Vlny veder a jejich dopady

Jaroslav Rožnovský, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Souhrn (12 bodů, tučná kurzíva)

S prokazatelným vzestupem teploty vzduchu v posledních desetiletích logicky souvisí analýza jejich rozložení. Zvýšení teploty vzduchu se projevuje i zvýšením denních maxim. Pokud tato teplota během dne dosáhne 30 °C a více, je v meteorologickém označení takový den nazýván tropickým. Několik následných tropických dnů je označováno pojmem vlna veder. Výskyty vln veder jsou ještě zvýšeny v městském prostředí, přitom mají vždy negativní dopady jak na zdraví člověka, tak na projevy v krajině V článku jsou uváděny výsledky výskytu tropických dnů na našem území v roce 2024.

Klíčová slova: *teplota vzduchu, denní maxima, městské klima, evapotranspirace, sucho*

Úvod

Průběh počasí v tomto roce potvrdil, že naše podnebí je velmi proměnlivé, jak dokládá výskyt teplot vzduchu od zimy do října. Dokladem extremity našeho počasí je radikální změna počasí v první části druhé dekády září, kdy během čtyř dnů byly dny tropických teplot beze srážek nahrazeny ochlazením o více jak dvacet stupňů a vysokými úhrny srážek včetně výskytu až extrémních povodní. K hodnocení našeho podnebí jsou k dispozici podklady v Atlasu podnebí Československa (1958) a Podnebí ČSSR - Tabulky (1960), kde jsou uvedeny výstupy zpracování za období 1901 až 1950. Mapy klimatických prvků v Atlasu podnebí Česka (2007) byly vypracovány z meteorologických údajů za období 1961 až 2000. Agroklimatologické poměry za druhé normálové období (1931 až 1960) jsou v práci Kurpelová et al. (1975). Ovšem tyto klimatologické podklady již posledním minimálně 20 letům neodpovídají. Nejvyšší maximum teploty vzduchu na území ČR bylo naměřeno 20. 8. 2012 v Dobřichovicích, a to 40,4 °C.

Z analýzy průměrných ročních a měsíčních teplot vzduchu za období 1961 až 2020 vyplývá, že teploty vzduchu na našem území rostou (Střeštík et al, 2014). Jejich dopad se projevuje ve změnách počasí a následně v dopadech na procesy v krajině, podmínkách růstu a vývoje lesních porostů i zemědělských plodin. Ovšem růst statistických charakteristik teploty vzduchu nevylučuje jejich vysokou proměnlivost a také stále výskyt mrazů (Zahradníček et al. 2017). K teplotním projevům z hlediska jejich vlivu na zdraví obyvatel ve městech je nutné uvést, že data ze stanic Českého hydrometeorologického ústavu nevyjadřují městské prostředí.

Města mají specifické klima, které se vytváří za spolupůsobení specifického aktivního povrchu měst, antropogenní produkce tepelné energie a průmyslové, dopravní i jiné činnosti ve městech. Aktivní povrch měst je tvořen střechami a stěnami budov, vozovkami s umělým povrchem, malou plochou zeleně a jeho vlastnosti závisí i na typu zástavby, šířce ulic apod. Od klimatu přilehlého venkovského okolí se městské klima zpravidla liší nižší průměrnou rychlostí větru, vytvářením tepelného ostrova města (projevuje se vyššími denními i ročními průměry teploty vzduchu), nižší relativní vlhkostí vzduchu, sníženou dohledností a podstatně vyššími emisemi znečišťujících látek, které unikají do atmosféry z různých zdrojů znečištění (tepelné elektrárny, teplárny, továrny, domácí topeniště, spalovací motory aj.), jak nacházíme už ve straších pracích (Kopec, 1970, Oke, 1973 a další).

Probíhající změna klimatu je nejčastěji dokládána zvyšováním teploty vzduchu, hovoříme o tzv. globálním oteplování (Rožnovský, 2019). Možné dopady změn našeho podnebí jsou studovány v širokých souvislostech již od devadesátých let minulého století, jak dokládají mnohé rozsáhlé studie (Brázdil a Rožnovský et al., 1995).

