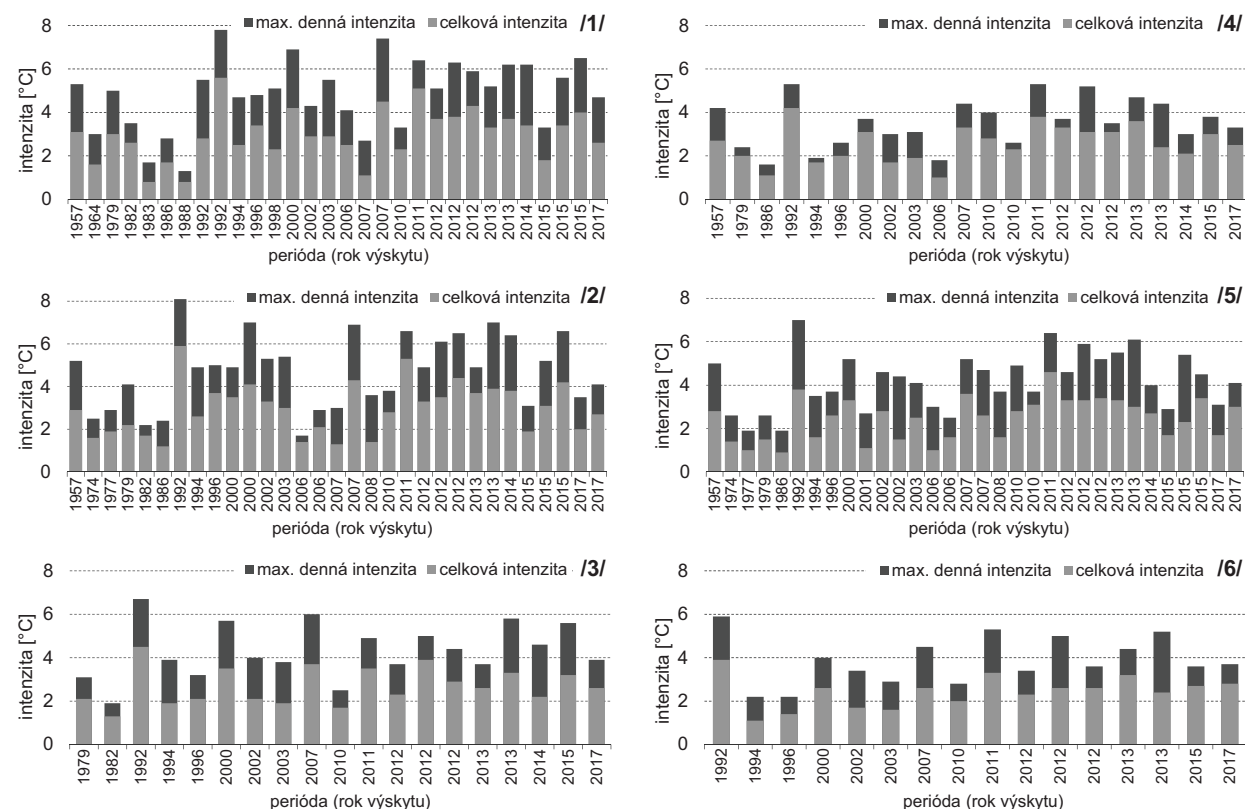
Tabuľka 1. Priemerný ročný počet letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/).

Table 1. Mean annual number of the summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective definitions (/1/ to /6/).

Obdobie	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951–1990	0,18	0,15	0,05	0,08	0,13	0,00
1961–1990	0,20	0,17	0,07	0,07	0,13	0,00
1981–2010	0,53	0,50	0,30	0,37	0,53	0,27
1991–2017	0,85	0,93	0,63	0,70	1,00	0,59

Obrázok 2. Celková a maximálna denná intenzita letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku v období 1951–2017 podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Celková intenzita PTP predstavuje priemer denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP. Maximálna denná intenzita PTP predstavuje v priebehu periódy najvyššiu dennú odchýlku príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Figure 2. Overall and maximal daily intensity of the summer warm spells in Slovakia, 1951–2017, according to respective identification definitions (/1/ to /6/). Overall intensity of a warm spell is determined as an average of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold. Maximal daily intensity of a warm spell is determined as the events' highest value of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.



