

Dlhodobé zmeny vybraných charakteristík nadmerného tepelného stresu v lete na Slovensku

Marek ŠVEC, Pavol FAŠKO, Livia LABUDOVÁ, Dalibor VÝBERČI, Milan TRIZNA

Abstract: *The main aim of the paper is to analyse the trend of selected heat stress characteristics in summer. Summer heats are stress factor for plants and animals and they show their impact on the mortality of Slovak population more often. Analysed climatological data represent four cities in Slovakia, which have long-term datasets and different geographical conditions. The study period was 1951 – 2014 and analyse was focused on summer in general, not on the single months of the season. The results show evident increasing and statistically significant trend. Additionally, the steepest increase was observed in the last 25 years. Moreover, high air temperatures have occurred more frequently even at the end of spring and at the beginning of autumn since the end of 20th century. Obvious increase in the number of heat waves in summer should be a reason for the preparing of adaptation measures. These should lead to higher life quality and above all they should avoid vain deaths caused by heat waves.*

Keywords: *equivalent temperature, heat waves, mortality, tropical day*

Úvod

Horúčavy patria k štandardným prejavom počasia a ľudia, ale aj zvieratá a rastliny vždy hľadali akúsi „stratégiu“, ktorá spočívala v určitom úspornom režime, kedy zníženou, resp. zmenenou aktivitou prežívali toto nepriaznivé obdobie. U človeka môže byť cit pre správny odhad takejto situácie oslabený vplyvom zaužívaných pravidiel vyplývajúcich zo životného štýlu. Takto potom môže dochádzať k disharmónii medzi záujmami človeka a nepriaznivými poveternostnými podmienkami. V posledných desaťročiach sa tento konflikt stal ešte vypuklejšim ako v minulosti, pretože časové a priestorové rozšírenie horúčav na Zemi rastie (Pachauri a Meyer 2014). Stále akútnejším sa stáva tento problém v spojení s predčasnou a nadmernou úmrtnosťou aj vo vnútrozemí strednej Európy, čo názorne ilustrujú aj výsledky analýz vybraných charakteristík nadmerného tepelného stresu a mortality, spracované v rámci niektorých meteorologických staníc reprezentujúcich rôzne regióny Slovenska v období 1951 – 2014 (Výberči 2012).

Podľa všeobecnej definície Robinsona (2001) predstavuje vlna horúčav dlhšie trvajúce obdobie neobvykle silného, atmosféricky zapríčineného tepelného stresu, ktoré si vyžaduje prechodné zmeny v životnom štýle ľudí a ktoré môže spôsobiť, resp. zanechať zdravotné následky v zasiahnutej populácii. Na základe toho autor osobitne pripomína, že hoci vlna horúčav je meteorologickým fenoménom, nemôže byť vyhodnocovaná bez prepojenia jej účinkov na ľudskú spoločnosť. Robinson súčasne uvádza, že definícia vlny horúčav musí zahŕňať kombinovaný účinok prvkov a prejavov počasia ovplyvňujúcich tepelný pocit človeka a prahové hodnoty pre jej vymedzenie musia zohľadniť účinok dennej, aj nočnej teploty vzduchu, rešpektujúc variabilitu klimatických podmienok v danej oblasti. Nutné je tiež zohľadnenie dĺžky trvania horúčav (Robinson 2001), ktoré priamo vyplýva aj z inej všeobecnej definície Goslinga et al. (2014), podľa ktorej vlna horúčav predstavuje viac dní trvajúce obdobie s extrémne vysokou teplotou vzduchu. Práve vzhľadom k neúplnému

dodrživaniu niektorých z uvedených kritérií preferujeme v našej analýze skôr jednoduchý pojem *horúčava*, resp. *horúci deň*, alebo *obdobie horúcich dní* namiesto exaktného termínu *vlna horúčav*.

Konkrétna univerzálna definícia pre vymedzovanie vln horúčav v odbornej literatúre dodnes nebola jednotne prijatá (e.g., Robinson 2001, Kuchcik 2006, Gosling et al. 2009). Rovnako horúčavy stále nie sú oficiálne definované ani v slovenskej meteorologickej a klimatologickej praxi a v verejnom zdravotníctve na Slovensku sa ani nesledujú za účelom vytvorenia varovného systému (Koppová 2011). Podľa Kyselého a Plavcovej (2012) sprevádza horúce obdobia s dĺžkou trvania minimálne 2 dni oveľa väčšia odozva v úmrtnosti než počas samostatných, izolovaných horúcich dní. Aspoň dvojdňové trvanie odporúča tiež Robinson (2001) a v neposlednom rade takýto výber lepšie uspokojuje kritérium dĺžky trvania, uvádzané vo všeobecných definíciách horúcich období.

V súčasných podmienkach meniacej sa klímy vyvolala problematika vplyvu vysokých teplôt na úmrtnosť obyvateľstva ešte väčší záujem vedcov obzvlášť kvôli výskytu viacerých bezprecedentne extrémnych vln horúčav. V poslednom období, po roku 2000, vyvolali mimoriadnu úmrtnostnú krízu horúčavy extrémne teplého leta 2003 (Kosatsky 2005, García-Herrera et al. 2010), ktoré najvýraznejšie zasiahli západnú a juhozápadnú Európu, najviac v prvých dvoch augustových týždňoch. Podľa de Bonovej et al. (2004) boli letné horúčavy v roku 2003 počtom obetí jednou z najhorších prírodných katastrof v Európe za posledných 100 rokov a úplne najhoršou za posledných 50 rokov.

