

Vlny veder v ČR: Zvýšení rizika úmrtnosti v posledním desetiletí a naléhavost cílených opatření v oblasti veřejného zdraví

Heat waves in the Czech Republic: The increase in mortality risk over the last decade and the urgency of targeted public health action

Aleš Urban

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4;
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra vodního hospodářství
a environmentálního modelování
Kamýcká 129, 165 00 Praha–Suchbát
✉ urban@ufa.cas.cz

Hana Hanzlíková

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4;
Geofyzikální ústav AV ČR
Boční II 1401, 141 00 Praha 4

Eva Plavcová

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4

Chloé Vésier

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra vodního hospodářství
a environmentálního modelování
Kamýcká 129, 165 00 Praha–Suchbát

Jan Kysely

Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II/1401, 141 00 Praha 4;
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra vodního hospodářství
a environmentálního modelování
Kamýcká 129, 165 00 Praha–Suchbát

Heat waves are considered the most hazardous meteorological events in Europe, in terms of their impact on mortality. Due to the ongoing impact of climate change, Central Europe has witnessed an increase in both the frequency and intensity of these periods. Until now, studies from developed countries have mostly documented a long-term decline in vulnerability to heat due to prevailing positive socioeconomic development. However, our study, as one of the first in Europe, suggests a reversal of this trend, indicating an increased

risk of death due to heat over the last two decades. This aligns with projections indicating the impact of climate change on future heat-related mortality. The reversal is a consequence of a significant increase in the frequency and intensity of heat waves in Central and Eastern Europe, coupled with the growing vulnerability of the Czech population due to its ageing. These findings highlight the importance of i) better understanding the mechanisms by which society adapts to climate change and ii) accelerating the development of public health protection measures specifically targeted at the most vulnerable population groups.

KLÍČOVÁ SLOVA: úmrtí související s horkem – změny v čase – nerovnosti sociální – adaptace na vlny veder

KEYWORDS: heat-related mortality – temporal changes – social inequity – adaptation to heat waves

1. Úvod

Jedním z nejprůkaznějších projevů probíhající změny klimatu je pozvolný nárůst průměrné teploty vzduchu ve většině regionů světa (IPCC 2021). S ním souvisí i zvyšující se četnost a intenzita vln veder ve střední Evropě (Lhotka et al. 2018; Guerreiro et al. 2018), jak ukazuje obr. 1 na příkladu Prahy. Nejnovější poznatky naznačují, že nedávná rekordně teplá letní období v Evropě, která byla zaznamenána v letech 2018 (Hoy et al. 2020), 2019 (Xu et al. 2020) nebo 2021 (Lhotka et al. 2022), mohou být předzvěstí obvyklého průběhu léta již v příští dekádě (Lhotka et al. 2018; CCAG 2022). V budoucím klimatu se ve většině regionů Evropy očekává nárůst úmrtnosti související s horkem, a naopak pokles úmrtnosti v důsledku nízkých teplot v zimě (Gasparrini et al. 2017; Vicedo-Cabrera et al. 2018a; Lee et al. 2019).

Tyto odhady jsou však v protikladu s dlouhodobým historickým poklesem úmrtnosti související s horkem u obyvatel vyspělých zemí Evropy, Severní Ameriky, východní Asie a Austrálie (Sheridan, Allen 2018; Vicedo-Cabrera et al. 2018b; Achebak et al. 2019; Lay et al. 2021). Různé druhy adaptace – fyziologická (tj. aklimatizace na vyšší teploty), behaviorální (tj. změna kulturních zvyklostí, např. oblékání, pracovní doby)

