

# Výskyt horkých vln a tropických dnů v městském a příměstském prostředí

Hana Pokladníková, Filip Chuchma, Tomáš Středa, Jaroslav Rožnovský

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, e-mail: hana.pokladnikova@chmi.cz

## Abstract

In comparison with non-urban the urban climate is characterized by "urban heat island", limited air circulation, accumulation of tropospheric ozone, increased incidence of dust particles etc. Urban climate causes intensive physical stress with negative impacts on health. One of the main risk factors is incidence of long-term period of high temperatures during the summer months, so-called heat waves. In the paper the heat waves and tropical days incidence and their dynamics are defined in the long-term monitoring in the cadastral of Brno. To determine of the urban heat island impact on observed characteristics the temperature data series directly affected the urban environment and temperature data series of non-urban area were evaluated.

**Keywords:** heat wave, tropical day, urban climate

## Úvod

Pro analýzu výskytu tropických dnů a horkých vln byly vybrány lokality, které leží v potenciálně srovnatelných klimatických podmínkách ale významně se liší podmínky okolního prostředí. Jedna lokalita je umístěna v centru města, druhá leží na jeho okraji mimo dosah vlivů městského prostředí.

Městská zástavba vykazuje zřetelně vyšší teploty než okolí. Tyto teplotní rozdíly jsou větší v noci než ve dne a v zimě než v létě a nejvýraznější jsou při slabém větru či bezvětří. Hlavní příčinou je překrytí původní plochy vegetace pozemními komunikacemi a budovami. Na rozdíl od vyšších rostlin nemají asfaltové a betonové plochy schopnost dopadající sluneční záření upotřebit a přeměnit na chemickou či jinou energii a dochází i k větší absorpci světelného a tepelné záření, kterou často podporuje i tmavé barva těchto povrchů. V zimním období se na zvýšení teploty ve městech podílí i tepelná energie dodávaná do jednotlivých domů a bytů. Oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou aglomerací ve srovnání s venkovským okolím je dle Meteorologického slovníku (Sobíšek a kol., 1992) definována jako tepelný ostrov.

Spolu s tím, jak roste přeměna původní krajiny, roste i teplota v centrech tepelných ostrovů. V souvislosti s výskytem teplotních extrémů bývají nejvíce postiženy určité skupiny populace zejména starší lidé a dlouhodobě nemocní. Během takových situací dochází ke zvýšené úmrtnosti spojené s chronickými onemocněními zejména kardiovaskulárními, mozkovými a cévními a onemocněními dýchacího ústrojí.

Mezi tyto extrémní teplotní jevy patří i tzv. horké vlny. Horká vlna bývá definována jako různě dlouhá epizoda extrémně horkého počasí. Meteorologický slovník (Sobíšek a kol., 1992) definuje horkou vlnu jako vícedenní období letních veder, během něhož dosahují maximální denní teploty vzduchu 30 °C a více. Ve střední Evropě bývá existence horké vlny podmíněna advekcí tropického vzduchu nad pevninu nebo intenzivním radiačním ohříváním polárního vzduchu setrvávajícího nad přehřátou pevninou v oblasti anticyklón. Pro označení období největších veder se zejména v oblastech střední a jižní Evropy používalo lidové označení „psí dny“. Výskyt veder je totiž dáván do souvislosti s východem hvězdy Sírius - psí hvězdy, v jejíž blízkosti se Slunce na obloze nachází od 22.7. do 23.8. Označení psí dny se postupně stalo používaným odborným termínem.

Výzkumu extrémních teplotních událostí je celosvětově věnována značná pozornost. Kukul, Changnon, Reinke and Arrit (1996) studovali intenzivní horkou vlnu, která v červenci roku 1995 postihla Chicago. V podmínkách České republiky analyzovali výskyt horkých vln na jižní Moravě Kyselý a Kalvová (1998), časovou proměnlivost horkých vln popsal Kyselý (2003) a analýzou úmrtnosti související se stresem z horka se zabývali Kyselý a Huth (2004).

Po horkých vlnách v roce 2003 realizovaly Světová zdravotnická organizace WHO a Světová meteorologická organizace WMO několik projektů, které sledovaly dopady horkých dnů na úmrtnost (Canicula, EUROHEAT). Bylo zjištěno, že v této době byli nejvíce ohroženy oblasti v okolí Středozemního moře, nejvíce obyvatel měst během těchto horkých vln zemřelo v Londýně a Paříži. Zde se projevuje také současný účinek působení částic prachu a koncentrací ozónu v přízemní vrstvě atmosféry. V městských oblastech přispívá ke zvýšenému výskytu horkých období i tepelný ostrov města.

