

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA EKOLOGIE**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Modelování dopadů teplotních extrémů na lidské zdraví  
Modeling the impact of temperature extremes on human health**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Diplomant: Zuzana Bělonohá**

**Vedoucí diplomové práce: Mgr. Aleš Urban, Ph.D.**

**2022**



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autorka práce:  
Studijní program:  
Vedoucí práce:  
Garantující pracoviště:  
Jazyk práce:

Bc. Zuzana Bělonohá  
Ochrana přírody  
Mgr. Aleš Urban, Ph.D.  
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování  
Čeština

Název práce:

**Modelování dopadů teplotních extrémů na lidské zdraví**

Název anglicky:

**Links between extreme temperatures and human health**

Cíle práce:

Souvislost mezi výskytem vysokých teplot (vln veder) a zvýšenou nemocností/úmrtností je dlouhodobě známa. Mezi události s největším nárůstem úmrtnosti oproti normálu se řadí vlny veder v roce 2003 v západní Evropě nebo 2010 v Rusku, ale vlny veder mají významný vliv na nárůst úmrtnosti i v ČR. V poslední dekádě bylo zaznamenáno několik mimořádně horkých letních sezón (2010, 2013, 2015, 2018, 2019), kdy maximální denní teplota výrazně překračovala hranici 35 °C. Vzhledem k předpokládanému pokračujícímu růstu globální průměrné teploty se očekává i růst intenzity a četnosti vln veder ve střední Evropě, a tudíž rostoucí míra rizika zdravotních dopadů spojených se stresem z horka pro její obyvatele.

Cílem práce je analyzovat dopady teplotních extrémů na úmrtnost v ČR se zaměřením na nedávné extrémní události (mj. v letech 2018 a 2019) a porovnání metodických postupů pro odhad úmrtnosti spojené s teplotními extrémny.

Metodika:

Analýza časových řad, regresní analýza, korelační analýza. Využití statistických balíčků v prostředí R.

Literatura: Urban A, Kyselý J, Plavcová E, et al (2020) Temporal changes in years of life lost associated with heat waves in the Czech Republic. *Sci Total Environ* 716:137093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137093>

Doporučený rozsah práce:

50-60

Klíčová slova:

vlny veder, extrémní teploty, úmrtnost

Doporučené zdroje informací:

1. Urban A, Kyselý J, Plavcová E, et al (2020) Temporal changes in years of life lost associated with heat waves in the Czech Republic. *Sci Total Environ* 716:137093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137093>

Předběžný termín obhajoby:

2022/23 LS - FŽP

Konzultant:

doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Aleše Urbana, Ph.D. a uvedla jsem všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne

.....

## Poděkování

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu práce Mgr. Aleši Urbanovi PhD. Za poskytnutí dat, konzultací a cenných rad pro psaní této diplomové práce

# Abstrakt

Extrémně vysoké teploty a z nich plynoucí výskyt vln veder se objevují stále častěji. Tyto jevy mají velký vliv na celkové zdraví lidského organismu a tím i na četnost úmrtí. Riziko nárůstu úmrtnosti v letním období, kdy se vyskytují vysoké teploty, tak neustále roste. Cílem této práce bylo analyzovat, jak se liší v průběhu studovaného období počty úmrtí v závislosti na době zaznamenání hodnot a denních teplotách. Data použitá pro analýzu byla čerpána z databáze úmrtnosti v České republice v období 1982 až 2020. Na základě použití quasi-Poissonova aditivního modelu byla zobrazena struktura rozložení mortality v průběhu času. A také byla stanovena hraniční průměrná denní teplota okolo 15°C, při níž vzniká zvýšené riziko úmrtí v souvislosti s vysokými teplotami v České republice. Tato hranice se však v jednotlivých dekádách posouvala. V poslední dekádě to bylo již 17°C. Při posuzování časového vývoje zvýšené úmrtnosti z horka ve sledovaném období byl zjištěn klesající trend při horkých dnech, horkých vlnách i horkých vlnách s prodlouženou účinností. Avšak v poslední dekádě začal znovu stoupat. Závislost mezi teplotou vzduchu a zvýšenou úmrtností byla rostoucí u všech typů horkých epizod. U hodnocení odlišnosti použitých denních teplot se mírně lišila pouze minimální teplota. Průměrné a maximální denní teploty dosahovaly téměř stejného vlivu. Ale rostoucí početnost úmrtí při zvyšování teplot se vyskytovala u všech. Použití různých percentilů pro stanovení horkých dní neukázalo nijak výraznou proměnu. To by mohlo znamenat, že výběr percentilu teplot není velmi významný. Výsledným zjištěním práce je, že za klesající početností úmrtí při vysokých teplotách není adaptace lidského organismu, ale jiné faktory. Proto je dále potřeba zaměřit se na rozvíjení strategií pro adaptaci obyvatel a varovných systémů.