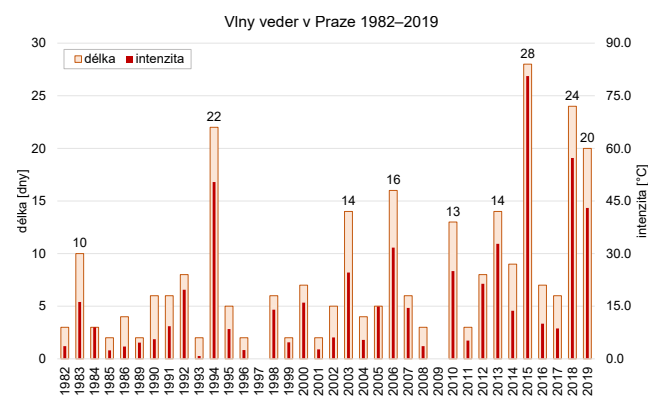
i technologická (např. rozšíření klimatizace, úprava plánování měst a projektování budov, zavádění akčních plánů na ochranu obyvatelstva před horkem) – jsou často uváděny jako příčiny snížených dopadů horkého počasí na úmrtnost (Bobb et al. 2014; Hondula et al. 2015; Arbuthnott et al. 2016; Sheridan, Allen 2018). Nicméně pochopení těchto adaptačních mechanismů a vlivu konkrétních opatření na snižování dopadů teplotních extrémů je stále nedostatečné a je třeba je dále studovat (Boeckmann, Rohn 2014).

Výzkum vztahů mezi proměnlivostí počasí a lidským zdravím má v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR zhruba 20letou tradici. Problematikou se zabývali pracovníci oddělení klimatologie v rámci několika projektů GA ČR řešených ve spolupráci se Státním zdravotním ústavem ČR, v poslední době také s Fakultou životního prostředí ČZU; aktuálně zde probíhá výzkum i v rámci mezinárodních aktivit Multi-City Multi-Country collaborative research network (MCC 2023) a COST Action PROCLIAS (PROCLIAS 2023). V následujícím textu předkládáme stručné shrnutí některých výsledků těchto projektů se zaměřením na i) časový vývoj dopadů extrémně vysokých teplot na úmrtnost v Praze a ČR a ii) skupiny obyvatelstva, kterých se zvýšené riziko úmrtnosti v důsledku horka týká nejvíce.

2. Data a metodika

2.1 Data

Pro analýzu vztahů mezi teplotou a úmrtností byla použita databáze zemřelých, kterou spravuje Ústav zdravotnických informací a statistiky ve spolupráci s Českým statistickým úřadem. Údaje o denním počtu zemřelých jsou k dispozici od roku 1982, podrobnější členění databáze s informacemi o pohlaví, věku, příčině smrti a trvalém bydlišti každého zemřelého až na úroveň okresu je k dispozici od roku 1994. Databáze dále



Obr. 1 Celková délka a intenzita vln veder v Praze v letech 1982–2019. Vlny veder jsou definovány jako alespoň dva po sobě jdoucí dny s průměrnou teplotou vyšší než 95. percentil rozdělení teploty od května do září za sledované období. Světlé sloupce znázorňují celkovou délku vln veder v daném roce, tmavé jejich intenzitu, tj. celkovou sumu odchylek teploty od 95. percentilu během vln veder v daném roce.

Fig. 1. Total duration and intensity of heat waves (at least two consecutive days with average temperatures higher than the 95th percentile of the temperature probability distribution during May–September over the study period) in Prague 1982–2019. The light columns represent the total duration of heat waves in a given year, while the dark ones represent their intensity, i.e., the total sum of temperature deviations from the 95th percentile during heat waves in the given year.

obsahuje informace o státní příslušnosti, vzdělání a rodinném stavu zemřelého v době úmrtí. Průměrné denní teploty vzduchu pro zájmové území (Prahu nebo ČR) byly spočítané z vybraných meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (viz obr. 1 ve studii Vésiera a Urbana 2023).