Jak již bylo naznačeno, definice horké vlny uváděné v literatuře hovoří pouze o vícedenním období s maximální denní teplotou 30 °C a vyšší. Jako minimální doba trvání horké vlny se často udávají 3 dny.

Pojem horká vlna je relativní vzhledem ke klimatickým podmínkám konkrétní lokality. Teploty, které jsou pro člověka a další organismy v teplejších oblastech považovány za normální bývají v chladnějších oblastech považovány za abnormální. Proto WMO doporučuje horkou vlnu definovat jako období, během něhož maximální denní teplota vzduchu v pěti po sobě jdoucích dnech byla minimálně o 5 °C vyšší než je průměrné denní normálové maximum pro dané období (Heat Wave Duration Index HWDI) (Frich, Alexander, Della-Marta, Gleason, Haylock, Klein Tank and Peterson, 2002).

Kyselý a Kalvová (1998) definovali horkou vlnu jako období, které současně splňuje následující tři podmínky: alespoň 3 dny s maximální denní teplotou  $\geq 30$  °C; průměrná maximální denní teplota za celé období  $\geq 30$  °C; maximální denní teplota ve všech dnech  $\geq 25$  °C.

Netherlands Royal Meteorological Institute definuje horkou vlnu jako období trvající minimálně 5 dnů s maximální denní teplotou 25 °C a vyšší, které zahrnuje alespoň 3 dny a maximální teplotou 30 °C a vyšší (Huynen, Martens, Schram, Weijenbergh and Kunst, 2001).

Pro účely analýzy úmrtnosti v horkých vlnách definovali Kyselý a Huth (2004) horkou vlnu jako souvislé minimálně 3denní období během něhož je maximální teplota vzduchu 30 °C a vyšší.

### Metodika

Pro účely studie byla vybrány dvě klimatologické stanice Českého hydrometeorologického ústavu. Městské klima je reprezentováno stanicí Brno-Žabovřesky, které zahájila měření od roku 1987 a příměstské klima stanicí Brno-Tuřany. Výsledky jsou zpracovány pro nejdelší možné období tj. od roku 1987, kdy bylo započato měření v Žabovřeskách do roku 2008 (22 let). Stanice Brno-Žabovřesky je umístěna v těsném sousedství brněnské pobočky Hydrometeorologického ústavu ve čtvrti Žabovřesky (Obr. 1). Stanice Brno-Tuřany leží v blízkosti brněnského letiště na okraji Brna (Obr. 2).



Obr. 1 Letecký pohled na stanici Brno-Žabovřesky (vlevo)

Obr. 2 Letecký pohled na stanici Brno-Tuřany (vpravo)

Pro hodnocení byla použita homogenizovaná data maximální denní teploty vzduchu. Základem jsou data získaná měřením staniční sítě ČHMÚ. Která byla podrobena kontrole na výskyt chyb (porovnáním diferencí s okolními stanicemi, porovnáním s očekávanou hodnotou vypočtenou pomocí geostatistických metod atd.) a následně otestována na výskyt nehomogenit pomocí statistických testů a referenčních řad s následnou opravou nehomogenit, chybějící hodnoty doplněny pomocí metody IDW (Štěpánek, Zahradníček, 2008). Vlastní výpočet horkých vln proveden v prostředí softwaru ProClim (Štěpánek, 2007). Jako horká vlna analyzováno období nejméně 3 následujících dnů s maximální denní teplotou vzduchu  $\geq 30$  °C.

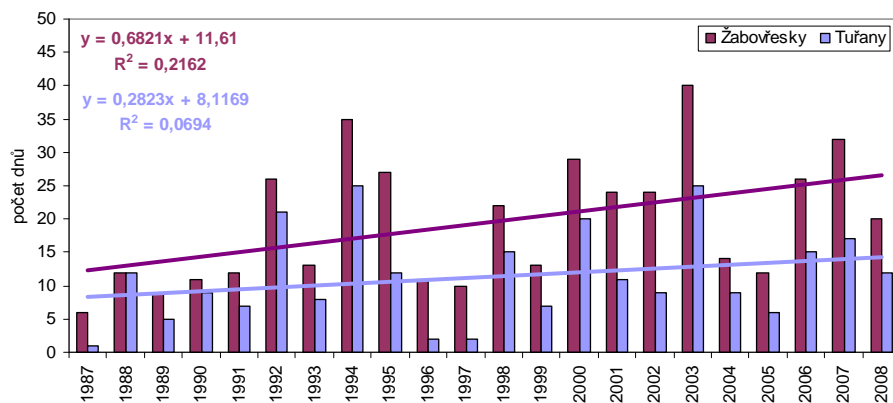
Sledované charakteristiky:

- Počet tropických dnů v jednotlivých letech (Obr.3)
- Počet dnů v horkých vlnách (jako horká vlna bylo definováno minimálně třídenní období s maximální denní teplotou 30 °C a vyšší) (Obr. 4)
- Suma efektivních teplot nad 30 °C v horkých vlnách (Obr. 4)
- Počet horkých vln v jednotlivých letech (Obr. 5)
- Maximální a průměrná délka trvání horkých vln (Obr. 6)

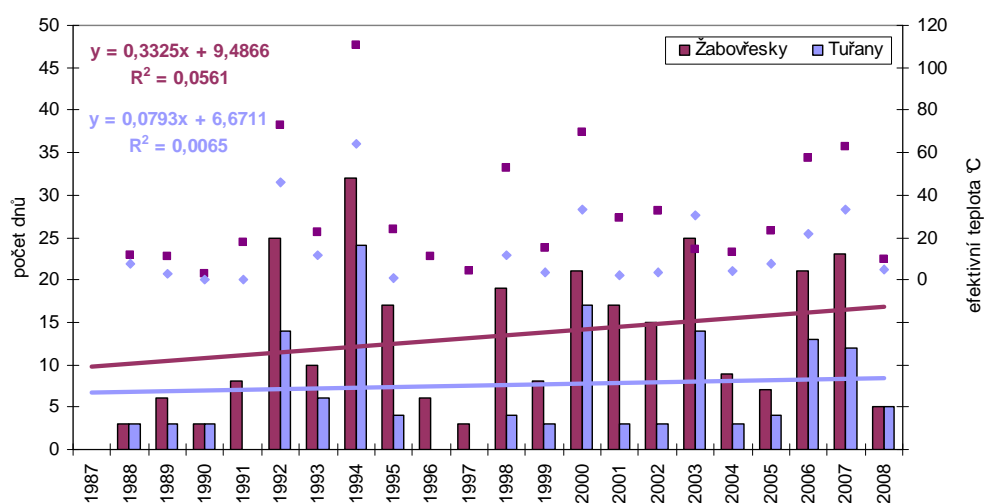
Všechny tyto charakteristiky byly určeny pro obě vybrané stanice (Tuřany a Žabovřesky)

### Výsledky

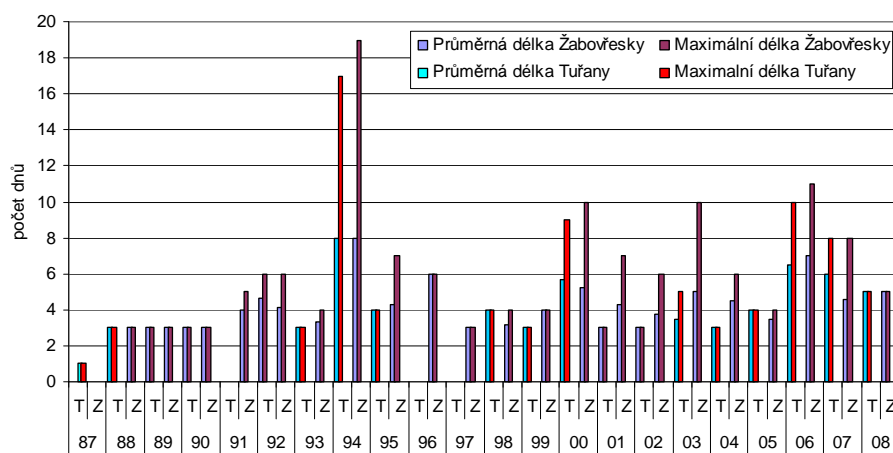
Největší počet tropických dnů byl na obou stanicích zjištěn v roce 2003. Z pohledu všech ostatních sledovaných charakteristik se jako extrémní rok jeví rok 1994, pouze počet horkých vln byl na stanici Brno-Žabovřesky zjištěn nejvyšší v roce 1992 a 1998 a na stanici Brno-Tuřany v roce 2003. Výsledky ukazují, že sledované charakteristiky dosahují na stanici Brno-Žabovřesky (zástupce městského prostředí) výrazně vyšších hodnot než na stanici Brno-Tuřany (příměstské prostředí). Nejvyšší počet tropických dnů byl na stanici Brno-Žabovřesky 40, zatímco na stanici Brno-Tuřany jen 25 (rok 2003). Maximální počet dnů v horkých vlnách byl na stanici Brno-Žabovřesky 32, na stanici Brno-Tuřany 24 (1994). Suma efektivních teplot nad 30 °C byla v Žabovřeskách 110,3 °C, zatímco v Tuřanech 63,9 °C (1994). Průměrná délka horké vlny v Žabovřeskách je 8, v Tuřanech 7 dní a maximální délka v Žabovřeskách 19 a v Tuřanech 17 dní (1994). Maximální počet horkých vln za rok byl na stanici Brno-Žabovřesky zjištěn 6 a v Tuřanech 4 (rok 1992, 1998 – Žabovřesky a rok 2003 – Tuřany)