Proměnlivost našeho podnebí je dána geografickou polohou a reliéfem našeho území. Jsme součástí mírného klimatického pásu, ovšem v oblasti přechodného klimatu středoevropského (Kolektiv autorů 1958). Významnou roli sehrávají cirkulační a geografické poměry. Po převážnou část roku u nás převládá vzduch mírného pásma, na našem území se však projevuje v krátkých obdobích i vzduch tropický, ale také vzduch arktický. Dokladem tohoto stavu ve městech je velké množství publikací, např. Dobrovolný et al., 2012, Hinkel et al., 2003, Petrovič, 1979 a mnoho dalších. Zvláště v letních měsících

vede zvýšení teploty vzduchu až k tepelnému stresu obyvatel a podílí se na zvýšení nemocnosti u starších osob a dětí. K negativním dopadům na zdraví obyvatel přispívá ve městech též znečištění ovzduší. Vlivům městského prostředí včetně dopadů na zdraví obyvatel byla věnována pozornost mnoha autorů, např. Cao et al., 2016Li et al. 2020.

Uzavřené prostory mezi budovami způsobují omezení dlouhovlnného vyzařování v nočních hodinách, a tím dochází ke snížení ztrát tepla, změně tepelných vlastností aktivního povrchu – budovy mají poměrně značnou tepelnou kapacitu, což umožňuje zvýšené pohlcování tepla v období pozitivní energetické bilance a jeho uvolňování během negativní energetické bilance. Jde také o změnu v hydrologické bilanci, kdy převaha nepropustných povrchů vede ke snížení dostupného množství vody k evapotranspiraci a současně i ke snížení latentního toku tepla a naopak ke zvýšení turbulentního toku. Díky potřebě co nejefektivnějšího využití plochy měst dochází k tomu, že není rozšiřována, ale naopak snižována plocha zeleně. Přitom právě zeleň přispívá ke snížení negativních dopadů městského prostředí několika způsoby, od přímého snižování teploty vzduchu, zvyšování jeho vlhkosti, zachycování nečistot apod. až po vytváření prostředí pro odpočinek a well-being (pohodu) obyvatel města [2, 8].

Na základě účelových měření na území města Brna Dobrovolný et al. (2012) uvádějí, že odchylka teploty vzduchu mezi centrem Brna (Mendlovo náměstí) a jeho okolím (letiště Tuřany) u minimálních teplot vzduchu během vegetačního období v roce 2005 činila 0,9 °C, u průměrných teplot 1,3 °C, u maximálních teplot 2,5 °C.

Metodika

Posouzení teploty vzduchu proběhlo z meteorologických měření na klimatologických stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen KS) v roce 2024, a to stanice Brno-Tuřany, která by měla představovat meteorologickou stanici ve volné krajině, a stanici Brno-Žabovřesky, která má charakter stanice městské, kdy se na hodnotách meteorologických prvků projevuje vliv radiační bilance městského prostředí. Ovšem u obou KS jsou prováděna měření podle stanovených metodik pro klimatologické stanice. Za denní maximum je považována nejvyšší naměřená teplota vzduchu v °C, za minimální potom ta nejnižší hodnota teploty vzduchu mezi 0:00 až 23:59 středoevropského času. Zaměřili jsme se na tzv. dny charakteristické, ke kterým podle Meteorologického slovníku (*http://slovnik.cmes.cz)* patří den letní, definovaný denní maximální teplotou vzduchu 25,0 °C nebo vyšší. Toto vymezení je užíváno v Česku i v dalších zemích, v mezinárodní komunitě se nicméně za letní den považuje teprve den s překročením této prahové hodnoty, tedy den s maximem nad 25 °C.

Dále na dny tropické, definované denní maximální teplotou vzduchu 30,0 °C nebo vyšší. Podobně jako u dne letního je v mezinárodní komunitě za tropický považován den s maximem nad 30 °C. Vzhledem k rostoucím teplotám vzduchu, tedy i jejich maxim, je v hovorovém pojetí uváděn den supertropický, s maximem nad 35 °C. Hlavně s ohledem na negativní zdravotní vlivy je vymezena noc tropická, kdy denní minimální teplota vzduchu neklesla pod 20,0 °C. Toto vymezení je užíváno v Česku i v dalších zemích, v mezinárodní komunitě se nicméně za tropickou noc považuje pouze taková noc, kdy minimální teplota vzduchu zůstala nad uvedenou prahovou hodnotou.