**Klíčová slova:** vlny veder, extrémní teploty, úmrtnost

# Abstract

Extremely high temperatures and resulting heat waves are increasingly occurring. These events have a major impact on human health including the number of deaths. The risk of increasing mortality during the summer period is thus expected to increase with future warming. The aim of this paper was to analyse how the number of deaths varies over time and how are they associated with daily temperature in the summer season. For the analysis, daily data of the number of deaths from monitoring in the Czech Republic between 1982 and 2020 were used. Based on the use of a quasi-Poisson additive model, the structure of mortality distribution over time was analyzed. Daily mean temperature at 15 °C was identified as the threshold temperature of significant increase of temperature-related mortality risk in the warm season. But that threshold has shifted in decades. In the last decade, it was already 17°C. When assessing the temporal changes of heat-related excess mortality in the study period, a decreasing trend was identified for hot days, heatwaves and heatwaves with lagged effect. But in the last decade, it began to rise again. However, positive association between increasing temperature and excess mortality was identified during the whole study period. This association was significant for the minimum, maximum and daily mean temperature with small differences. The use of different percentiles to determine hot days did not show significant changes in the relationships. This could mean that the choice of temperature percentile is not very important. Findings of the work suggest that the decreasing number of deaths at high temperatures is not associated with the adaptation of the human organism to high temperatures, while other factors play the main role. This is why there is a further need to focus on developing strategies for adapting populations and warning systems

**Keywords:** heat waves, extreme temperatures, mortality

# OBSAH

## Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Cíle práce .....	2
3.	Literární rešerše .....	3
3.1	Základní pojmy .....	3
3.1.1	Počasí .....	3
3.1.2	Meteorologické mapy a předpověď počasí .....	3
3.1.3	Měření teploty vzduchu .....	4
3.2	Meteorologické jevy .....	5
3.2.1	Proudění vzduchu .....	5
3.2.2	Tlak vzduchu .....	6
3.2.3	Frontální systémy .....	8
3.2.4	Horké a studené vlny .....	8
3.3	Nastávající změny a jejich vliv .....	10
3.3.1	Jevy nastávající při změně klimatu a globálním oteplování .....	10
3.3.2	Znečištění ovzduší a skleníkový efekt .....	13
3.3.3	Vliv vysoké teploty na lidské zdraví .....	14
3.3.4	Teplotní extrém v Evropě .....	17
3.4	Charakteristika studovaného území .....	18
3.4.1	Základní údaje o České republice .....	18
3.4.2	Úmrtí a faktory s nimi spojené v České republice .....	19
4.	Metody .....	22
4.1	Regrese a lineární modely .....	22
4.2	Zobecněné lineární modely .....	23
4.3	Zobecněné aditivní modely – GAM .....	24
4.4	Data .....	26
4.4.1	Zdravotnická data .....	26
4.4.2	Meteorologická data .....	26
4.4.3	Definování horkých epizod .....	26
4.5	Použité metody .....	27
5.	Výsledky .....	28
6.	Diskuze .....	39
7.	Závěr .....	42