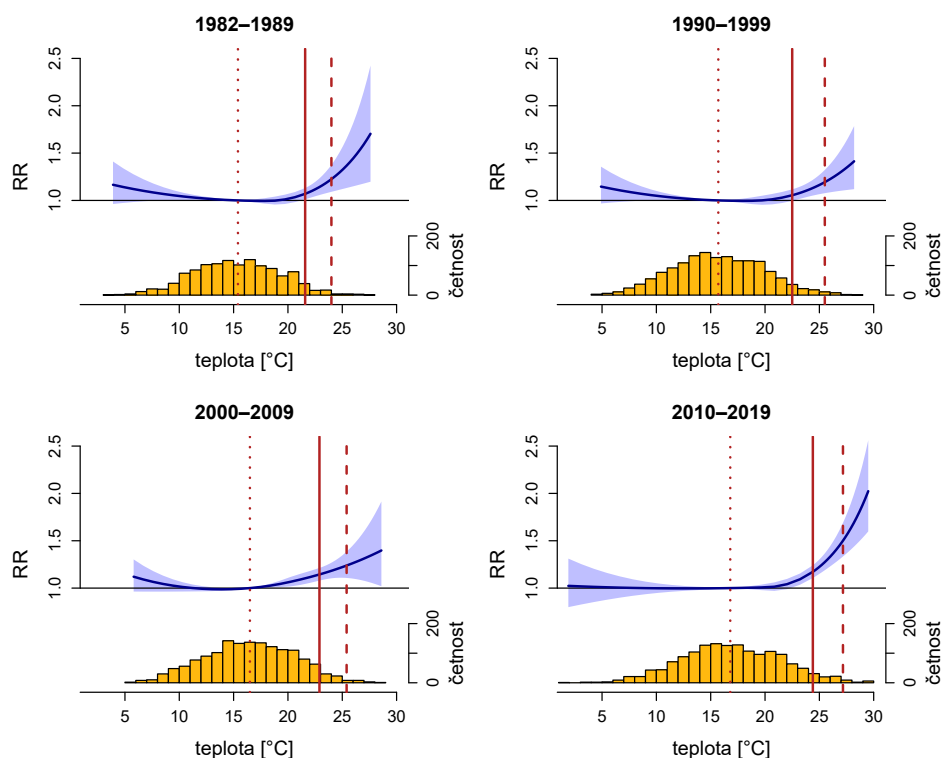
2.2 Metody

Pro statistické vyhodnocení míry rizika úmrtnosti v důsledku horka byly použity regresní modely s Poissonovým rozdělením, pomocí kterých bylo možné v rámci jednoho modelu ošetřit časové řady úmrtnosti o dlouhodobé a sezónní trendy a zároveň analyzovat vliv krátkodobé proměnlivosti teploty (Bhaskaran et al. 2013). V níže prezentovaných studiích jsme použili jmenovitě zobecněné aditivní modely (GAM, Wood 2006) kombinované s nelineárním modelem zpožděného vlivu (DLNM, Gasparrini 2011). Hlavním výstupem těchto modelů je hodnota relativního rizika (RR) úmrtnosti, která udává relativní změnu pravděpodobnosti úmrtí při dané teplotě oproti mediánu rozdělení teploty. Jako prahovou teplotu pro definici horka v našich studiích používáme 95. percentil rozdělení teploty vzduchu v období květen–září; hodnotu RR vztahujeme k 99. percentilu tohoto rozdělení v souladu s běžně používaným přístupem (Vicedo-Cabrera et al. 2018a; Achebak et al. 2019). Díky využití DLNM metodiky zahrnuje hodnota RR i zpožděný vliv teploty na úmrtnost (viz Kyselý 2004; Qiao et al. 2015). Na základě vypočteného RR je následně možné určit počet (a podíl) úmrtí v důsledku horka z celkového počtu úmrtí v daném období.

3. Výsledky a diskuse

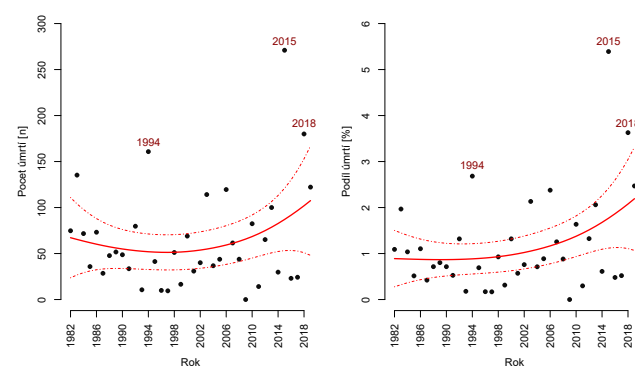
Většina studií z rozvinutých zemí prokázala klesající riziko úmrtnosti související s horkem během druhé poloviny 20. století (Hondula et al. 2015; Arbuthnott et al. 2016; Sheridan, Allen 2018; Vicedo-Cabrera et al. 2018a; Achebak et al. 2019). Tyto studie však také ukazují, že klesající trend postupně zpomaloval, v některých případech už od konce 90. let 20. století. V souladu s tím jsou i poznatky z dřívějších prací týkajících se české populace. Časové změny úmrtnosti v důsledku horka jsme jako první v ČR systematicky zkoumali ve studii Kyselého a Plavcové (2012), která prokázala významný pokles zhruba o 5 % za 10 let. Za hlavní důvody snižujících se dopadů lze pokládat zlepšení zdravotních služeb a celkové životní úrovně v souvislosti se společenskými změnami po r. 1989, vedoucí ke zlepšení zdravotního stavu populace, a v neposlední řadě zvýšené povědomí veřejnosti o rizicích souvisejících s horkem. Zpomalení klesajícího trendu v souladu se zahraničními studiemi potvrdila i studie Urbana et al. (2020), ve které jsme také zaznamenali pokles rizika úmrtnosti v důsledku horka (mezi lety 1994 a 2017), avšak pozvolnějším tempem – pouze 3 % za 10 let.