V našom príspevku sme sa však zamerali len na analýzu zmien vybraných charakteristík nadmerného tepelného stresu v lete bez ďalšieho hodnotenia ich možného vplyvu na mieru úmrtnosti obyvateľstva SR, resp. neskúmali jej možné korelácie a zmeny v čase, či zvýšenie úmrtnosti počas vybraných horúčav v lete. Horúčavami sa z hľadiska ich vplyvu na úmrtnosť obyvateľstva Slovenska vo vybraných letách resp. počas zaznamenaných vln horúčav novšie zaoberá napríklad práca Výberčího et al. (2015).

Metodika

Pre potreby analýzy boli využité vstupné údaje o priemernej dennej teplote vzduchu, maximálnej dennej teplote vzduchu a tlaku vodnej pary z štyroch profesionálnych klimatologických staníc s dlhým radom pozorovaní – Bratislava (letisko), Hurbanovo, Sliač a Košice. Z nich boli vypočítané vybrané charakteristiky pre letné obdobia (jún – august) v období rokov 1951 – 2014. Medzi vybrané charakteristiky patrí počet tropických a supertropických dní, absolútne maximum teploty v lete, suma kladných odchýlok maximálnej teploty vzduchu od 30 °C, priemerná ekvivalentná teplota vzduchu v lete, počet horúcich dní, ako aj ich maximálna dĺžka trvania v lete. Supertropický deň je novou teplotnou charakteristikou, ktorej vznik podmienila potreba detailnejšej kategorizácie mimoriadne vysokých teplôt vzduchu, ktoré sa na našom území vyskytujú častejšie než v minulosti (Šťastný 2015). Trendy vybraných klimatologických charakteristík resp. ich vývoj v období 1951 – 2014 boli v tejto štúdií vyjadrené polynomicou trendovou čiarou 2. stupňa. Štatistická významnosť trendu bola testovaná F-testom na úrovni významnosti 95 %.

Tropický deň je definovaný ako deň, kedy maximálna teplota vzduchu vystúpila na 30 °C, alebo vyššie (Sobišek 1993). Ekvivalentne bol nami definovaný aj pojem supertropický deň. Hraničná hodnota však bola definovaná ako 35 °C. Sledovaná bola aj absolútne maximálna teplota vzduchu nameraná v letnom období na stanici. Maximálne denné teploty vzduchu boli vstupom aj pre výpočet sumy kladných odchýlok maximálnej teploty vzduchu od 30 °C.

Na bioklimatologické hodnotenie sa pomerne často používa ekvivalentná teplota, keďže spája v jednom čísle teplotu, vlhkosť a čiastočne aj tlak vzduchu. Táto charakteristika, vhodná na vyjadrenie nadmerného tepelného stresu v lete a jeho zmien, bola spracovaná aj v tomto príspevku. Ekvivalentná teplota (izobarická) je definovaná ako teplota, ktorú nadobudne vzduch, ak všetka vodná para v ňom obsiahnutá skondenzuje, a takto uvoľneným teplom sa ohreje tento vzduch za stáleho tlaku. Pri tlaku blízkom 100 kPa možno ekvivalentnú teplotu počítať podľa jednoduchého vzorca:

$$T_e = T + 15e,$$

kde T_e je ekvivalentná teplota v °C, e je tlak vodnej pary v kPa a T je teplota vzduchu v °C.

Nevýhodou ekvivalentnej teploty ako bioklimatickej veličiny je, že neberie do úvahy pohyby vzduchu, ktorý má pri odnímaní tepla organizmu nemalú úlohu (Čabajová 1979).

Okrem týchto charakteristík sme v štúdiu sledovali aj počet horúcich dní a maximálnu dĺžku ich trvania v lete. Metodiku vyčlenenia horúcich dní sme prebrali od autorov Gosling et al. (2014) s miernou modifikáciou. Autori použili metódu kvantilov, pričom horúcim dňom bol deň, v ktorom odchýlka priemernej dennej teploty vzduchu od normálu bola vyššia ako hodnota 90. percentilu jej empirickej distribúcie v letných mesiacoch v normálovom období 1961 - 1990. V našom prípade sme však pre vyčlenenie čo možno najviac teplotne extrémnych dní v priebehu leta použili 95. percentil.