8. Zdroje .....	43
-----------------	----



## 1. Úvod

V současnosti lze pozorovat výraznou změnu klimatu. V posledních desetiletích se začíná narušovat jeho stabilita. Rozdíly mezi teplotami, které byly běžné v minulém století a těmi které jsou běžné dnes, zaznamenávají nejen vědci, ale i široká veřejnost. Teplotní extrémny, ať už to jsou vlny horké nebo naopak vlny studené, vyžadují čím dál větší pozornost, protože se týkají nás všech. Toto téma stojí v popředí nejen v rámci vědy a výzkumu, ale zaujímá i podstatnou část prostoru v médiích. Globálně je pozorováno permanentní zvyšování průměrných teplot. Negativní dopady vysokých teplot jsou zaznamenávány napříč společnostmi. Jejich působení má vliv nejen na společnost, ale především na životní prostředí, přítomnost vody, zemědělství a také na ekonomiku. V případě že tento proces změny bude postupovat stále zrychlujícím tempem, jako to bylo doposud, mohly by být jeho následky pro lidské společenství velmi ohrožující.

## **2. Cíle práce**

Cílem práce je zhodnotit vliv teplotních extrémů, které se v poslední době vyskytují s čím dál vyšší frekvencí. A také popsat použití různých statistických metod využitelných pro hodnocení vlivů na úmrtnost. Hodnocení vlivu teplot je zaměřeno především na letní období, kdy se vyskytují horké dny a z nich vznikající horké vlny. Celkem bude posuzováno 39 let (1982-2020). A budou zde hodnoceny proměny počtu úmrtí v závislosti na sledovaných letech a denních teplotách. Posoudí se také rozdíly mezi použitou denní teplotou. Odlišné teploty budou průměrná denní teplota, minimální denní teplota a maximální denní teplota. Další srovnání proběhne při použití různých percentilů k definování horkých dnů. Všechny odlišnosti budou pozorovány u horkých dní, horkých vln i horkých vln s prodlouženou účinností. A nakonec bude zhodnocena početnost úmrtí při prodlouženém účinku horkých vln.

### 3. Literární řešerše

#### 3.1 Základní pojmy

##### 3.1.1 Počasí

Počasí je pro život na Zemi velmi zásadní ať už pro živé organismy či neživé složky přírody. Jde o okamžitý stav atmosféry, který je charakterizovaný souborem všech hodnot meteorologických prvků a atmosférických jevů objevujících se v určitém místě a čase. Charakterizovat počasí můžeme v daném okamžiku či krátkém časovém období. Sledované proměnné jsou běžně: teplota vzduchu, tlak vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost a směr vzduchu, oblačnost a atmosférické srážky. Počasí není stálé a neustále se proměňuje ať už v čase či prostoru. Tyto proměny můžeme monitorovat a z výsledků vyvozovat obecnější závěry. Ty se dají vyjádřit v rámci sezónnosti a proměnlivosti mezi jednotlivými lety. Co se týče prostoru, tak rozlišujeme podmínky v regionech či globálním měřítku (Fortin, 2003).

Sledované hodnoty se odvíjí podle toho, v jakém klimatu (či podnebí) jsou monitorované. Klima je dlouhodobý charakteristický režim počasí. Je charakterizováno dlouhodobě sledovanými průměry a trendy meteorologických prvků a atmosférických jevů (Fortin, 2003).