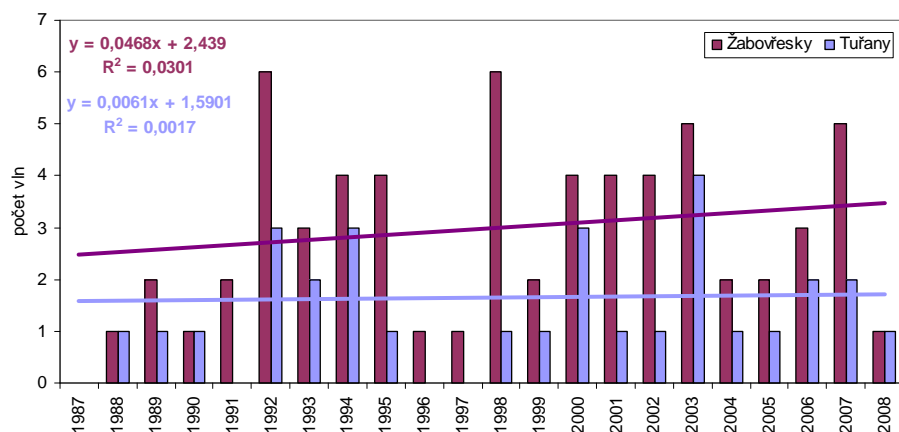
Obr. 3 Počet tropických dnů



Obr. 4 Počet dnů v horkých vlnách a suma teplot v horkých vlnách nad 30 °C



Obr. 5 Průměrná a maximální délka horkých vln



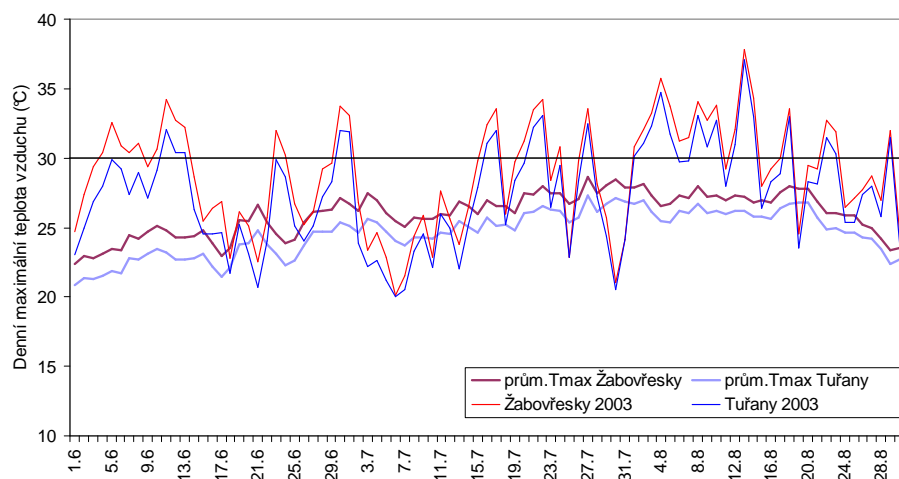
Obr. 6 Počet horkých vln

Za období 1997 až 2008 se na stanici Brno-Tuřany vyskytuje o 8 tropických dnů méně než na stanici Brno-Žabovřesky. Počet tropických dnů ve vlnách se v průměru liší o 7. Průměrná horká vlna je v Tuřanech o den a maximální horká vlna o 2 dva dny kratší.