Z hlediska negativních dopadů vysokých teplot vzduchu je vymezována vlna veder, někdy je tento stav počasí označen jako vlna horká, kdy jde o teplé části roku, při níž teplota vzduchu dosahuje obzvlášť vysokých hodnot, které přesahují stanovenou prahovou hodnotu zvolené charakteristiky. K vymezení vlny veder se nejčastěji využívají denní maximální teploty vzduchu, v ČR jde převážně o hodnocení souvislého počtu tropických dnů. Během vln veder prudce roste mortalita, proto patří mezi významná povětrnostní ohrožení. Jejich výskyt souvisí s advekcí tropického vzduchu při anticyklonální situací. S ohledem na prokazatelné oteplování patří počet, délka a intenzita vln veder mezi významné ukazatele změn klimatu.

Výsledky

Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je nejčastěji používanou charakteristikou teplotních poměrů na našem území. Průběh denních maximálních a minimálních teplot vzduchu na KS Brno-Tuřany vidíme na Obr. 1, na KS Brno Žabovřesky na Obr. 2. Průběh denních maxim a minim je na obou stanicích velmi podobný, proto jsou na Obr. 3 vyjádřeny rozdíly mezi denními maximy a na Obr. 4 mezi denními minimy mezi KS Brno-Žabovřesky a Brno-Tuřany.

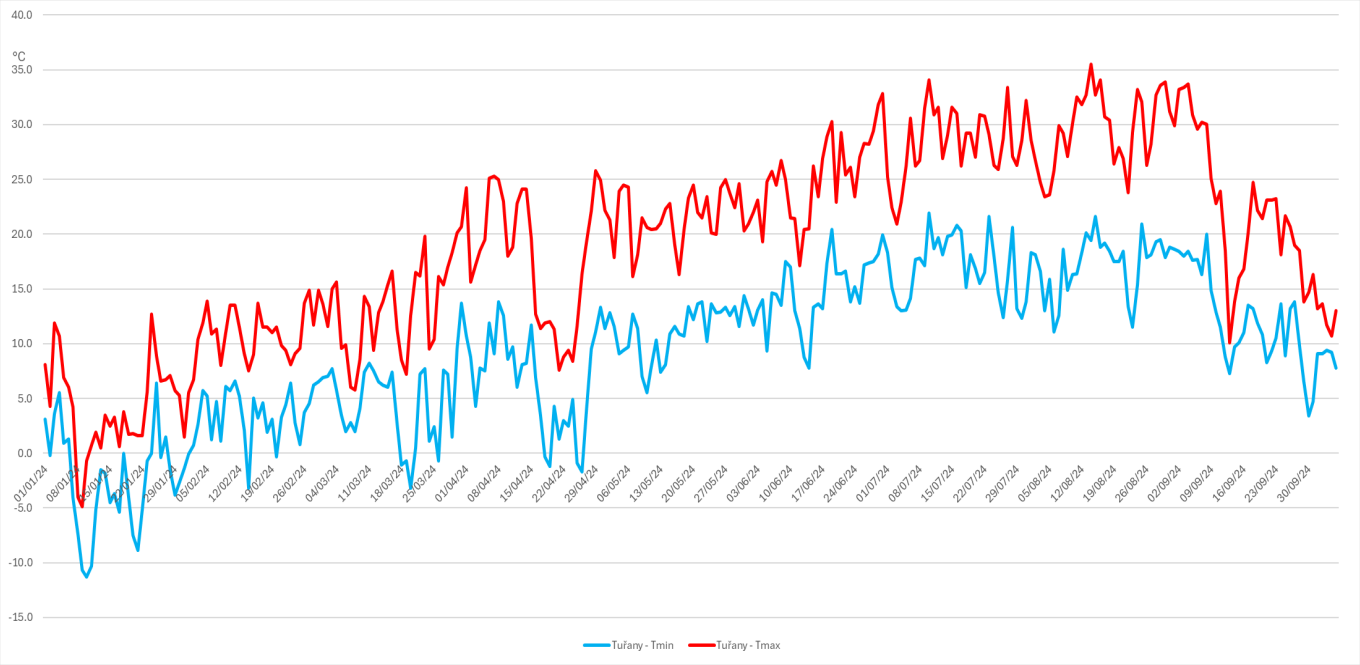
Pokud jde o průběh teploty vzduchu, tak obecně je nutné uvést, že v roce 2024 jsou teploty vyšší oproti v klimatologii zavedenému hodnocení k tzv. normálním obdobím, tedy třicetiletým obdobím počítaným od roku 1901, kdy tzv. 1. normál je daný roky 1901 až 1930, takže rok 2021 a další srovnáváme k 4. normálu, tedy období od 1991 až 2020. S ohledem na rozsah tohoto článku stačí uvést, že všechny měsíce byly svými průměry teplotně nadnormální, přitom leden a únor mimořádně a srpen silně nadnormální.