##### 3.1.2 Meteorologické mapy a předpověď počasí

Meteorologické mapy umožňují zobrazení velkých oblastí spolu se značným množstvím informací. Díky údajům získaných z různých zdrojů (družice, lodě, letadla, automatické stanice na bójích, radiosodážní balony, radiolokátory a pozemní meteorologické stanice – ty podávají zprávy o typech mraků, rychlosti větru, teplotě, tlaku vzduchu atd.) je možné sestavovat synoptické mapy. Synoptické mapy zobrazují aktuální stav atmosféry. Pro zobrazení následujícího vývoje se připravují předpovědní mapy. Do všech těchto map se informace zaznamenávají pomocí symbolů pro izobary, linie atmosférických front, oblasti nízkého a vysokého tlaku vzduchu a srážkové oblasti. (symboly na obrázku) (Fortin, 2003).

Ideální sestavení předpovědi dnes zahrnuje vysoce výkonné počítače. Tyto počítače dokáží velice rychle zpracovat velké množství dat. Zároveň je ale dobré použít znalosti meteorologů, kteří do předpovědi přidávají znalost podmínek v dané oblasti (Fortin, 2003).

Meteorologické značky		
 jasno	 déšť	 vánek
 polojasno	 sníh	 vítr
 zataženo	 sněh. pokryv	 vichr
 kroupy	 jinovatka	
 duha	 náledí	
 rosa	 bouřka	
 mlha	 blyskavice	

Obrázek 1 Mezinárodní meteorologické symboly (Fortin, 2003).

### 3.1.3 Měření teploty vzduchu

Tepelný stav ovzduší je daný schopností vzduchu přijímat nebo předávat tepelnou kinetickou energii. Pole teploty vzduchu je nestálé a často se mění. Teplota se mění horizontálně mnohdy skokem. Hlavní faktor proměnlivosti teploty je nehomogenní zemský povrch. Teplotní pole je vizualizováno pomocí izoterm a změny pomocí izaloterm. Izotermy jsou čáry na mapě nebo množiny bodů v grafu, které označují místa se stejnou teplotou ve stejnou dobu (Fortin, 2003).

Podstata měření teploty vzduchu je sledování rychlosti pohybu molekul. Teploměr tedy zaznamenává kinetickou energii molekul vzduchu narážejících na jeho stěny. Čím rychleji se molekuly pohybují, tím více energie předávají a kapalina se rozpíná a pohybuje se směrem vzhůru (Fortin, 2003).

Standardně jsou teplotní měřidla umístována v teplotní budce. Která bývá situována dva metry nad zemským povrchem. Běžně se měří teplota na suchém a vlhkém teploměru, díky čemuž se zjistí teplota rosného bodu. To znamená, že se vzduch stává nasyceným a neabsorbuje už další vodní páry. Následně začne voda kondenzovat. Z tohoto se dá stanovit vlhkost vzduchu (Fortin, 2003).

Nejčastěji používané stupnice pro teplotní stav jsou Celsiova, Fahrenheitova a Kelvinova. Tyto stupnice se liší v bodu mrazu o desítky až stovky. Bod mrazu je v 0 stupních Celsia, 32 stupních Fahrenheita a 273,16 stupních Kelvina (Fortin, 2003).

V souvislosti s měřením teploty je podstatný termín pocitová teplota. Tato teplota je charakteristická tím, že se do ní řadí kromě teploty vzduchu také účinky jiných faktorů, jenž mohou mít vliv na tepelnou bilanci povrchu těla u lidí (a také u některých živočichů). Pocitová teplota se vyjadřuje pomocí různých indexů, které berou v potaz vlhkost vzduchu, rychlost větru a toky krátkovlnného i dlouhovlnného záření. Indexy se dělí na úplné, zahrnující všechny vyjmenované faktory, a neúplné. K úplným indexům patří například WBGT (wet bulb globe temperature), UTCI (Universal Thermal Climate Index) a PET (Physiological Equivalent Temperature). Mezi neúplné (zjednodušené) řadíme indexy jen s vybranými faktory. Jsou to například Heat index a Wind Chill (celým názvem Wind Chill Equivalent Temperature). Pro teplé období v roce se používá Heat index, který navyšuje pocitovou teplotu při nárůstu relativní vlhkosti vzduchu. Vlhkost totiž snižuje schopnost ochlazování povrchu těla pomocí transpirace. Wind Chill se používá naopak při chladném období v roce. Zde je pocitová teplota snižována při zvyšující se rychlosti větru (ČMeS ©2017).