Spomedzi 41 rámcových letných PTP sa po roku 1990 vrátane vyskytlo 32 (78,0 %) prípadov. Identifikovaných bolo desať liet s viac ako jednou PTP: 1992, 2000, 2002, 2006, 2007, 2010, 2012, 2013, 2015 a 2017. Maximálne ročné počty PTP boli dosiahnuté po roku 2010, pričom najpozoruhodnejším v tomto ohľade bol rok 2012 s trojicou zaregistrovaných období podľa každej z definícií.

Priemerné trvanie letnej PTP v sledovanom období 1951–2017 sa v závislosti na použitej definícii pohybovalo od 7,5 do 8,1 dňa. Do roku 1990 sa však výlučne vyskytovali relatívne kratšie periódy: väčšinou s najkratším možným trvaním 6 dní a niekoľko prípadov 7-dňových PTP. Po uvedenom roku sa v súčasnosti stal bežným aj výskyt dlhších období (viď aj Tab. 4 ďalej v texte výsledkovej časti), pričom priemerné trvanie v tomto období dosiahlo podľa jednotlivých definícií 7,6 až 8,4 dňa.

Intenzita PTP

Obrázok 2 znázorňuje intenzitu jednotlivých letných PTP a následne tabuľka 2 zmeny intenzity v analyzovanom období. Značná väčšina udalostí sa síce vyskytla až v druhej polovici analyzovaného obdobia, no nárast intenzity je aj tak dobre vyjadriteľný v prípade celkovej intenzity období, a rovnako pri maximálnej dennej intenzite.

Tabuľka 2. Priemerné hodnoty celkovej a maximálnej dennej intenzity individuálnych letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Celková intenzita PTP predstavuje priemer denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP. Maximálna denná intenzita PTP predstavuje v priebehu periódy najvyššiu dennú odchýlku príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Table 2. Average values of overall and maximal daily intensity of the individual summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective identification definitions (/1/ to /6/). Overall intensity of a warm spell is determined as an average of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold. Maximal daily intensity of a warm spell is determined as the events' highest value of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.

Obdobie	Celková intenzita [°C]						Obdobie	Maximálna denná intenzita [°C]					
	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/		/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951 – 1990	1,9	1,9	1,7	1,9	1,5	-	1951 – 1990	3,2	3,2	2,5	2,7	2,8	-
1961 – 1990	1,8	1,7	1,7	1,6	1,2	-	1961 – 1990	2,9	2,8	2,5	2,0	2,3	-
1981 – 2010	2,7	2,8	2,5	2,3	2,3	2,1	1981 – 2010	4,5	4,5	4,2	3,1	4,1	3,5
1991 – 2017	3,3	3,2	2,8	2,7	2,6	2,4	1991 – 2017	5,4	5,1	4,6	3,6	4,5	3,9

Všeobecne vzaté, možno vidieť, že v porovnaní s obdobím pred rokom 1990 vzrástla celková intenzita zaznamenaných období po uvedenom roku v priemere aj o vyše 1 °C. Stúpla pochopiteľne aj maximálna intenzita v najteplejších dňoch období, a to vo všeobecnosti ešte výraznejšie, osobitne pri PTP, definovaných s využitím maxim teploty vzduchu (definície /1–3/).

Závažnosť PTP a najzávažnejšie individuálne PTP

V súlade s predĺžovaním trvania a zvyšovaním intenzity individuálnych letných PTP sa v súčasných klimatických pomeroch nápadne zvýšila aj ich závažnosť, ako je možné vidieť v tabuľke 3.

Tabuľka 3. Priemerná závažnosť individuálnych letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Závažnosť PTP predstavuje sumu denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Table 3. Average severity of the individual summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective identification definitions (/1/ to /6/). Severity of a warm spell is determined as a sum of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.