Z toho plyne, že byl i vyšší počet tropických dnů. Za období 1926 až 1950 je pro Brno v publikaci Podnebí ČSSR – Tabulky (1961) uváděn počet 10,2 tropického dne. Je potřebné uvést, že v tomto období byly naměřeny teploty 30 °C a více i v květnu, byť jen hodnotou 0,1 dne. V našem hodnoceném období to bylo na KS Brno-Žabovřesky 39 dnů, na KS Brno-Tuřany 34 dnů. Lze tedy uvést, že počet tropických dnů v tomto roce byl takřka čtyřnásobně vyšší.

Pokud jde o letní dny, tak v Tabulkách je uváděn průměrný počet dnů 54,7, přičemž tyto dny byly naměřeny od dubna do října včetně. V námi hodnoceném období byl počet těchto dnů na KS Brno-Tuřany 85, na KS Brno Žabovřesky 97 (Obr. 1). Tedy jejich nárůst není ani dvojnásobný.

Z našeho rozboru teploty vzduchu na KS Brno-Tuřany a Brno-Žabovřesky dále vyplývá, že první letní den na KS stanice Brno-Tuřany byl 6. 4. 24 s teplotou 25,1 °C. Poslední tento den byl 9. 9. 2024 o teplotě 25,1 °C. První tropický den 19. 6. 24 s hodnotou 30,3 °C a poslední tropický 8. 9. 2024 s hraniční teplotou, a to 30,0 °C. Podobně na KS Brno-Žabovřesky byl 1. letní den 6. 4. 2024, kdy denní maximum dosáhlo 25,3 °C, poslední 18. 9. 2024 s maximem 25,1 °C. První tropický den byl na této stanici 18. 6. 24 s hodnotou 30,4 °C, tropický byl také 19. 6. 24 s hodnotou 32 °C. Poslední tento den byl shodně se stanicí Brno-Tuřany 8. 9. 2024, kdy maximum bylo 30,6.

Z hlediska dopadů na přírodu, ale také na lidi jsou mimořádně významné výskyty vln veder. Vezmeme-li za vlnu veder postupně se vyskytující teploty 30 °C a více po tři dny, pak to v roce 2024 byly tři vlny veder na KS Brno-Tuřany. První 9. 7. až 12.7. Ve dnech 13. a 14. 7. poklesla maximální teplota vzduchu pod 30 °C. Ale 15. a 16. 7. se zvýšila nad 30 °C. Druhá vlna byla ve dnech 10 .8. až 18. 8. bez přerušení. Třetí potom 28, 8. až do 8. 9., pokud nebudeme za přerušení počítat 29,6 °C 6. 9. a 29,7 °C 7. 9.



Obr. 1 Průběh denních maximálních a minimálních teplot vzduchu (°C) na klimatologické stanici Brno-Tuřany od ledna do 6. října 2024