## 3.2 Meteorologické jevy

### 3.2.1 Proudění vzduchu

Proudění vzduchu je pojem určený pro pohyb vzduchových částic. Tento pohyb bývá nejčastěji neuspořádaný. Vyskytuje se, ale i proudění, které se pohybuje uspořádaně. Jednotlivé charakteristické proudění jsou:

Cirkulační vzduchové buňky – Kolem obou zemských polokoulí se vyskytují tři prstence atmosférické cirkulace, a to Ferrellova buňka, Hadleyho buňka a polární buňka. Díky tlakovému gradientu a Coriolisově síle se pohybují vertikálně i horizontálně. Teplý vzduch stoupá směrem nahoru, kde se ochladí a klesne zpět. Poté se díky pohybu ve stejném směru po povrchu znovu ohřeje (Fortin, 2003).

Tryskové proudění – Ve výšce mezi 6 000 až 15 000 m obíhají Zemi silné proudy větru od západu k východu (Jet stream) a ty se rozdělují na polární a subtropické větve. Rychlost proudů se pohybuje od 150 km/h na vnějšku až po 400 km/ uvnitř (Fortin, 2003).

Rossbyho vlny – Když je rychlost tryskového proudění malá, tak Coriolisova síla způsobí jeho zvlnění. Vzniklé tvary se nazývají Rossbyho vlny. Díky meandrům se tvoří cyklony a anticyklony, jenž ovlivňují podnebí středních zeměpisných šířek Země (Fortin, 2003).

Místní větry – Místní větry jsou nestálé a velice proměnlivé. Změny způsobují například rozložení reliéfu nebo teplotní rozdíly mezi dnem a nocí (Fortin, 2003).

Mořská a pobřežní bríza – výměna teplého vzduchu z pobřeží a studenějšího vzduchu z vody během dne a noci (Fortin, 2003).

Údolní vítr a horský vzduch – teplotní inverze vlivem výškového rozdílu. Teplý vzduch během dne stoupá nahoru z údolí a v noci klesá z hor (Fortin, 2003).

Větry adiabatické – vítr narazí na horský svah a stoupá, čímž se ochlazuje a zbavuje vlhkosti. Dále se po přesunu přes vrchol při klesání ohřívá. Na závětrnou stranu tedy přichází teplé a suché počasí (Fortin, 2003).

Větry katabatické – jsou to studené větry, které nabírají sílu při sestupování z hor (Fortin, 2003).

Větry laminární – vytváří se jen nad hladkým povrchem a nejsou u něho zjevné turbulentní pohyby. Nejlépe viditelné jsou nad vodními plochami (Fortin, 2003).

Turbulence vzduchu – tento typ pohybu vzduchu je velice hojný. Jsou charakteristické nepravidelnými vírovými pohyby. Dělíme je na termickou, dynamickou a mechanickou (ČMeS ©2017).

Konvekce – jedná se o proudění výstupné, jenž kompenzuje horizontální nehomogenitu teplot vzduchu v atmosféře (ČMeS ©2017).

Subsidence – jsou to pomalé sestupné pohyby vzduchové hmoty. Mohou mít zásadní vliv na změnu vývoje počasí. Způsobují adiabatické oteplování. Rozpouštějí již přítomnou oblačnost. Také tlumí konvekci (ČMeS ©2017).

Advekce – znamená horizontální přenos charakteristického vzduchového útvaru na dlouhé vzdálenosti (ČMeS ©2017).