Obdobie	Závažnosť [°C]					
	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951 – 1990	12,0	11,8	10,1	11,5	9,9	-
1961 – 1990	10,9	10,7	10,1	9,3	8,1	-
1981 – 2010	21,6	22,6	20,2	17,3	19,7	16,1
1991 – 2017	27,1	25,9	22,1	20,2	21,7	18,1

Hľadanie najextrémnejších letných PTP z hľadiska ich závažnosti (kombinovaný účinok trvania a intenzity) možno v zásade obmedziť na 16 rámcových PTP, ktoré boli súčasne identifikované každou zo šiestich zvolených definícií (Tab. 4). Medzi týchto 16 prípadov patria všetky historicky najvýznamnejšie a odborne najdiskutovanejšie letné série teplých dní, ktorým Slovensko v analyzovanom období čelilo. Medzi absolútne najzávažnejšie letné PTP na Slovensku minimálne od roku 1951 môžeme celkom

evidentne zaradiť periódy v auguste 1992, júli 2007, na prelome júna a júla 2012 a v auguste 2015. Práve tieto periódy dosiahli podľa všetkých použitých definícií najkompaktnejšie, stabilne najvyššie hodnoty ukazovateľa závažnosti, a to ako podľa definícií s maximami, tak aj s využitím priemernej dennej teploty. PTP z prelomu júla a augusta 1994 skončila podľa väčšiny definícií ako najdlhšia zaznamenaná PTP s trvaním 16–18 dní, no hneď podľa dvojice definícií s priemernou dennou teplotou bola významne kratšia, čo sa výrazne prejavilo aj v nižších príslušných hodnotách ukazovateľa závažnosti.

DISKUSIA

Zámerom nášho príspevku bolo čisto tradičné klimatologické hodnotenie teplotne výrazných období. Použili sme tri základové a tri z nich odvodené definície daných období na základe globálne odporúčaných postupov, vychádzajúcich z návrhov kľúčových medzinárodných organizácií v oblasti počasia a klímy. S ohľadom na priestorové zameranie sú však prípustné určité modifikácie uvedených definícií, typicky v prípade trvania obdobia. Napríklad Lapin a kol. (2016) odporúčajú na úrovni Slovenska minimálne trvanie už 5 dní namiesto tu prezentovaných 6 dní.

Vzhľadom k čisto klimatologickému zameraniu štúdie sme nevyužili ďalšie dostupné postupy identifikácie období vysokých teplôt, ktoré sú súčasne orientované aj na ich dôsledky, napr. zaujímavý komplexnejší prístup Nairna a Fawcetta (2015), zohľadňujúci záťaž nadmerným teplom. Nakoľko jedným z ústredných motívov nášho príspevku bolo hodnotenie nadmerného tepla vzhľadom k obvyklým teplotám v ročnom chode, pri detekcii období sme z pochopiteľných dôvodov ignorovali definície, využívajúce vopred stanovené prahové hodnoty absolútnych denných maxim a priemerov teploty vzduchu, ako je to napr. v prácach Kollárikovej a kol. (2013), či Lapina a kol. (2016).

K použitým metódam spracovania je ešte potrebné poznamenať, že spomedzi šiestich použitých definícií PTP štyri /1, 2, 4, 5/ využívajú normálové obdobie 1961–1990 a príslušné zistené skutočnosti teda odrážajú stav vzhľadom k obdobiu pred markantným nástupom klimatickej zmeny.

Tabuľka 4. Vybrané letné periódy teplého počasia (PTP) na Slovensku v období 1951–2017 a hodnoty ich vybraných charakteristík podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Tabuľka obsahuje len periódy, identifikované súčasne všetkými šiestimi definíciami.

Table 4. Selected summer warm spells in Slovakia, 1951–2017, and values of their selected characteristics under the respective definitions (/1/ to /6/). Only the events identified by all six definitions are captured in the table.