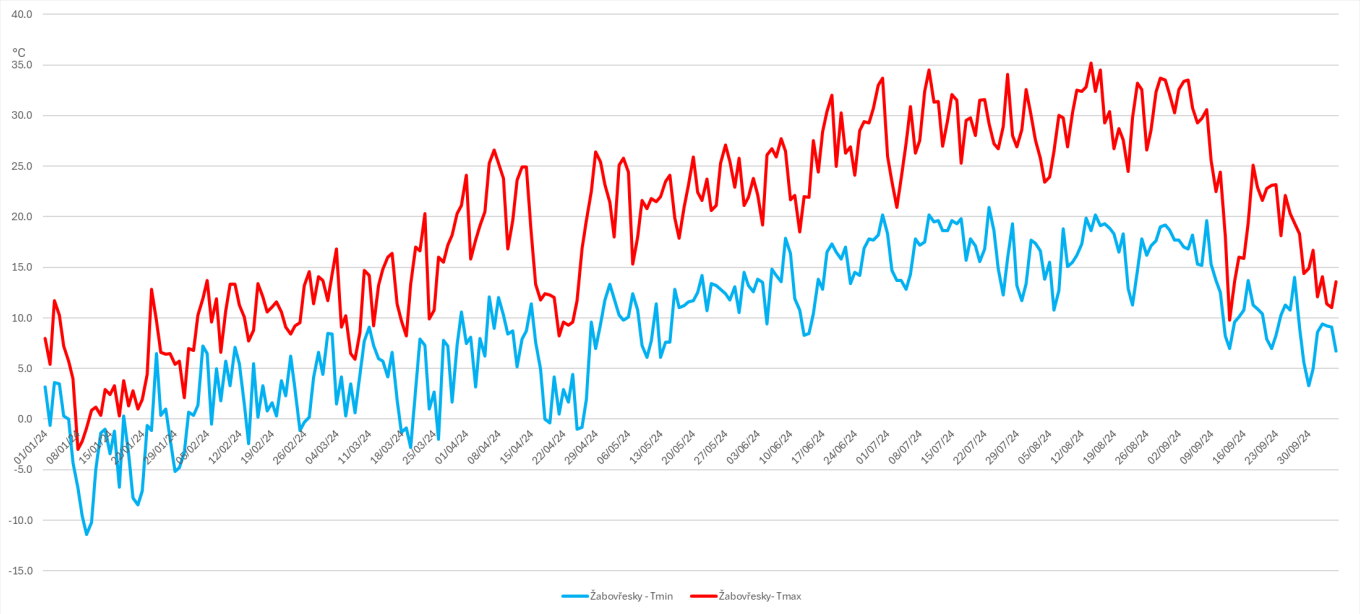
Na stanici Brno-Žabovřesky je, jak již bylo uvedeno, počet tropických dnů o 5 vyšší, což se projevilo výskytem první vlny již 28.6. až 30. 6. Druhá vlna od 9. 7. při toleranci poklesu teploty 13. 7. na 27,0 °C a 14. 7. na 29,5 ° by trvala až do 16. 7., tedy shodně jako na stanici Brno-Tuřany. Pokud ne, tak bychom

hovořili o vlně třetí. Podobně jako na KS Brno-Tuřany začala poslední vlna 28. 8., ale v ní došlo k poklesu maxima ve dnech 6. 9. na 29,3 °C a 7. 9. na 29,7 °C. Následně potom byla 8. 9. maximální teplota vzduchu 30,6 °C.