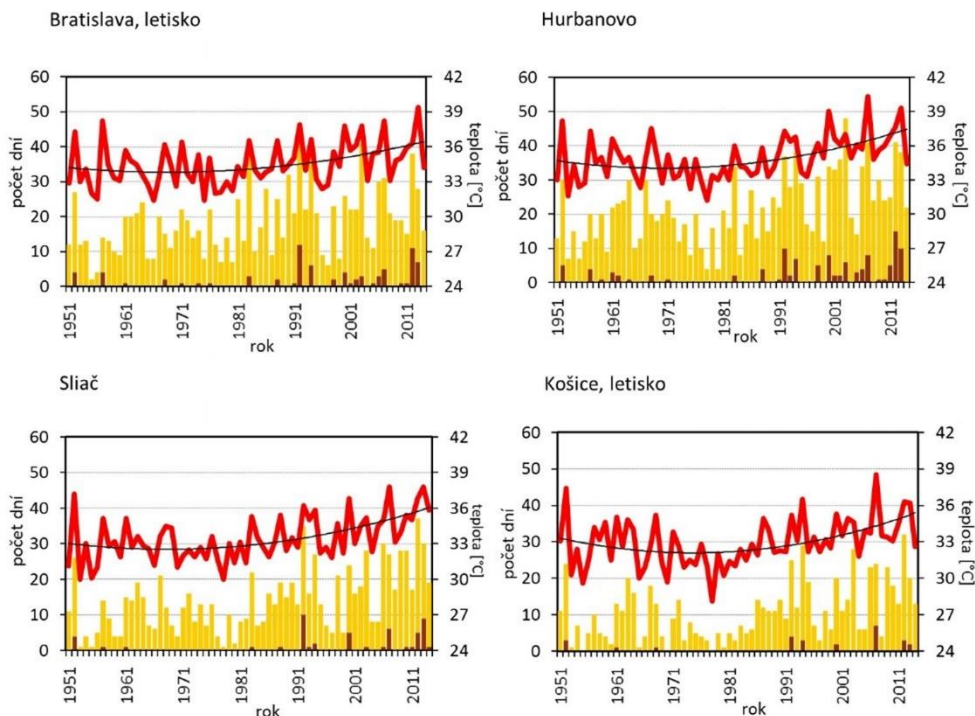
Výsledky

Vzostupný, štatisticky významný trend sa neregistruje iba pri absolútnych maximálnych hodnotách teploty vzduchu v jednotlivých letách, ale aj v počte tropických a supertropických dní, pričom nápadné sú tieto vzostupy predovšetkým približne v poslednom štvrtstoročí (obr. 1). Predovšetkým po roku 1990 pritom v lete na všetkých vybraných staniách výrazne vzrástol počet supertropických dní (v grafoch osobitne vyčlenené v rámci tropických dní). Z nárastu počtu dní, kedy maximálna denná teplota dosiahne hranicu 35 °C a viac vyplýva, že sa počas horúcich letných epizód zvýšil počet extrémnejších prípadov, resp. dní s mimoriadne vysokou maximálnou dennou teplotou vzduchu. To potvrdzujú aj historické rekordy maximálnej teploty vzduchu, ktoré registrujeme v posledných rokoch. Napr. na stanici Bratislava-letisko bol posledný rekord absolútnej maximálnej dennej teploty vzduchu počas leta zaregistrovaný 8. augusta 2013, kedy bolo nameraných 39,4 °C.

Tab. 1. Nárast hodnôt jednotlivých charakteristík za obdobie 1951 – 2014 na vybraných staniách na Slovensku; všetky hodnoty sú štatisticky významné

stanica	Absolútna Tmax (°C)	Max. dĺžka trvania veľmi teplej periódy (deň)	Počet veľmi teplých dní	Počet tropických dní	Priem. T_e (°C)	Priem. Tmax (°C)	Suma odchýlok kladných odchýlok Tmax od 30 °C (°C)
Bratislava (letisko)	2,2	5,5	8,7	9,8	1,3	2,8	41,9
Hurbanovo	2,8	4,2	6	12,9	2,8	2,7	57
Košice	2,1	4	8,8	10,5	3,6	2,6	24,4
Sliač	3	5,3	8,1	13,8	2,7	2,7	44

Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav.



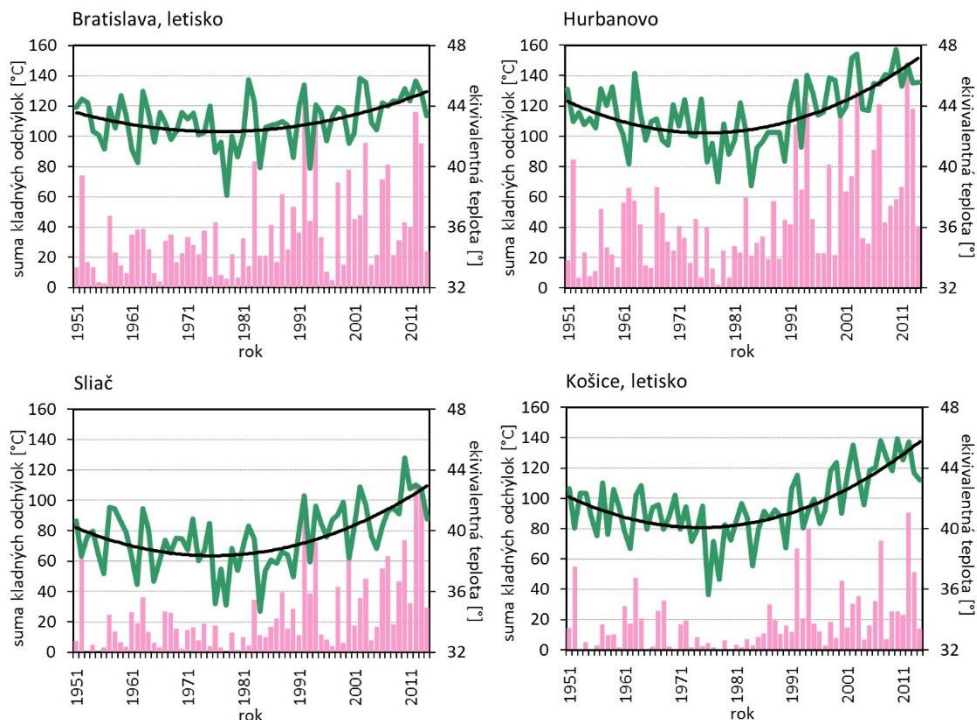
Obr. 1. Počet tropických (žlté stĺpce) a supertropických dní (hnedé stĺpce) a absolútne maximum teploty vzduchu v lete (jún – august; línia) na vybraných meteorologických staniách na Slovensku v období 1951–2014. Trend príslušnej charakteristiky je vyjadrený polynomičnou čiarou 2. stupňa (trend je štatisticky významný na úrovni 95 %).

Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav

Hoci ekvivalentná (izobarická) teplota vo svetovej literatúre nie je príliš frekventovanou veličinou, špeciálne na bioklimatologické účely sa v minulom výskume na Slovensku i v susednom Česku (napr. Čabajová 1979, Květoň 2002) využila metóda jej výpočtu podľa Robitscha (1928), ktorá jedným číslom vyjadruje kombinovaný vplyv teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu na pocit človeka. Hodnoty priemernej letnej ekvivalentnej teploty vzduchu od roku 1951 vzrástli na niektorých staniách v priemere aj o viac ako 3 °C (obr. 2), pričom tento nárast je aj štatisticky významným. Z hľadiska jednotlivých letných mesiacov sa pritom na raste priemernej letnej ekvivalentnej teploty vzduchu najviac podieľa mesiac júl.

Z čisto teplotného hľadiska extrémnosť jednotlivých liet do istej miery vyjadruje suma kladných odchýlok maximálnej teploty vzduchu nad 30 °C (obr. 2). Pri vzájomnom porovnaní tejto charakteristiky s ekvivalentnou teplotou je zaujímavé, že v posledných rokoch aj v prípadoch s teplotne miernejším letom, resp. s nižšou sumou kladných odchýlok maximálnej teploty nad 30 °C, zostáva priemerná ekvivalentná teplota v lete stále pomerne vysoká. Keďže ekvivalentná teplota v sebe popri teplote zahŕňa aj vplyv vlhkosti vzduchu, jej vysoká hodnota, aj v relatívne menej horúcich letách, vypovedá o meniacich sa vlhkosťných podmienkach z hľadiska celkového komfortu počas leta (napríklad leto 2010). Na druhej strane jej hodnoty môžu z roka na rok, resp. pre každé leto výrazne kolísať, čo je do veľkej miery podmienené vplyvom rôznych vlhkých a teplých vzduchových hmôt prichádzajúcich a zotrvávajúcich nad územím Slovenska počas leta.

Suma kladných odchýlok maximálnej dennej teploty vzduchu nad hodnotou 30 °C a priemerná letná ekvivalentná teplota vzduchu (obr. 2) pritom ešte zreteľnejšie potvrdili vzostupné tendencie teploty vzduchu v letných mesiacoch než charakteristiky počtu tropických dní či absolútne maximum teploty vzduchu v lete.



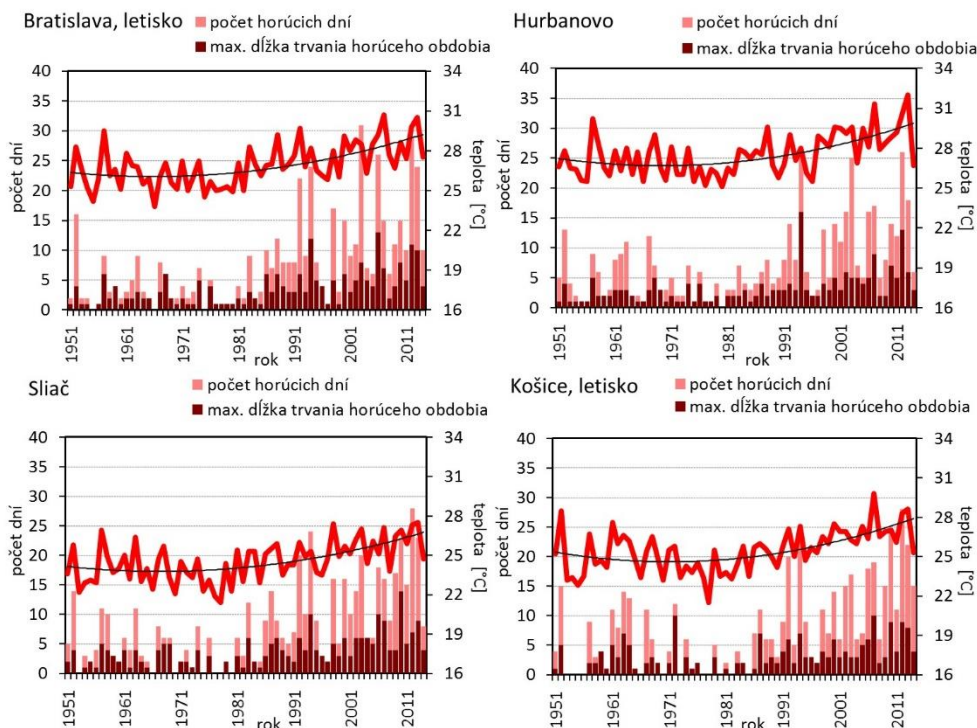
Obr. 2. Suma kladných odchýlok maximálnej teploty vzduchu od 30 °C (stĺpce) a priemerná ekvivalentná teplota vzduchu v lete (línia) na vybraných meteorologických staniách na Slovensku v období 1951–2014. Trend príslušnej charakteristiky je vyjadrený polynomicou čiarou 2. stupňa (trend je štatisticky významný na úrovni 95 %).
Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav

Početnosť horúcich dní podľa zvolenej metodiky veľmi dobre koreluje s maximami priemernej dennej teploty vzduchu (obr. 3). Toto je dôvod, prečo v súvislosti s horúčavami je analyzovaná aj táto charakteristika teploty vzduchu. Najvyššia priemerná denná teplota vzduchu na Slovensku (32,6 °C) bola pritom zaregistrovaná len nedávno, 8. augusta 2013, v Piešťanoch.