Tento trend potvrdila i poslední obdobná analýza, ve které jsme zjišťovali změny ve vztahu mezi horkem a úmrtností na 38 let dlouhé časové řadě v Praze (1982–2019, Urban et al. 2022). Takto dlouhá časová řada nám umožnila rozdělit data do čtyř dekad (obr. 2) a vzít tak v úvahu vliv postupné aklimatizace společnosti na rostoucí teploty. Výsledky i přesto prokázaly zastavení klesajícího trendu rizika úmrtnosti v důsledku horka na přelomu tisíciletí, a naopak rostoucí trend v posledních dvou dekádách (2000–2019; obr. 3). Tento nárůst byl způsoben již zmíněnou vzrůstající četností intenzivních vln veder v ČR v druhé polovině sledovaného období (obr. 1). Nárůst rizika úmrtnosti se projevil zejména v posledním desetiletí (2010–2019), během něhož jsme zjistili v průměru



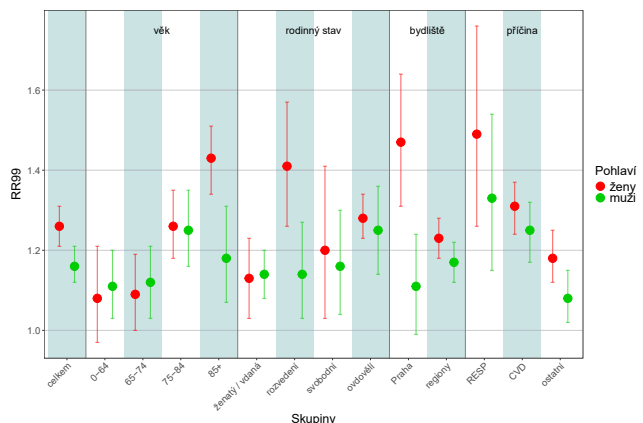
Obr. 2 Vztah mezi průměrnou denní teplotou vzduchu a rizikem úmrtí (RR) v Praze v teplé části roku (květen–září) pro jednotlivá období. Hodnota RR udává relativní změnu pravděpodobnosti úmrtí při dané teplotě oproti mediánu (tečkovaná červená čára) rozdělení teploty (RR = 1,0). Plná (čárkovaná) červená čára znázorňuje 95. (99.) percentil rozdělení teploty.

Fig. 2. Relationship between daily mean temperature and the risk of death (RR) in Prague during the warm part of the year (May–September) for individual periods. The RR value indicates the relative change in the probability of death at a given temperature compared to the median (dashed red line) of the temperature probability distribution (RR = 1.0). The solid (dashed) red line represents the 95th (99th) percentile of the temperature probability distribution.



Obr. 3 Počet úmrtí (vlevo) souvisejících s horkem (ve dnech s průměrnou denní teplotou vyšší než 95. percentil rozdělení teploty během období květen–září) a jejich procentuální podíl na celkovém počtu úmrtí (vpravo) v Praze v období květen–září v letech 1982–2019. Červená křivka znázorňuje odhad nelineárního trendu dopadu extrémního horka na úmrtnost. Letopočty jsou zvýrazněny roky s nejvyšším počtem úmrtí v důsledku horka za sledované období.