Rámcové časové zaradenie PTP	Dátumový interval max. trvania	Trvanie [dni]						Závažnosť = suma teplotných odchýlok nad prahovou hodnotou [°C]					
		/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
druhá polovica augusta 1992	19. – 31.8.	7	7	7	7	13	7	39,5	41,6	31,3	29,1	48,8	27,4
prelom júla a augusta 1994	22.7. – 8.8.	18	17	16	9	17	9	44,1	44,6	30,1	14,9	27,7	9,8
prvá polovica júna 1996	7. – 12.6.	6	6	6	6	6	6	20,4	22,3	12,8	12,0	15,5	8,1
druhá a tretia dekáda augusta 2000	16. – 22.8.	7	7	7	6	7	7	29,6	28,7	24,2	18,6	22,9	17,9
druhá a tretia dekáda júna 2002	15. – 24.6.	7	7	7	10	7	7	20,5	23,0	14,6	17,0	19,6	11,8
prvá polovica júna 2003	2. – 13.6.	11	10	10	12	10	10	31,6	30,3	19,1	22,2	25,1	16,0
druhá a tretia dekáda júla 2007	15. – 23.7.	9	9	8	9	9	9	40,8	38,6	29,9	29,6	32,3	23,7
polovica júla 2010	10. – 17.7.	8	8	7	8	8	7	18,2	22,2	11,8	18,2	24,8	14,2
tretia dekáda augusta 2011	22. – 27.8.	6	6	6	6	6	6	30,3	31,6	20,8	22,9	27,8	19,5
druhá polovica júna 2012	16. – 21.6.	6	6	6	6	6	6	22,2	19,9	14,0	19,9	19,7	14,0
prelom júna a júla 2012	29.6. – 11.7.	13	13	9	11	11	10	49,5	45,6	34,7	34,6	35,9	26,4
druhá polovica augusta 2012	19. – 25.8.	7	7	7	6	7	6	30,1	30,9	20,0	18,3	23,7	15,4
druhá a tretia dekáda júna 2013	15. – 22.6.	7	6	6	7	8	6	23,3	22,2	15,4	25,2	26,1	19,3
prvá dekáda augusta 2013	2. – 9.8.	8	8	8	8	8	8	29,9	31,4	26,2	18,8	24,0	19,5
prvá a druhá dekáda augusta 2015	4. – 16.8.	12	12	13	10	11	11	47,8	49,9	41,4	29,8	37,5	29,6
prelom júla a augusta 2017	30.7. – 5.8.	7	7	6	7	7	6	18,3	18,8	15,7	17,2	21,3	16,8

Pozn.: **Tučným fontom sú zvýraznené najvyššie hodnoty príslušného ukazovateľa.**

Dvojica použitých definícií PTP /3/ a /6/ však využíva novší operatívny normál 1981–2010, a východiskovo tak charakterizuje výskyt periód v aktuálnej klíme (viď zdrojovú publikáciu Russo a kol., 2014). Znamená to, že priame vzájomné porovnávanie či kombinovanie výsledkov medzi týmito dvoma množinami definícií by neposkytovalo objektívny obraz o zachytenom stave výskytu PTP. Z uvedeného dôvodu sme sa takéto hodnotenia a formulácie v práci snažili eliminovať.

Aj naše výsledky zreteľne potvrdzujú pozorované prejavy klimatickej zmeny na území Slovenska, čo je v súlade so zisteniami iných publikovaných prác (Faško a kol., 2008, 2013; Kolláriková a kol., 2013; Labudová a kol., 2015; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016). Je pozoruhodné, že ku koncu analyzovaného obdobia sa častejšie zopakovali prípady veľmi závažných letných PTP: 2007, 2012, 2015. V prípade vytvorenia vhodnej perzistentnej poveternostnej situácie, môžu budúce periódy v našom regióne dosiahnuť aj rekordne dlhé trvanie. V kombinácii s narastajúcou intenzitou týchto udalostí sa tak v budúcnosti nedá vylúčiť výskyt abnormálne teplých periód. Slovensko v rámci stredoeurópskeho priestoru ešte nezaznamenalo svoju novodobú tzv. *megavlnu* horúčav, čo je pojem, ktorý sa medzi klimatológmi objavil v reakcii na bezprecedentné epizódy v lete 2003 v Západnej Európe, resp. v lete 2010 v európskej časti Ruska a najnovšie tiež v júni 2017 v Západnej Európe (Barriopedro a kol., 2011; Fischer, 2014; Sánchez-Benítez a kol., 2018).