Ako možno vidieť na obr. 3, najvyšší sumárny počet horúcich dní bol na jednotlivých staniách zaznamenaný v Bratislave-letisku v lete 2003 (31), v Hurbanove v lete 1994 (26), na Sliači v lete 2012 (28) a podobne v Košiciach-letisku v lete 2012 (28). Roky, kedy sa horúce dni počas leta vôbec nevyskytli, boli na vybraných meteorologických staniách naposledy zaznamenané v druhej polovici 70-tych a prvej polovici 80-tych rokov, pričom v posledných 25 rokoch bol nízky počet horúcich dní zaznamenaný len v dvoch letách (1995 a 1996).

Dlhšie trvanie horúceho obdobia resp. dlhšie rady po sebe nasledujúcich horúcich dní tvoriace niekoľkodňové epizódy s mimoriadne vysokými priemernými dennými teplotami

vzduchu opäť dobre korelujú so zaznamenanými hodnotami maximálnej priemernej dennej teploty vzduchu (obr. 3). Výraznejšie sa trvanie takýchto horúcich období v rámci vybraných staníc predĺžilo napríklad v Sliachi na strednom Slovensku, kde do roku 1994 dosiahlo trvanie horúceho obdobia maximálne 6 dní a to len v troch letách, kým v nasledujúcich rokoch sa tu počas leta vyskytlo až desať rovnako dlhých či výrazne dlhších období.

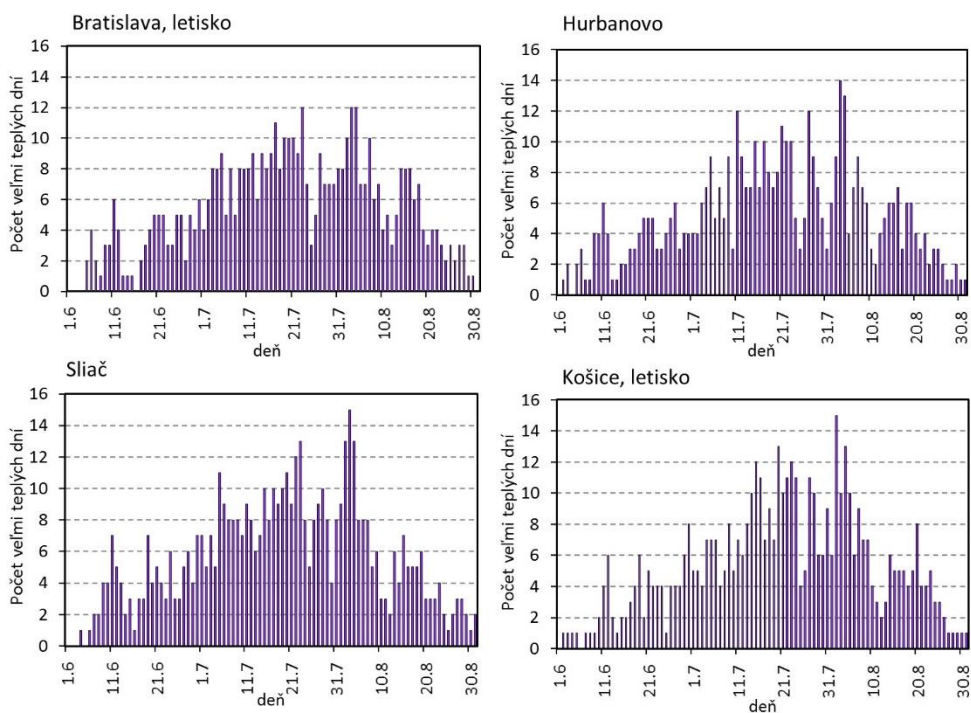


Obr. 3. Celkový počet horúcich dní (dni s priemernou teplotou vyššou než hodnota 95. percentilu empirickej distribúcie priemernej dennej teploty vzduchu v normálovom období 1961–1990), maximálna dĺžka trvania horúceho obdobia (najväčší počet po sebe nasledujúcich horúcich dní) a maximálna priemerná denná teplota vzduchu v lete na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku v období 1951–2014. Trend príslušnej charakteristiky je vyjadrený polynomicou čiarou 2. stupňa. Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav

Vhodným zdrojom na strategické uvažovanie v adaptačných opatreniach v súvislosti s výskytom horúčav je režim výskytu horúcich dní v jednotlivých dňoch letných mesiacov (obr. 4). Analýza ich výskytu v jednotlivých letných dňoch odhalila, že horúce dni na Slovensku gradujú prevažne na prelome druhej a tretej júlovej dekády a neskôr znova v prvej augustovej dekáde. V ostatných obdobiach leta je ich výskyt menej pravdepodobný, čo platí predovšetkým o prvých júnových dňoch. Hodným zmienky v súvislosti s ročným režimom je tiež, že na konci 20. a na začiatku 21. storočia sa stále častejšie začali vyskytovať sezóny, v ktorých sa vysoké teploty vzduchu objavili už v máji a dokonca v posledných rokoch aj na konci apríla (roky 2012 a 2013). Tieto tendencie boli zachytené aj v septembri, ale zvýšenie výskytu horúcich dní v tomto prvom jesennom mesiaci nebolo také zreteľné ako na konci jari.