Fén – se tvoří při pohybu vzduchu přes překážku, kterou představují hory a kopce (větší nerovnosti terénu). Vzniká díky rozdílným tlakům vzduchu z obou stran horské překážky. Za fénem následuje zvýšení teploty, drobná oblačnost a více suchý vzduch. Útvar vzduchu na návětrné straně se postupně začne rozpínat a ochlazovat, čímž dochází ke kondenzaci vodní páry. Přitom se uvolňuje teplo a tím pádem teplota při výstupu přestává klesat. Voda po kondenzaci spadne v podobě srážek. Po překonání vrcholu začne více suchý vzduch sestupovat a rychle se ohřívat (ČMeS ©2017).

Větry obecně ovlivňují vnímání teploty. Pocitová teplota při nich klesá. Přestože se tedy v prostředí bude vyskytovat stejná teplota vzduchu a vlhkost vzduchu, bude teplota při silnějším větru vnímána jako chladnější, než když bude bezvětrí. Pozitivně lze vnímat redukci nasyceného vzduchu, který vzniká při bezvětrí, protože zlepšuje schopnost evaporace potu. Při rychlosti větru minimálně 2 m/s je nasycená vrstva vzduchu redukována až na 1 mm tloušťky. Pomocí této redukce se pot snadněji odpařuje a lidský organismus dokáže snášet mnohem vyšší teploty. Větry, které přesahují rychlost 10 m/s naopak představují pro organismus přítěž. Dochází k potížím s dýchací soustavou. Je to způsobené vyšším náporem vzduchu, při kterém je nutné navýšit svalovou aktivitu. Dobrý vliv má silný vítr na prokrvení nezakrytých míst na těle (Matoušek, 1983). Avšak může také vyvolávat nachlazení, bolest hlavy a záněty (ledvin, nervů např. očních) (SZU, 2023). Zvláště velký vliv na zdraví má fénový pohyb vzduchu. Fén totiž dokáže zabraňovat nástupu tlakové níže. Po odchodu fénu, tak nastoupí tlaková níže a s ní přijde i studený vzduch. Tato náhlá změna teploty vzduchu může způsobit šok organismu a onemocnění. I při průběhu fénu jsou u některých lidí pozorovány podráždění, poruchy spánku a žaludeční potíže (Kosaris, 1997).

### 3.2.2 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu vytváří různé útvary. Za ty nejdůležitější jsou považovány:

Tlaková výše

Tlaková níže

Barické sedlo

Hřeben vysokého tlaku

Brázda nízkého tlaku

Tlaková výše – neboli anticyklona, je oblast, kde je zvýšený tlak vzduchu v atmosféře. Vzduch nad povrchem Země je chladný a klesá, tím vytvoří vyšší tlak. A vyšší tlak, než je přítomný v jejím okolí, způsobuje změny. Když tento vzduch klesá, tak zabrání tvorbě mraků a díky tomu je slunečné počasí (Allaby, 2002) V synoptických mapách se značí písmenem V. V anglické a německé verzi těch toma map je označení H. Proces vzniku tlakové výše se nazývá anticyklogeneze. K tomuto procesu dochází kombinací složitých procesů v atmosféře (ČMeS ©2017). Tlaková výše může způsobit podstatné ekonomické škody, ale také úmrtnost obyvatelstva a jiné negativní následky pro lidské zdraví (Vargin et al., 2012). Tyto následky jsou způsobené vysokou teplotou a je jim věnována kapitola s názvem Reakce lidského organismu na vlny veder.