Fig. 3. Number of heat-attributable deaths (on days with daily mean temperatures higher than the 95th percentile of the temperature probability distribution in May–September) (left) and their percentage of the total number of deaths (right) in Prague in May–September, 1982–2019. The red curve represents an estimate of the nonlinear trend in the impact of extreme heat on mortality. The years with the highest number of heat-attributable deaths during the study period are highlighted in red.



Obr. 4 Relativní riziko úmrtí pro 99. percentil rozdělení teploty vzduchu v období květen–září (RR99) zvláště pro ženy (červeně) a muže (zeleně) v ČR v závislosti na věku, rodinném stavu, bydlišti (regiony = všechny kraje mimo Prahu) a primární příčině úmrtí podle listu zemřelého (RESP = respirační onemocnění, CVD = kardiovaskulární, ostatní = ostatní příčiny).

Fig. 4. Relative risk of death for the 99th percentile of the air temperature probability distribution in May–September (RR99), separately for women (red) and men (green) in the Czech Republic. The results are divided by age (věk), marital status (rodinný stav, displayed in the following order from left: married, divorced, single, widowed), place of residence (bydliště, regiony = all regions except Prague), and primary cause of death according to the death certificate (RESP = respiratory diseases, CVD = cardiovascular diseases, ostatní = other causes).

90 úmrtí v důsledku horka (2 % z celkového počtu zemřelých) v období květen–září ve srovnání s 50 úmrtími (1 %) v prvních třech dekáдах (1982–2009). Rekordní počet úmrtí v důsledku horka byl zaznamenán v roce 2015. Tehdy v Praze (ČR) dosáhl více než 250 (770; Urban et al. 2020), což činilo více než 5 % všech úmrtí od května do září ve stejném roce (obr. 3).

Ve studii Urban et al. (2022) jsme analyzovali data pro Prahu, která představuje oblast s nejvýznamnějšími dopady horka na úmrtnost v rámci ČR (Jánoš et al. 2023). Již dřívější práce prokázaly, že fyzicko-geografické podmínky (průměrná letní teplota, nadmořská výška) a míra urbanizace (hustota osídlení, procento nepropustného povrchu), posilující tzv. efekt městského tepelného ostrova (Skalák et al. 2015), souvisí s vyšším rizikem úmrtnosti v důsledku horka ve velkých městech, zejména v Praze (Urban et al. 2014; Urban et al. 2016). Další studie navíc naznačují, že vysoké koncentrace rizikových skupin obyvatel (starší, chronicky nemocní, ovdovělí) představují důležitý aspekt zvýšené úmrtnosti z horka ve městech (Gronlund et

al. 2015). Tento poznatek potvrzuje i výsledky nejnovější analýzy (Vésier, Urban 2023), které dokládají významně vyšší riziko úmrtnosti v důsledku horka u obyvatel Prahy oproti ostatním regionům, a to zejména v případě žen (obr. 4).

Stejná studie potvrdila již dříve pozorované vyšší riziko úmrtnosti v důsledku horka u žen ve srovnání s muži (Kyselý et al. 2011; Hanzlíková et al. 2015), obecný nárůst rizika s věkem (Kyselý et al. 2011; Arbuthnott, Hajat 2017) a nejvyšší riziko úmrtí u osob s chronickým respiračním a kardiovaskulárním onemocněním (Hanzlíková et al. 2015; Arbuthnott, Hajat 2017). Z hlediska rodinného stavu bylo nejnižší riziko pozorováno u osob žijících v manželském (příp. partnerském) svazku oproti svobodným, ovdovělým a rozvedeným. Jedním ze zajímavých výsledků studie bylo zjištění významně vyššího rizika úmrtí v důsledku horka u rozvedených žen ve srovnání s rozvedenými muži i ostatními skupinami podle rodinného stavu (obr. 4). Vzhledem k tomu, že socioekonomická deprivace je často uváděna jako rizikový faktor výskytu chronických onemocnění, a tudíž zvyšující riziko úmrtnosti v důsledku horka (Lago et al. 2018; McMaughan et al. 2020), naše výsledky podporují hypotézu, že kromě fyziologických a demografických rozdílů (Kenney, Munce 2003; Yanovich et al. 2020) mohou vyšší riziko úmrtí u žen ve srovnání s muži způsobovat i nerovnosti v socioekonomickém postavení (Breil et al. 2021; Vésier, Urban 2023; Jánoš et al. 2023). Pro potvrzení této hypotézy by bylo třeba analyzovat riziko úmrtí v důsledku horka na základě podrobnějších indikátorů socioekonomického postavení zemřelého (jako jsou vzdělání či výše příjmu). Takové informace ovšem nejsou v úmrtnostních datech evidovány, nebo nebyly za studované období zaznamenávány dostatečně konzistentně (např. údaj o vzdělání, viz Vésier, Urban 2023). Výsledky proto poukazují na kritický nedostatek relevantních informací v individuálních datech o zemřelých, které by umožnily lépe identifikovat zranitelné skupiny populace (nejen) vůči extrémnímu horku a zacílit na ně potřebná preventivní opatření.