Podľa viacerých prezentovaných charakteristík nápadne vystupujú do popredia niektoré pozoruhodné letá. Vo všeobecnosti ide najmä o letá s mimoriadne horúcimi individuálnymi

dňami v rokoch 2007, 2012 a 2013. Ako absolútne najextrémnejšie pri komplexnom pohľade na teplotné podmienky sa javí leto 2007, počas ktorého bola dňa 20. júla 2007 v Hurbanove nameraná aj zatiaľ historicky najvyššia teplota vzduchu na Slovensku (40,3 °C). V období 15. – 23. júla 2007 dosiahla priemerná teplota vzduchu v Hurbanove hodnotu 28,6 °C, pričom priemer maximálnej dennej teploty vzduchu za uvedených 9 dní bol až 36,8 °C. Iné extrémne teplé obdobia boli okrem roku 2007 zaznamenané aj v letách 1992, 1994, 2006, 2010, 2012 a 2013, väčšinou v priebehu, resp. na rozhraní júla a augusta.



Obr. 4. Počet horúcich dní (dni s priemernou teplotou vyššou než hodnota 95. percentilu empirickej distribúcie priemernej dennej teploty vzduchu v normálovom období 1961–1990) zaznamenaný v jednotlivých dňoch leta (1.6. - 31.8.) v období 1951-2014 na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku; Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav

Diskusia a záver

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že vzostup priemernej a minimálnej dennej teploty vzduchu v lete (Labudová et al. 2015, Ivaňáková et al. 2015) podporil silnejší potencionálny výpar v krajine a teda aj následné zvýšenie priemerného tlaku vodných pár. Keďže sa však hodnoty priemernej letnej ekvivalentnej teploty vzduchu menili od roku 1951 priebežne, možno predpokladať, že sa obyvateľstvo „zhoršujúcim“ sa teplotno-vlhkostným podmienkam do istej miery postupne prispôbovalo.

Z pohľadu tepelno-vlhkostného komfortu človeka je relevantné brať do úvahy aj výskyt dusných dní. Dusno predstavuje subjektívny, nepríjemný pocit vyvolaný kombinovaným účinkom vyššej teploty a vyššej relatívnej vlhkosti vzduchu na ľudský organizmus pri slabom vetre. Nepríjemný pocit spôsobuje malý výpar potu, teda malé schladzovanie povrchu tela. Dusno sa vyskytuje najmä pred búrkou (lokálne "búrky z tepla"). Hranicou pre pocit

dušna je pri relatívnej vlhkosti vzduchu 100 % už teplota 16,5 °C, pri relatívnej vlhkosti 50 % teplota 27,9 °C a pri vlhkosti 30 % až 36,9 °C. Keďže ale ide o subjektívny pocit, bola hranica dušna presne stanovená na základe jednej z vlhkosných charakteristík a to takzvaného tlaku vodnej pary (e). Za dušný deň považujeme taký, počas ktorého bola zaznamenaná hodnota $e \geq 18,8$ hPa podľa Scharlauovho indexu (Scharlau 1943). Takýmto spôsobom už bol v rámci odborných príspevkov SHMÚ stanovený a zhodnotený počet dušných dní v jednotlivých rokoch od roku 1951 na vybraných meteorologických stanicích Slovenska (Švec 2014). Nepriaznivý trend z pohľadu tepelno-vlhkostného komfortu človeka v priebehu leta teda potvrdzuje aj nárast počtu zaznamenaných dušných dní, stanovených na základe hodnoty parciálneho tlaku vodných pár.

Údaje spracované v rámci článku Švec (2014) poukazujú na zvýšenie počtu dušných dní v poslednom období, ktoré je nápadné najmä po roku 1990 s výraznejším maximom okolo roku 2010. Zaujímavý je vývoj počtu dušných dní na meteorologických stanicích na strednom, a najmä východnom Slovensku, pričom výrazný nárast počtu takýchto dní od roku 1951 nastal napríklad v Poprade. Zaujímavý je aj fakt, že v Poprade bol od roku 2004, každý rok zaznamenaný aspoň jeden a viac dušných dní, pričom ešte v 50-tych až 80-tych rokoch 20. storočia sa v tejto oblasti celkom bežne vyskytovali roky, v ktorých sa nevyskytol ani jeden dušný deň. V posledných rokoch bol zaznamenaný častejší výskyt dušných dní aj v ešte vyššie položených lokalitách ako Telgárt (900 m n. m.) či Štrbské Pleso (1322 m n. m.). V nadmorských výškach nad 1000 metrov sa pritom kedysi dusno prakticky nevyskytovalo. To korešponduje s nami prezentovanými výsledkami trendovej analýzy priemernej ekvivalentnej teploty v lete.