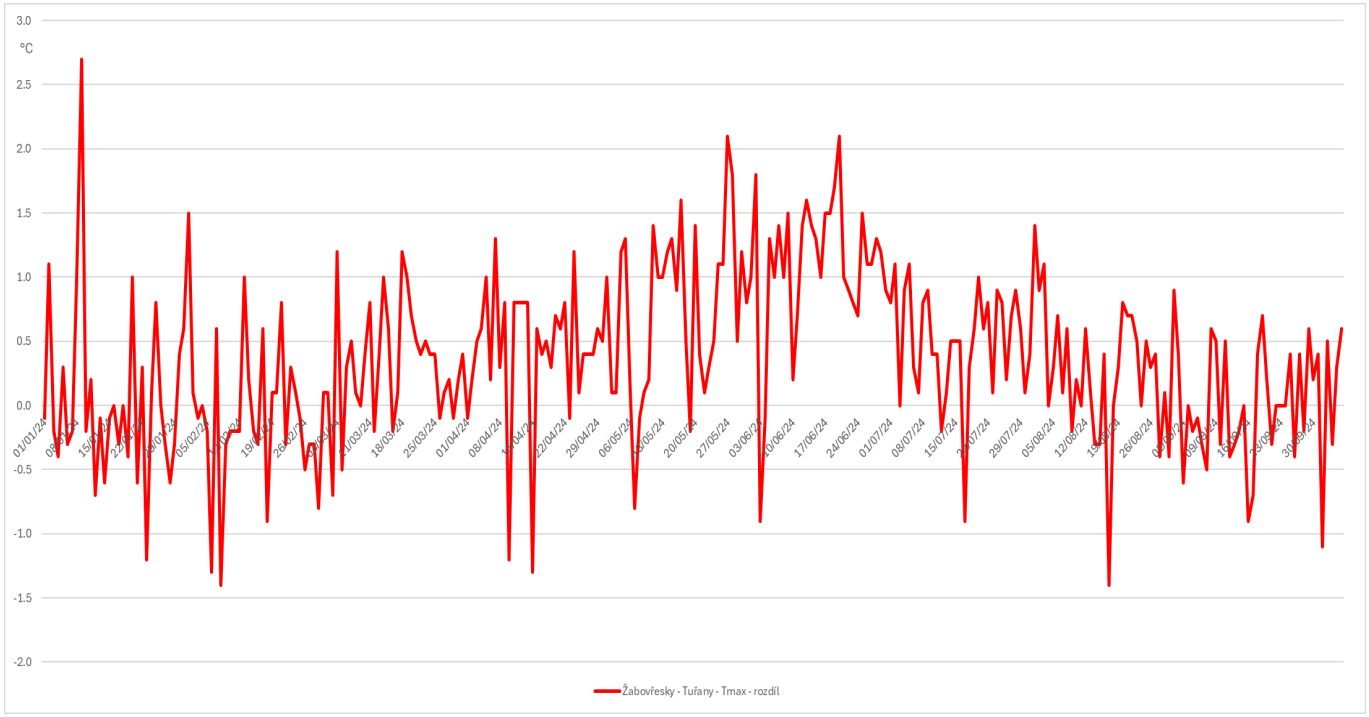
Z hlediska výskytu teplot 30 °C a více jde převážně o výskyt anticyklony nad naším územím nebo v jeho blízkosti, kdy k nám proudí tropický vzduch.

Na Obr. 3 vidíme názorně průběh rozdílů mezi denními maximálními teplotami. Jejich průběh dokládá jednak, že denní maxima na stanici Brno-Žabovřesky jsou vyšší, ale ne doslova v každém dni. Zjednodušeně můžeme uvést, že městské prostředí ve srovnání s místy mimo město má vyšší maxima téměř po celý teplý půlrok, tedy od dubna do srpna včetně.

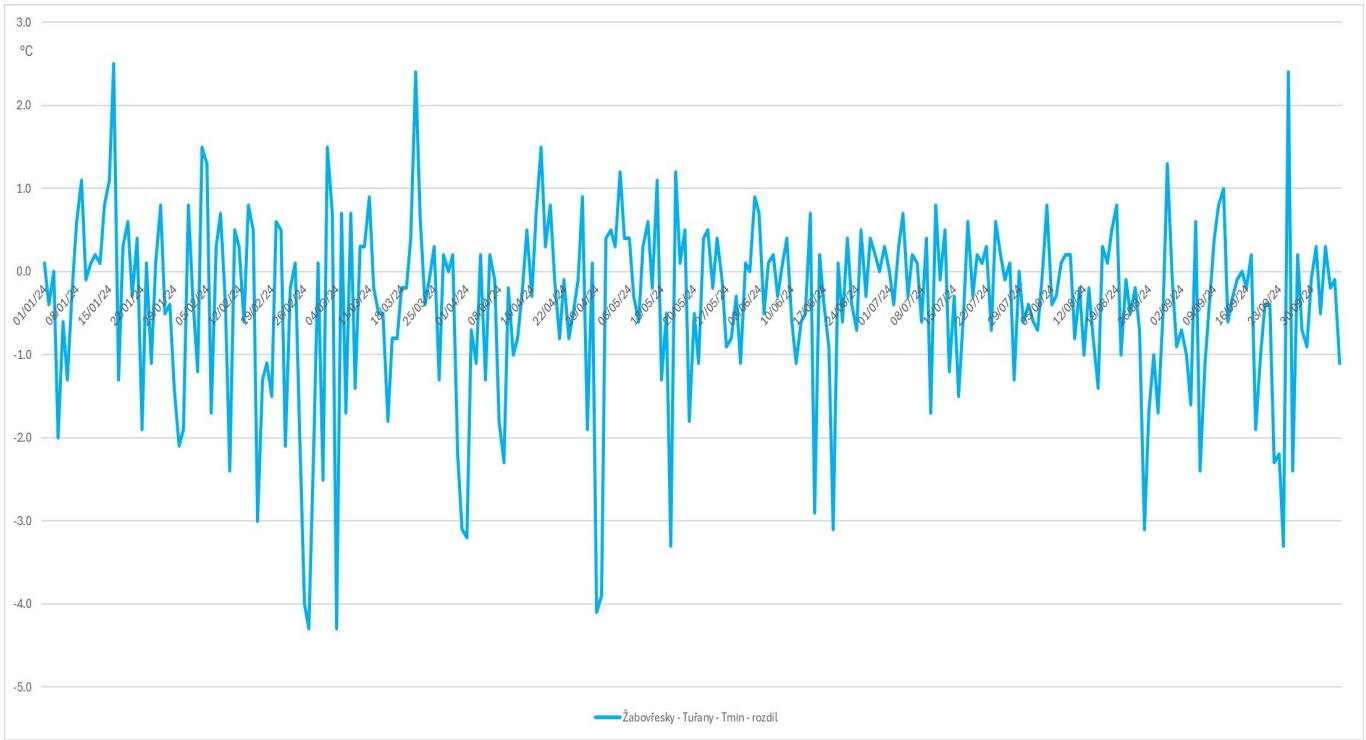
Oproti očekávání jsou minimální teploty vzduchu častěji nižší na KS Brno Žabovřesky oproti stanici KS Brno-Tuřany (Obr. 4). Tento poznatek vyžaduje pečlivé posouzení vlivu letištního provozu na měření. Předpokládat např. lze možný vliv pohybu vzduchu, kdy nedochází k tak silnému ochlazení v noční době, tedy při negativní radiační bilanci.