Ak by sme na základe výsledkov mali určiť práve jednu absolútne najzávažnejšiu PTP na území Slovenska, pri komplexnejšom pohľade na všetky atribúty naprieč všetkými použitými definíciami môžeme uvedeným prívlastkom označiť periódu v prvých dvoch dekádach augusta 2015. Uvedená udalosť doposiaľ nebola konkrétne

hodnotená v žiadnej tradičnej klimatologickej analýze v rámci územia Slovenska, zdá sa však, že si rozhodne zaslúži väčšiu odbornú pozornosť, a to aj s ohľadom na evidované následky. Stala sa napr. absolútnym počtom indukovaných nadbytočných úmrtí najsmrteľnejšou horúcou letnou epizódou na Slovensku minimálne od roku 1996, pričom bola výnimočne pozoruhodnou udalosťou aj ďalšími sprievodnými prejavmi v režime úmrtnosti (Výberčí a kol., v tlači).

Absolútne hodnoty teploty vzduchu v priebehu PTP

Pre vykreslenie výskytu horúčav v absolútnom význame pridávame v rámci diskusie aj základný popis teplotných pomerov z hľadiska dosiahnutých absolútnych denných maxim T_x a priemerov T_m počas identifikovaných PTP.

Pokiaľ ide o periódy identifikované s využitím T_x (definície /1–3/; súhrnne 80 PTP), na niektorej zo súboru 11 použitých staníc bola v rámci každej identifikovanej PTP dosiahnutá T_x aspoň 31,8 °C. V jednotlivých dňoch trvania periód pritom teplotné maximum na aktuálne najteplejšej zo staníc nikdy neklesli pod hodnotu 29,1 °C. Dosahované hodnoty T_x v najteplejších lokalitách každopádne vyhovujú v praxi používaným postupom pre vyčlenenie vln horúčav pomocou prahových hodnôt denných maxim. Napríklad, konkrétne kritéria v Strednej Európe často používané metodiky Kyselého a kol. (2000) sú v priebehu nami identifikovaných PTP naplnované v najteplejších lokalitách dokonca s veľkou rezervou.

Pri periódach identifikovaných s využitím T_m (definície /4–6/; súhrnne 70 PTP) bola na niektorej zo staníc v niektorom z dní každej PTP zaregistrovaná T_m 24,9 °C a vyššia. V jednotlivých dňoch pritom T_m na aktuálne najteplejšej zo staníc vždy dosiahla hodnotu 21,3 °C a viac.

Relatívne nižšie maximá a denné priemery teploty vzduchu v priebehu PTP sa prirodzene vyskytovali výlučne v prípade PTP na začiatku júna. V pokročilejších štádiách leta už boli pochopiteľne bežnými väčšie extrémy, akými sú napr. často diskutované supertropické maximá ($\geq 35^\circ\text{C}$), či denné priemery $\geq 27^\circ\text{C}$. V tomto kontexte je však nutné prihliadať na to, že účinky teplého počasia na spoločnosť počas skorého leta môžu byť špecifického charakteru. Napríklad, na začiatku leta je evidované podstatne vyššie riziko teplom podmieneného úmrtia než v neskorom lete, pretože existujú zásadné intrasezónne rozdiely aj v charaktere tepelno-úmrtnostných vzťahov (Gasparrini a kol., 2016).