Mezi taková opatření patří dlouhodobá adaptace měst a obcí na vlny veder formou volby vhodných stavebních postupů v rámci územního rozvoje, které zabráňují zbytečnému přehřívání sídel v letních měsících a poskytují dostatečnou ochranu obyvatelstvu před horkem. Kromě dlouhodobých kroků města a regiony v teplejších klimatických oblastech zavádějí akční plány pro zmírnění dopadů vln veder na zdraví obyvatel (McGregor 2015). Takové plány v případě vyhlášení výstrahy na vysoké teploty či vlny veder jasně stanovují postupy napříč resorty zaměřené na zmírnění dopadů, a přispívají tak ke snížení počtů úmrtí u zranitelných skupin populace během těchto epizod (Martínez-Solanas, Basagaña 2019).

4. Závěr

Vlny veder se řadí k nejrizikovějším meteorologickým jevům v Evropě z hlediska dopadu na úmrtnost. V souvislosti s probíhající změnou klimatu dochází k nárůstu četnosti a intenzity těchto období i ve střední Evropě. Naše výsledky jako jedny z prvních v Evropě ukazují změnu doposud klesajícího trendu rizika úmrtnosti v důsledku horka (vlivem příznivého socioekonomického vývoje) na rostoucí trend. Tento zvrát je zapříčiněn významným nárůstem četnosti a intenzity vln veder v oblasti střední a východní Evropy v minulé dekádě a zároveň i rostoucí zranitelností populace ČR kvůli jejímu stárnutí.

Jelikož se střední a východní Evropa řadí k regionům s největším nárůstem intenzity teplotních extrémů v rámci kontinentu, je třeba pokračovat ve výzkumu dopadů extrémních teplot na lidské

zdraví, pokusit se lépe porozumět mechanismům, kterými se společnost adaptuje na změnu klimatu, a implementovat účinnější opatření na ochranu zdraví obyvatel před těmito dopady.

Poděkování:

Děkujeme za podporu GA ČR prostřednictvím projektu 22-24920S. Dále děkujeme doc. B. Křížovi (in memoriam), dr. J. Kynčlovi a dr. M. Malému ze Státního zdravotního ústavu ČR za dlouhodobou spolupráci a pomoc s přípravou a interpretací epidemiologických dat.

Literatura:

- ACHEBAK, H., DEVOLDER, D., BALLESTER, J., 2019. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *Lancet Planetary Health*, roč. 3, s. e297–e306. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30090-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30090-7).
- ARBUTHNOTT, K. G., HAJAT, S., 2017. The health effects of hotter summers and heat waves in the population of the United Kingdom: a review of the evidence. *Environmental Health*, roč. 16, s. 119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0322-5>.
- ARBUTHNOTT, K. G., HAJAT, S., HEAVISIDE, C., VARDOULAKIS, S., 2016. Changes in population susceptibility to heat and cold over time: assessing adaptation to climate change. *Environmental Health*, roč. 15, s. 73–93. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0102-7>.
- BHASKARAN, K., GASPARRINI, A., HAJAT, S. et al., 2013. Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, roč. 42, s. 1187–1195. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ije/dyt092>.
- BOBB, J. F., PENG, R. D., BELL, M. L., DOMINICI, F., 2014. Heat-Related Mortality and Adaptation to Heat in the United States. *Environmental Health Perspective*, roč. 122, s. 811–816. Dostupné z: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>.
- BOECKMANN, M., ROHN, I., 2014. Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. *BMC Public Health*, roč. 14, s. 1–13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1112>.
- BREIL, M., ZANDERSEN, M., PISHMISHEVA, P. et al., 2021. 'Leaving No One Behind' in climate resilience policy and practice in Europe: Overview of knowledge and practice for just resilience. Technical Paper 2021/2. Dostupné z: https://doi.org/10.25424/CMCC/JUSTTRANS_EUROPE.
- CCAG (Climate Crisis Advisory Group), 2022. Record-breaking heatwave will be an average summer by 2035, latest Met Office Hadley Centre data shows [cit. 28. 9. 2022].
- GASPARRINI, A., 2011. Distributed lag linear and non-linear models in R: The Package dlnm. *Journal of Statistical Software*, roč. 43, s. 1–20. Dostupné z: <https://doi.org/10.18637/jss.v043.i08>.
- GASPARRINI, A., GUO, Y., SERA, F. et al., 2017. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planetary Health*, roč. 1 s. e360–e367. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0).
- GRONLUND, C. J., BERROCAL, V. J., WHITE-NEWSOME, J. L. et al., 2015. Vulnerability to extreme heat by socio-demographic characteristics and area green space among the elderly in Michigan, 1990–2007. *Environmental Research*, roč. 136, s. 449–461. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.08.042>.
- GUERREIRO, S. B., DAWSON, R. J., KILSBY, C. et al., 2018. Future heatwaves, droughts and floods in 571 European cities. *Environmental Research Letters*, roč. 13, s. 034009. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3>.
- HANZLÍKOVÁ, H., PLAVCOVÁ, E., KYNČL, J. et al., 2015. Contrasting patterns of hot spell effects on morbidity and mortality for cardiovascular diseases in the Czech Republic, 1994–2009. *Internatio-*