Obr. 2 Průběh denních maximálních a minimálních teplot vzduchu (°C) na klimatologické stanici Brno-Tuřany od ledna do 6. října 2024



Obr. 3 Průběh rozdílů denních maximálních teplot vzduchu (°C) na klimatologické stanici Brno-Žabovřesky a Brno-Tuřany od ledna do 6. října 2024



Obr. 4 Průběh rozdílů denních minimálních teplot vzduchu (°C) na klimatologické stanici Brno-Žabovřesky a Brno-Tuřany od ledna do 6. října 2024

Závěr

Jak je známo z různých statistických analýz, teplota vzduchu se na našem území zvyšuje, a to jak v ročních průměrech, tak za jednotlivé roční doby či měsíce. Chodu teploty vzduchu odpovídá, že nejvyšší zvýšení nastává v letním období, zvláště v našich teplých oblastech. Z analýzy průběhu teploty

vzduchu v tomto roce vyplývá, že většinou mimořádně vyšší jsou hodnoty měsíčních průměrů. Z podkladů Českého hydrometeorologického ústavu vyplývá, že od ledna do září byly všechny měsíce teplotně nadnormální. Mimořádně teplé byly oba zimní měsíce, tedy leden a únor. Z letních měsíců byl srpen silně nadnormální, a byl 4. nejteplejším srpnem od roku 1961. Na letním vzestupu teploty vzduchu se podílí zvýšení počtu tropických dnů.

Z našeho rozboru teploty vzduchu na KS Brno-Tuřany a Brno-Žabovřesky vyplývá, že:
A, v hodnoceném období leden až 6. říjen roku 2024 byl násobně vyšší výskyt tropických dnů, než odpovídá dlouhodobému průměru. Obdobně byl významně vyšší počet dnů letních.
B, výskyt letních a tropických dnů byl oproti dlouhodobému průměru dříve. Na KS Brno-Žabovřesky byl 1. letní den již 7. 4. 2024, kdy denní maximum dosáhlo 26,6 °C. První tropický den byl na této stanici 18. 6. 24 s hodnotou 30,4 °C, ale také 19. 6. 24 s hodnotou 32 °C. První letní den na KS stanice Brno-Tuřany byl 6. 4. 24 s teplotou 25,1 °C, první tropický 9. 6. 24 s hodnotou 30,3 °C.
C, v červenci až září se počet tropických dnů projevil vlny veder.
D, v městském prostředí byl vyšší počet tropických dnů, a tím i vyšší počet vlny veder. Tímto byl podpořen v literatuře častý výsledek, že městské klima má vyšší hodnoty maxim i vyšší počet tropických dnů.