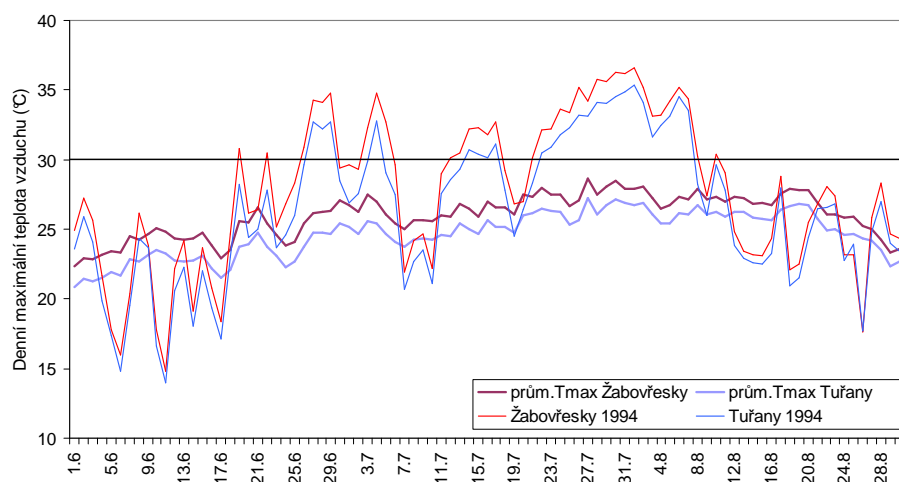
Tab. 1 Diference sledovaných charakteristik v jednotlivých letech pro stanici Brno-Žabovřesky a Brno-Tuřany

	počet tropických dnů	počet dnů ve vlnách	průměrná délka vlny	maximální délka vlny
1987	5	0	0,0	0,0
1988	0	0	0,0	0,0
1989	4	3	0,0	0,0
1990	2	0	0,0	0,0
1991	5	8	4,0	5,0
1992	5	11	-0,5	0,0
1993	5	4	0,3	1,0
1994	10	8	0,0	2,0
1995	15	13	0,3	3,0
1996	9	6	6,0	6,0
1997	8	3	3,0	3,0
1998	7	15	-0,8	0,0
1999	6	5	1,0	1,0
2000	9	4	-0,4	1,0
2001	13	14	1,3	4,0
2002	15	12	0,8	3,0
2003	15	11	1,5	5,0
2004	5	6	1,5	3,0
2005	6	3	-0,5	0,0
2006	11	8	0,5	1,0
2007	15	11	-1,4	0,0
2008	8	0	0,0	0,0
<b>průměr</b>	<b>8,1</b>	<b>6,9</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>

Na grafech na obr. 8 a 9 je znázorněn průběh maximální teploty vzduchu v extrémních letech 1993 a 2004 na obou sledovaných stanicích v porovnání s průběhem denních maxim teploty vzduchu za sledované období 1997 až 2008.



Obr. 8 Průběh denních maxim teploty vzduchu na stanicích Brno-Tuřany a Brno-Žabovřesky v roce 2003 ve srovnání s jejich průběhem v dlouhodobém průměru 1997 až 2008



Obr. 9 Průběh denních maxim teploty vzduchu na stanicích Brno-Tuřany a Brno-Žabovřesky v roce 1994 ve srovnání s jejich průběhem v dlouhodobém průměru 1997 až 2008

V roce 1994 byl na stanici Žabovřesky zaznamenán první tropický den 19.6., nenásledovala však horká vlna, stejně jako v případě 2. tropického dne 22.6. První horká vlna byla zjištěna na této stanici 26.-29.6. V Tuřanech se první tropický den vyskytl 27.6. (tj. o 8 dní později než v Žabovřeskách) a byl začátkem horké vlny, která skončila 29.6. V červenci byl v Tuřanech zjištěn jediný tropický den mimo horké vlny, a to 4.7., horké vlny byly v červenci dvě, 14.-17.7. a od 22.7., která pokračovala až do 7.8. (trvala tedy 17 dní). Poté již na stanici Tuřany tropický den do konce roku nebyl zaznamenán. Ještě delší horká vlna než v Tuřanech byla v roce 1994 zjištěna v Žabovřeskách, trvala od 21.7. do 8.8. (celkem 19 dní). Poslední tropický den stanice v tomto roce zaznamenala 10. srpna.