- nal Journal of Biometeorology*, roč. **59**, s. 1673–1684. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0974-1>.
- HONDULA, D. M., BALLING, R. C., VANOS, J. K., GEORGESCU, M., 2015. Rising temperatures, human health, and the role of adaptation. *Current Climate Change Reports*, roč. **1**, s. 144–154. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0016-4>.
- HOY, A., HÄNSEL, S., MAUGERI, M., 2020. An endless summer: 2018 heat episodes in Europe in the context of secular temperature variability and change. *International Journal of Climatology*, roč. **40**, s. 6315–6336. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/joc.6582>.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- JÁNOŠ, T., BALLESTER, J., ČUPR, P., ACHEBAK, H., 2023. Countrywide analysis of heat- and cold-related mortality trends in the Czech Republic: growing inequalities under recent climate warming. *International Journal of Epidemiology*, s. 1–11. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ije/dyad141>.
- KENNEY, W. L., MUNCE, T. A., 2003. Invited Review: Aging and human temperature regulation. *Journal of Applied Physiology*, roč. **95**, s. 2598–2603. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00202.2003>.
- KYSELÝ, J., 2004. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic *International Journal of Biometeorology*, roč. **49**, s. 91–97. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0218-2>.
- KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E., HANZLÍKOVÁ, H., KYNČL, J., 2011. Comparison of hot and cold spell effects on cardiovascular mortality in individual population groups in the Czech Republic. *Climate Research*, roč. **49**, s. 113–129. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr01014>.
- KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E., 2012. Declining impacts of hot spells on mortality in the Czech Republic, 1986–2009: adaptation to climate change? *Climatic Change*, roč. **113**, s. 437–453. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0358-4>.
- LAGO, S., CANTARERO, D., RIVERA, B. et al., 2018. Socioeconomic status, health inequalities and non-communicable diseases: a systematic review. *Journal of Public Health*, roč. **26**, s. 1–14. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10389-017-0850-z>.
- LAY, C. R., SAROFIM, M. C., VODONOS ZILBERG, A. et al., 2021. City-level vulnerability to temperature-related mortality in the USA and future projections: a geographically clustered meta-regression. *Lancet Planetary Health*, roč. **5**, s. e338–e346. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00058-9).
- LEE, J. Y., KIM, H., GASPARRINI, A. et al., 2019. Predicted temperature-increase-induced global health burden and its regional variability. *Environment International*, roč. **131**, s. 105027. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105027>.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., FARDA, A., 2018. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. **131**, s. 1043–1054. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2031-3>.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., 2022. The 2021 European heat wave in the context of past major heat waves. *Earth and Space Science*, roč. **9**, s. 1–12. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2022EA002567>.
- MARTÍNEZ-SOLANAS, È., BASAGAÑA, X., 2019. Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a heat health prevention plan. *Environmental Research*, roč. **169**, s. 102–113. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.006>.
- MCC, 2023. Multi-Country Multi-City (MCC) Collaborative Research Network. [cit. 9. 11. 2023]. Dostupné z: <https://mccstudy.lshtm.ac.uk/>.
- MCGREGOR, G., BASEMOULIN, P., EBI, K., MENNE, B. et al., 2015. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development; WMO-No. 1142; World Meteorological Organization and World Health Organization: Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-63-11142-5.
- MCMAUGHAN, D. J., OLORUNTOBA, O., SMITH, M. L., 2020. Socio-economic status and access to healthcare: interrelated drivers for healthy aging. *Frontiers of Public Health*, roč. **8**, s. 231. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00231>.
- PROCLIAS, 2023. Process-based models for climate impact attribution across sectors. COST Action CA19139 [cit. 9. 11. 2023]. Dostupné z: <https://proclias.eu/>.
- QIAO, Z., GUO, Y., YU, W., TONG, S., 2015. Assessment of short- and long-term mortality displacement in heat related mortality. *Environmental Health Perspectives*, roč. **123**, s. 766–773. Dostupné z: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307606>.
- SHERIDAN, S., ALLEN, M., 2018. Temporal trends in human vulnerability to excessive heat. *Environmental Research Letters*, roč. **13**, s. 043001. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab214>.
- SKALÁK, P., ŽÁK, M., ZAHRADNÍČEK, P., HELMAN, K., 2015. Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy. *Meteorologické zprávy*, roč. **68**, č. 1, s. 18–23. ISSN 0026-1173.
- URBAN, A., DAVÍDKOVÁ, H., KYSELÝ, J., 2014. Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, roč. **58**, s. 1057–1068. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0693-4>.
- URBAN, A., BURKART, K., KYSELÝ, J., SCHUSTER, C. et al., 2016. Spatial patterns of heat-related cardiovascular mortality in the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, roč. **13**, s. 284. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph13030284>.
- URBAN, A., KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E. et al., 2020. Temporal changes in years of life lost associated with heat waves in the Czech Republic. *Science of The Total Environment*, Vol. **716**, s. 137093. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137093>.
- URBAN, A., FONSECA-RODRÍGUEZ, O., DI NAPOLI, C., PLAVCOVÁ, E., 2022. Temporal changes of heat-attributable mortality in Prague, Czech Republic, over 1982–2019. *Urban Climate*, roč. **44**, s. 101197. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101197>.
- VÉSIER, C., URBAN, A., 2023. Gender inequalities in heat-related mortality in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, roč. **67**, s. 1373–1385. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02507-2>.
- VICEDO-CABRERA, A. M., SERA, F., GUO, Y. et al., 2018a. A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. *Environment International*, roč. **111**, s. 239–246. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.11.006>.
- VICEDO-CABRERA, A.M., SERA, F., HEAVISIDE, C., et al., 2018b. Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios. *Climatic Change*, roč. **150**, s. 391–402. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2274-3>.
- WOOD, S., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman & Hall/CRC. ISBN 978-13-153-7027-9.
- XU, P., WANG, L., LIU, Y. et al., 2020. The record-breaking heat wave of June 2019 in Central Europe. *Atmospheric Science Letters*, roč. **21**, s. e964. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/asl.964>.
- YANOVICH, R., KETKO, I., CHARKOUDIAN, N., 2020. Sex differences in human thermoregulation: Relevance for 2020 and Beyond. *Physiology*, roč. **35**, s. 177–184. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physiol.00035.2019>.

Lektoři (Reviewers):

Mgr. Martin Novák, RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.