Je nutné zdůraznit, že vysoký počet tropických dnů měl dopad na zhoršení pocitových hodnot občanů nejen města Brna, ale převážné části našeho území. Zvýšení teploty vzduchu mělo vliv i na hodnoty dalších meteorologických prvků, dokladem je výskyt sucha v druhé polovině léta, kdy zvyšující se teplota vzduchu vyvolává zvýšenou evapotranspiraci, a tím deficitní vláhovou bilanci.

Uvedené výsledky dokládají, že pro hodnocení klimatu a jeho různé klasifikace je nutné vždy ověřit charakteristiku příslušné klimatologické stanice. Určitě není vhodné pro hodnocení např. podmínek pro lesní porosty brát v úvahu klimatologické stanice ovlivněně městským, případně průmyslovým prostředím.

S prokazatelným růstem teploty vzduchu musíme počítat i do budoucna, takže je vysoce pravděpodobný předpoklad zvýšení počtu tropických dnů a také vln veder. Tím také bude docházet ke změnám v naší krajině, ale i v městském klimatu.

Literatura

CAO, C., LEE, X., LIU, S., SCHULTZ, N., XIAO, W., ZHANG, M. AND ZHAO, L., 2016. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nature communications*, 7(1), pp. 1-7.

DOBROVOLNÝ, P., L. ŘEZNÍČKOVÁ, R. BRÁZDIL, L. KRAHULA, P. ZAHRADNÍČEK, M. HRADIL, M. DOLEŽALOVÁ, M. ŠÁLEK, P. ŠTĚPÁNEK, J. ROŽNOVSKÝ, H. VALÁŠEK, K. KIRCHNER A J. KOLEJKA. 2012, *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu.* Brno: Masarykova univerzita, 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.

KOLEKTIV AUTORŮ (1958): Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správageodézie a kartografie, Praha.
KOLEKTIV: Podnebí ČSSR - Tabulky. HMÚ Praha 1961, 379 s.
KOPEC, R. J. (1970): Further observations of the urban heat island in a small city. Bulletin American meteorological Society, Vol. 51, No. 7, s. 602-606

KURPELOVÁ M., COUFAL L., ČULÍK, J. (1975): Agroklimatické podmienky ČSSR. Bratislava, Príroda, 270 s.
LI, H., SODOUDI, S., LIU, J., TAO, W., 2020. Temporal variation of urban aerosol pollution island and its relationship with urban heat island. *Atmospheric Research,* 241.

LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2009. The incidence of heat index levels in urban areas of Brno. In: Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.

METEOROLOGICKÝ slovník výkladový terminologický: s cizojazyčnými názvy hesel ve slovenštině, angličtině, němčině, francouzštině a ruštině. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-85368-45-5.
METEOROLOGICKÝ slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: http://slovnik.cmes.cz

OKE, T.R. (1973). City size and the urban heat island. Atmospheric Environment 7, 769-779.

PETROVIČ, Š., 1979. Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. Water Balance and Phase of Hydrocycle Dynamics. In: ZELENAKOVA, Martina, Jitka FIALOVÁ a Abdelazim M. NEGM, ed. *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*. Springer Water, 2019, s. 403-414. ISBN 978-3-030-18362-2.

STŘEŠTÍK, J., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK a P. ZAHRADNÍČEK, 2014. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961-2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN eds. Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings, Brno, 3rd-5rd Sep. 2014 [CD]. Brno: 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.

TOLASZ, R., et al. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (CHMI), 978-80-244-1626-7 (UP).

ZAHRADNÍČEK, P., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK a F. CHUCHMA, 2017. Výskyt silných mrazů koncem měsíce dubna 2016 s ohledem na škody způsobené v ovocnářství. In: *Mrazy a jejich dopady – sborník abstraktů z mezinárodní konference, Hrubá Voda 26.–27. 4. 2017.* Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2017. ISBN 978-80-87577-69-1.

eteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: *http://slovnik.cmes.cz*

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu QL24020351 „Aktualizace Lesnicko-typologického klasifikačního systému včetně stanovení předpokládaného vývoje lesních vegetačních stupňů s vyhodnocením vlivu mezo a mikroklimatu s ohledem na probíhající klimatické změny a jejich predikce“ NAZV, program Země II.