V rámci ďalších charakteristík odvodených z mimoriadne vysokých denných teplôt vzduchu a poukazujúcich na často veľmi neprijemné tepelné podmienky je vhodné spomenúť, že predovšetkým na juhozápade Slovenska v posledných 25-tich rokoch bol v lete zaznamenaný výrazný nárast počtu tropických nocí (minimálna denná teplota vzduchu ≥ 20 °C), ako aj sumy kladných odchýlok minimálnej dennej teploty vzduchu od hodnoty 20 °C (Bochníček a Breja 2013). Na ostatnom území Slovenska sú v prípade tropických nocí tieto tendencie zatiaľ ešte trochu zdržanlivejšie, čo ale vyplýva aj z prírodných podmienok týchto oblastí. Tento jav zvyšujúcich sa minimálnych teplôt vzduchu môže súvisieť s predpokladaným výraznejším tepelným záchytným atmosféry (väčší záchyt tepelného resp. infračerveného vyžarovania Zeme v noci) pri zvyšujúcej sa koncentrácii skleníkových plynov. Pekným príkladom, ktorý poukazuje na výrazný nárast tropických nocí na krajnom juhozápade Slovenska je približovanie sa hodnôt priemernej minimálnej a maximálnej teploty vzduchu v lete, čo je podmienené relatívne väčším vzostupom priemernej minimálnej teploty v porovnaní s rastom priemernej maximálnej teploty vzduchu. Niektoré ďalšie aspekty dlhodobej variability potenciálnych charakteristík nadmerného tepelného stresu na Slovensku prináša štúdia Kolláriková et al. (2013). Aj jej závery dobre korešpondujú s nami prezentovanými zisteniami.

Výsledky analýzy sa výrazne zhodujú s trendmi popísanými v štúdiách okolitých krajín (napr. Lakatos et al. 2016, Záhradníček et al. 2016), ktoré indikujú rovnaký trend aj do konca tohto storočia. V údajoch z meteorologických meraní na konci 20. a na začiatku 21. storočia sa prejavujú tendencie, ktoré naznačujú, že príprava adaptačných opatrení na dôsledky klimatickej zmeny, by mala postupne prejsť z úrovne akademických diskusií do reálneho života. Okrem klimatických podmienok, v ktorých sa prejavujú pribúdajúce anomálie v počasí, sa zhoršuje aktuálnym spôsobom života aj odolnosť človeka, čeliť pribúdajúcim systémovým výkyvom niektorých charakteristík meteorologických prvkov. Tento problém sa samozrejme netýka iba človeka, ale aj viacerých druhov flóry a fauny, ktoré rôzne úspešne hľadajú novú rovnováhu.

Literatúra:

- BOCHNÍČEK, O., BREJA, S. 2013: Tropické dni a noci v júli. *Oficiálna stránka Slovenského hydrometeorologického ústavu shmu.sk*. Dostupné na: <<http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=299>>.
- DE BONO, A., PEDUZZI, P., KLUSER, S., GIULIANI, G. 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Environment Alert Bulletin*, 2, 1 – 4.
- ČABAJOVÁ, Z. 1979: *Schladzovacia veličina a ekvivalentná teplota*. Bratislava (Veda).
- GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., TRIGO, R. M., LUTERBACHER, J., FISCHER, E. M. 2010: A review of the European summer heat wave of 2003. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40, 267 – 306.
- GOSLING, S. N., LOWE, J. A., MCGREGOR, G. R., PELLING, M., MALAMUD, B. D. 2009: Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Climatic Change*, 92, 299 – 341.
- GOSLING, S. N., BRYCE, E. K., DIXON, P. G., GABRIEL, K. M. A., GOSLING, E. Y., HANES, J. M., HONDULA, D. M., LIANG, L., BUSTOS MAC LEAN, P. A., MUTERS, S., TAVARES NASCIMENTO, S., PETRALLI, M., VANOS, J. K., WANKA, E. R. 2014: A glossary for biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, 58, 277 – 308.
- IVANAŠKOVÁ, G., FAŠKO, P., LABUDOVIČ, L. 2015: Bilancia charakteristík teploty vzduchu a zrážok v nížinných polohách a ich vplyv na klasifikáciu klímy. *Zborník recenzovaných príspevkov: IX. vedecká konferencia: Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia*. Bratislava (Ústav hydrológie SAV), 97 – 112.
- KOLLÁRIKOVÁ, P., SZOLGAY, J., PECHO, J. 2013: Dlhodobé zmeny vybraných charakteristík vln horúčav na Slovensku. *Meteorologický časopis*, 16, 63 – 69.
- KOPPOVÁ, K. 2011: Globalne zmeny atmosféry ako možná príčina mimoriadnych udalostí vo verejnom zdravotníctve. In: Klement, C. ed. *Mimoriadne udalosti vo verejnom zdravotníctve*. Banská Bystrica (PRO), 42 – 53.
- KOSATSKY, T. 2005: The 2003 European heat waves. *Eurosurveillance*, 10, 148 – 149.
- KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E. 2012: Declining impacts of hot spells on mortality in the Czech Republic, 1986–2009: adaptation to climate change? *Climatic Change*, 113, 437 – 453.
- KUCHCIK, M. 2006: Defining heat waves – different approaches. *Geographia Polonica*, 79, 47 – 63.
- KVĚTOŇ, V. 2002: Tepelná zátěž, teplotní rekordy a sdělovací prostředky. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. eds. *XIV. česko-slovenská bioklimatologická konference*. Lednice, 242 – 253.
- LABUDOVIČ, L., FAŠKO, P., IVANAŠKOVÁ, G. 2015: Changes in the climate regions of Slovakia. *Moravian Geographical Reports*, 23, 71 – 82.
- LAKATOS, M., BIHARI, Z., SZETIMREY, T., SPINONI, J., SZALAI, S. 2016: Analyses of temperature extremes in the Carpathian Region in the period 1961 – 2010. *Időjárás*, 120, 41 – 51.
- PACHAURI, R. K., MEYER L. A. (eds) 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*. IPCC, Geneva.
- ROBINSON, P. J. 2001: On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*, 40, 762 – 775.
- ROBITSCH, M. 1928: Äquivalenttemperatur und Äquivalentthermometer. *Meteorologische Zeitschrift*, 45, 313 – 315.
- SCHARLAU, K. 1943: Die Schwüle als Meßbare Größe. *Bioklimatische Beiblätter*, 10, 19 – 23.