Značná časť územia Slovenska s nezanedbateľnou časťou jeho obyvateľstva patrí podľa klimatických klasifikácií do chladnejších oblastí, kde je výskyt obzvlášť vysokých absolútnych maxim teploty vzduchu aj v súčasnej klíme stále sporadický, prípadne sa v určitých lokalitách nevyskytujú vôbec. Avšak napríklad v súčasnom humánno-bioklimatologickom výskume je pri hodnotení nadmerným teplom indukovanej úmrtnosti široko akceptovanou skutočnosť, že človek viac reaguje na odchýlky teploty vzduchu než na jej absolútne hodnoty. Tento stav sme zistili aj pri výbere prediktora úmrtnosti pri spracovaní štúdie o letálnych účinkoch letných epizód so zvýšeným teplotným stresom na celé slovenské obyvateľstvo (Výberčí a kol., 2015). To znamená, že možno dôvodne predpokladať, že napr. u priemerného Oravčana leží prah vnímavosti na vysoké teploty nižšie než u priemerného obyvateľa Podunajskej roviny, takže rovnaká teplota môže vyvolať markantné negatívne zdravotné dôsledky na Orave, zatiaľ čo v Komárne nemusia byť pozorované žiadne významné následky.

ZÁVER

Súvislé dlhšie trvajúce obdobia so zvýšenou teplotou vzduchu, obzvlášť v priebehu leta, sú dôležitým prejavom prebiehajúcej klimatickej zmeny, v súčasnosti je preto ich hodnoteniam naďalej potrebné prisudzovať náležitú pozornosť a význam. V práci sme aplikovali na Slovensku doteraz prakticky nevyužívaný prístup k detekcii takýchto období. Samotné použitie všetkých vybraných definícií teplých období v relatívnom význame sa zdá byť v podmienkach Slovenska bezproblémové. Našimi postupmi identifikované PTP tiež dobre korešpondujú s výskytom tropických maxim a vysokých denných priemerov teploty vzduchu v najteplejších oblastiach Slovenska. V týchto horúčavami zasahovaných lokalitách je tak zachovaná absolútna magnitúda indukovaného teplotného stresu, a teda aj v tomto aspekte má u nás definovanie období vysokých teplôt v relatívnom význame svoje opodstatnenie. Vzhľadom k súčasnej väčšej objektivite pri porovnávaní viacerých lokalít a množstvu ďalších výhod oproti absolútne ladeným definíciám doporučujeme ich uprednostňovanie pre tradičné klimatologické analýzy. Pre budúce celoslovenské hodnotenia môžeme tiež v rámci prezentovaného prístupu bez významnejších obmedzení odporučiť spracovanie na základe priestorových hodnôt z reprezentatívnych staníc.

Ktorúkoľvek z prezentovaných metodík definovania teplotne význačných období možno v budúcnosti využiť

pre celoročné aj akokoľvek inak sezónne obmedzené spracovania. Analogickým spôsobom sú postupy aplikovateľné pre analýzu dolných extrémov teploty vzduchu, pričom ich tiež možno použiť aj pre spracovanie charakteristiky minimálnej dennej teploty vzduchu. Definície možno taktiež aplikovať aj pre hodnotenia na jednotlivých stanicích, či regionálne analýzy akéhokoľvek priestorového rozsahu. Nezanedbateľnou výhodou prezentovaného prístupu tiež je, že výsledky sú široko komparabilné s inými analýzami tohto typu, a to v podstate až na globálnej úrovni.

Naše výsledky naznačujú, že dlhšie trvajúce periódy (veľmi) teplého počasia sa na Slovensku stávajú bežnou súčasťou súčasných liet, pričom sa predĺžilo ich trvanie a rastie aj ich intenzita. Ku koncu analyzovaného obdobia 1951–2017 sa dokonca zopakovali periódy so značne zvýšenou celkovou závažnosťou. Známe periódy z rokov 1992 a 1994 boli na Slovensku v rámci nastúpivšej klimatickej zmeny akýmisi „pionierskymi“ prípadmi takýchto udalostí, je však celkom evidentné, že klimatologicky už majú svojich plnohodnotných, pri komplexnom vnímaní zdá sa aj prominentnejších nástupcov. Za všestranne najvýznamnejšiu zaznamenanú letnú periódu teplého počasia na území Slovenska zatiaľ môžeme považovať udalosť z augusta 2015.