V roce 2003 byl první tropický den na stanici Žabovřesky zaznamenán již 8. května, byl to však jediný takový den v květnu (na stanici Tuřany se v květnu tropický den nevyskytl) a květen proto nebyl do grafického vyhodnocení roku 2003 zahrnut. V červnu byl první tropický den zjištěn 4.6. a znamenal začátek první horké vlny, která trvala až do 8.6. Na stanici Tuřany připadá první tropický den na 11.6. (32,1 °C), což byl také začátek první horké vlny, která trvala do 13.6. V té době již byla na stanici Žabovřesky zaznamenána druhá horká vlna tohoto roku, která trvala od 10. do 13.6. V druhé polovině června se vyskytly ještě 3 tropické dny, již ale ne v horké vlně. V Tuřanech byl v druhé polovině června jen jediný tropický den. Na obou stanicích byl jedním z těchto červnových tropických dnů poslední den tohoto měsíce, tedy 30.6., načež následoval tropický den 1.7. V červenci se horká vlna objevila až 20.-22.7. v Žabovřeskách. V Tuřanech nebyla žádná zaznamenána. Tropických dnů bylo však zjištěno 6 (Žabovřesky 8). Srpen byl z tohoto pohledu nejextrémnější. Již začátkem měsíce byla zaznamenána velmi dlouhá horká vlna, která trvala v Žabovřeskách 1.-10.8. a v Tuřanech dvě kratší 1.-5.8. a 8.-10.8. Na obou stanicích pak byla zjištěna ještě jedna třídní horká vlna, a to 12.-14.8. Nejvyšší maximální denní teplota vzduchu byla naměřena 13.8. (Žabovřesky 37,8°C a Tuřany 37,1 °C). V létě tohoto roku (v 2.polovině srpna) byly v Tuřanech ještě zaznamenány 4 tropické dny a v Žabovřeskách 5 tropických dnů. Posledním tropickým dnem roku 2003 byl na obou stanicích 29.srpen.

## **Závěr**

- Nejvíce tropických dnů se vyskytlo v roce 2003 (Žabovřesky 40 dnů, Tuřany 25 dnů).
- Největší počet tropických dnů v horkých vlnách byl zaznamenán v roce 1994 (Žabovřesky 32 dnů, Tuřany 24 dnů).
- Nejvyšší suma překročení teploty 30 °C byla zaznamenána v roce 1994 (Žabovřesky 110,3°C, Tuřany 63,9 °C).
- Nejdelší průměrná délka horké vlny byla zaznamenána v roce 1994 (Žabovřesky i Tuřany 8 dnů).
- Nejdelší maximální délka horké vlny byla zaznamenána v roce 1994 (Žabovřesky 19 dnů, Tuřany 17 dnů).
- Maximální počet horkých vln za rok byl na stanici Brno-Žabovřesky zjištěn 6 a v Tuřanech 4 (rok 1992, 1998 – Žabovřesky a rok 2003 – Tuřany).

Výsledky prokázaly výrazné specifikum městského klimatu ve srovnání s příměstskými oblastmi.

## **Poděkování**

Autoři práce děkují projektu GA205/09/1297 „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst“.

## **Seznam literatury**

Huynen, M. M. T. E., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., Kunst, A. The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, 2001, pp. 463-470. ISSN 0091-6765.

Kyselý, J., Huth, R. Úmrtnost související se stresem z horka v České republice v současném a budoucím klimatu. *Meteorologické zprávy* 57, 2004, s. 113–121. ISSN 0026-1173.

Kyselý, J., Kalvová, J. Horké vlny na jižní Moravě v letech 1961-1990. *Meteorologické zprávy* 51, 1998, s. 65-72. ISSN 0026-1173.

Kukel, K. E., Changnon, S. A., Reinke, B. C., Arritt, R. W. The July 1995 Heat wave in the Midwest. A Climatic Perspective and Critical Weather Factors. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, 7, 1996, pp.1507-1518. ISSN 0003-0007.

Kyselý, J. Časová proměnlivost horkých vln v České republice a extrémní horká vlna z roku 1994, *Meteorologické zprávy* 56, 2003, s. 13-18. ISSN 0026-1173.

Sobíšek, B. a kol.(1993): *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha: vyd. Academia, 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G., Peterson, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century (PDF). *Climate Research* 19, 2002, pp. 193–212.

Štěpánek, P., Zahradníček, P. Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961-2007. In: *Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases*, Budapest, 25. - 30. May 2008. WCDMP, WMO, Genova, 2008 (přijato)