- SOBÍŠEK, B. (ed.) 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha (Academia).
- ŠŤASTNÝ, P. 2015: Supertropický deň. *Oficiálna stránka Slovenského hydrometeorologického ústavu shmu.sk*. Dostupné na: <<http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=647>>.
- ŠVEC, M. 2014: Dusné dni na Slovensku od roku 1951. *Oficiálna stránka Slovenského hydrometeorologického ústavu shmu.sk* <<http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=532>>.
- VÝBERČI, D. 2012: *Vlny horúčav na Slovensku v období 1951 – 2010 a ich dopady na úmrtnosť od roku 1996*. (Diplomová práca). Bratislava (Univerzita Komenského).
- VÝBERČI, D., ŠVEC, M., FAŠKO, P., SAVINOVÁ, H., TRIZNA, M., MIČIETOVÁ, E. 2015: The effects of the 1996-2012 summer heat events on human mortality in Slovakia. *Moravian Geographical Reports*, 23, 57 – 69 .
- ZÁHRADNÍČEK, P., ŠTEPÁNEK, P., TRNKA, M., FARDA, A. 2016: Projevy zmeny klimatu na území České republiky. In Rožnovský, J., Vopravil, J. eds. *Půdní a zemědělské sucho*. Praha (Výskumný ústav meliorací a ochrany půdy).

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre dopytovo-orientovaný projekt: Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave ITMS 26240220086, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Longterm Changes in the Characteristics of Heat Stress in the Summer in Slovakia

Marek ŠVEC, Pavol FAŠKO, Lívia LABUDOVÁ, Dalibor VÝBERČI, Milan TRIZNA

Summary: *The paper is focused on the primary assessment of climatological characteristics, which are connected with heat stress. Beside general trend, historical heat waves, which occurred in the 21st century (2007, 2010 and 2012), are remarkable as considerable negative impact on mortality was recorded during these heat events. It is in agreement with general context in the Central Europe. Such negative impacts are a reason, why the restart of bioclimatological research is needed in Slovakia.*

Generally, we can conclude that the increase of daily average and minimum air temperature in summer (Labudová et al. 2015, Ivaňáková et al. 2015) enhanced potential evapotranspiration and through it the pressure of water vapour as well. But as the equivalent air temperature has been increasing continuously since 1951, it can be assumed that the human population adapted to worse thermal-humid conditions to some extent. The negative trend of thermal-humid comfort in summer was proved with the increasing number of sultry days, which were identified on the base of the pressure of water vapour.

It is interesting to consider the number of sultry days in the central and eastern part of Slovakia, e.g., in Poprad. Higher number of such days have been observed even in higher altitudes in recent years, e.g., in Telgárt (900 m a.s.l.) or Štrbské Pleso (1322 m a.s.l.), while there were no sultry days in the altitudes above 1000 m a.s.l. in the past. It is in good agreement with the results of the trend analysis of equivalent air temperature in summer. The analysis of hot day occurrence showed that they culminate in the second and third decade of July as well as in the first August decade. It was observed that even in summer with milder air temperature, more exactly with lower sum of maximum air temperature deviations above 30 °C, the equivalent air temperature stays quite high. As the equivalent air temperature considers also air humidity beside the air temperature, its high values in milder summer show the evidence of changing humid conditions.

Tab. 1. Increase of selected characteristics in the period 1951 – 2014 at selected stations in Slovakia; statistically significant values are in bold.

Fig. 1. Number of tropical and subtropical days and absolute maximum air temperature in summer (June – August) at selected stations in Slovakia in the period 1951 – 2014. Trends are displayed with polynomial line of 2nd degree and they are statistically significant.

Fig. 2. Sum of positive maximum air temperature deviations above 30 °C (bars) and average equivalent air temperature in summer (line) at selected stations in Slovakia in the period 1951 – 2014. Trends are displayed with polynomial line of 2nd degree and they are statistically significant.

Fig. 3. Total number of hot days (hot day = day with average air temperature above 95th percentile of average daily temperature in the reference period 1961 – 1990), maximum hot event duration (maximum number of consecutive hot days) and maximum average air temperature in summer (line) at selected stations in Slovakia in the period 1951 – 2014. Trend is displayed with polynomial line of 2nd degree.

Fig. 4. Number of hot days (hot day = day with average air temperature above 95th percentile of average daily temperature in the reference period 1961 – 1990) in each day (1st June – 31st August) in the period 1951 – 2014 at selected stations in Slovakia.

Adresy autorov:

Mgr. Marek Švec
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
svec.mk@gmail.com

RNDr. Pavol Faško, CSc.
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
pavol.fasko@shmu.sk

Mgr. Lívia Labudová, PhD.
¹ Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
livia.labudova@shmu.sk

² Katedra fyzickej geografie a geoekológie
Prírodovedecná fakulta Univerzity Komenského v Bratislave
Ilkovičova 9, 842 15 Bratislava

RNDr. Dalibor Výberči
Univerzita Komenského v Bratislave, Vedecký park
Ilkovičova 8, 841 04 Bratislava
daliborvyberci@gmail.com

doc. RNDr. Milan Trizna, PhD.
Katedra fyzickej geografie a geoekológie
Prírodovedecná fakulta Univerzity Komenského v Bratislave
Ilkovičova 9, 842 15 Bratislava
trizna@fns.uniba.sk