LITERATÚRA

- Barriopedro, D.–Fischer, E.M.–Luterbacher, J.–Trigo, R.M.–García-Herrera, R., 2011, *The hot summer of 2010: re-drawing the temperature record map of Europe*. *Science* 332:220–224.
- ETCCDI, 2009, *Climate Change Indices: Definitions of the 27 core indices*. [Dostupné online na: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.]
- Faško, P.–Lapin, M.–Pecho, J., 2008, *20-year extraordinary climatic period in Slovakia*. *Meteorologický časopis* 11: 99–105.
- Faško, P.–Šťastný, P.–Švec, M.–Kajaba, P.–Bochniček, O., 2013, *Upward trends in time series of basic characteristics of air temperature at selected meteorological stations in Slovakia*. *13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology, Reading (United Kingdom)*, 9.–13.9.2013. [Dostupné online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2013/poster/13144/>.]
- Fischer, E.M.–Schär, C., 2010, *Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves*. *Nature Geoscience* 3(6): 398–403.
- Fischer, E.M., 2014, *Autopsy of two mega-heatwaves*. *Nature Geoscience* 7(5): 332–333.
- 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: 193–212.
- Gasparrini, A.–Guo, Y.–Hashizume, M.–Lavigne, E.–Tobias, A.–Zanobetti, A.–Schwartz, J.D.–Leone, M.–Michelozzi, P.–Shilu Tong, H.K.–Honda, Y.–Kim, H.–Armstrong, B.G., 2016, *Changes in susceptibility to heat during the summer: a multicountry analysis*. *American Journal of Epidemiology* 183(11): 1027–1036.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Asses-*

- sment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ženeva, 151 p.
- Kolláriková, P.–Szolgay, J.–Pecho, J., 2013, Long-term changes in selected characteristics of heat waves in Slovakia. *Meteorologický Časopis* 16: 63–69.
- Kuchcik, M., 2006, Defining heat waves - different approaches. *Geographica Polonica* 79(2): 47–63.
- Kyselý, J.–Kalvová, J.–Květoň, V., 2000, Heat waves in the South Moravian region during the period 1961–1995. *Studia Geophysica et Geodaetica* 44(1): 57–72.
- 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.–Turňa, M.–Čepčková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. *Meteorologický časopis* 19: 3–10.
- Meehl, G.A.–Tebaldi, C., 2004, More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305: 994–997.
- Nairn, J.R.–Fawcett, R.J.B., 2015, The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heat-wave severity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 227–253.
- Perkins, S.E., 2015, A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Research* 164: 242–267.
- Perkins, S.E.–Alexander, L.V., 2013, On the measurement of heat waves. *Journal of Climate* 26: 4500–4517.
- Russo, S.–Dosio, A.–Graversen, R.G.–Sillmann, J.–Carrao, H.–Dunbar, M.B.–Singleton, A.–Montagna, P.–Barbola, P.–Vogt, J.V., 2014, Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119: 12500–12512.
- Sánchez-Benítez, A.–García-Herrera, R.–Barriopedro, D.–Souza, P.M.–Trigo, R.M., 2018, June 2017: The earliest European summer mega-heatwave of reanalysis period. *Geophysical Research Letters* 45(4): 1955–1962.
- Švec, M.–Faško, P.–Labudová, L.–Výberči, D.–Trizna, M., 2016, Longterm changes in the characteristics of heat stress in the summer in Slovakia. *Geographia Cassoviensis* 10: 193–203.
- Výberči, D.–Švec, M.–Faško, P.–Savinová, H.–Trizna, M.–Mičetová, E., 2015, The effects of the 1996–2012 summer heat events on human mortality in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 58–70.
- Výberči, D.–Labudová, L.–Eštoková, M.–Faško, P.–Trizna, M., v tlači, Human mortality impacts of the 2015 summer heat spells in Slovakia. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Zuo, J.–Pullen, S.–Palmer, J.–Bennets, H.–Chileshe, N.–Ma, T., 2015, Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *Journal of Cleaner Production* 92: 1–12.