Tlaková níže – neboli cyklona, je oblast, kde je snížený tlak vzduchu v atmosféře. Teplý vzduch stoupá směrem nahoru. Ve výšce se postupně ochlazuje a tvoří se z něj mraky. Počasí se při tlakové níži zpravidla proměňuje (Allaby, 2002). V synoptických mapách se značí písmenem N. V anglické verzi je jí přiřazeno písmeno L a německé je označení písmeno T. Proces vzniku tlakové níže se nazývá cyklogeneze. K procesu dochází stejně jako u tlakové výše kombinací složitých procesů v atmosféře (ČMeS ©2017). Také následky cyklony mohou být katastrofálního charakteru. Například ve městě Beira způsobil v roce 2019 cyklon Idai ničivou spoušť. Povodně způsobené tlakovou níží zničili infrastrukturu, zdravotnická zařízení a omezili i primární zdravotní péči. Díky zničené půdě také došlo k nedostatku potravy následovaným podvýživou. Přítomnost vody podpořila malárii, kvůli zvýšení počtu komárů, a také cholera, protože nastaly problémy s hygienou (Lokotola, 2022). I v oblasti Sundarbans v Indii způsobil v roce 2019 cyklona Amphan zdravotní problémy. Tento negativní efekt ještě znásobila kombinace s pandemií Covid 19. A šířily se zde nemoci pomocí přítomné vody (Szabo et al., 2021).

Aby se hustoty tlaku vyrovnávaly, tak vzniká vítr. Při setkání vzdušných proudů vyvolávají silné deště, mrznoucí deště a blizardy. Z tohoto setkání vznikají frontální cyklony s chladným jádrem (na rozdíl od hurikánu) (Fry, 2012)

Baristické sedlo – neboli tlakové sedlo, se nachází mezi dvěma oblastmi nízkého tlaku a vysokého tlaku vzduchu. Rozložení těchto oblastí připomíná šachovnici. Plochy tvořené izobarami vytvářejí charakteristický útvar připomínající sedlo. Uprostřed tohoto útvaru se nachází hyperbolický bod (nebo také neutrální bod).

Hřeben vysokého tlaku – neboli výběžek vysokého tlaku vzduchu, je oblast charakterizovaná vyšším tlakem vzduchu bez izobar nebo izohyps. Obvykle ji lze nalézt mezi dvěma oblastmi nízkého tlaku vzduchu. Vizualizovat na synoptické mapě ji lze buď pomocí izobar nebo izohyps s anticyklonálním zakřivením. Hřeben může být i součástí anticyklony. Lze také vyznačit osu hřebene u vysokého tlaku. Podél této osy se vytváří divergence proudění. A s tím je spojen sestupný pohyb vzduchu. Důsledkem sestupu dochází k rozpouštění mraků a celkově nízké oblačnosti.

Brázda nízkého tlaku – tato oblast se ukazuje v synoptických mapách jako místo nižšího tlaku vzduchu s neuzavřenými izobarami nebo izohypsami. Objevuje se běžně mezi dvěma oblastmi s vyšším tlakem vzduchu. Případně může složkou cyklony. Vizualizuje se buď pomocí izobar, případně izohyps jen s mírným zakřivením cyklony, nebo také izohyps ve tvaru V (což se označuje jako hluboká brázda nízkého tlaku). Lze vyznačit také osu brázdy, kde je maximální zakřivení cyklony znázorněné izolinií. Podél této osy bývá horizontální konvergence proudění. Díky tomuto faktoru se tvoří vystupující proudy vzduchu napomáhající tvorbě oblačnosti nebo srážek. Obvykle zde leží atmosférická fronta (ČMeS ©2017).

### 3.2.3 Frontální systémy

Frontální systémy – při setkání chladného vzduchu z pólů a teplého vzduchu z tropů vznikne hranice nazývaná se fronta. Studený vzduch vytlačuje teplý nahoru a vznikají mraky (Allaby, 2002). Atmosférická fronta se objevuje především v troposféře. Tato přechodová zóna bývá v horizontální rovině široká několik desítek kilometrů a ve vertikální rovině několik set metrů (případně pár kilometrů). V případě většího rozsahu přechodové zóny mezi vzduchovými hmotami je používán pojem frontální čára (fronta). Fronty mívají sklon k zemskému povrchu, nejčastěji  $0,5^\circ$ , tyto útvary jsou nazývány frontální plochy (ČMeS ©2017). Pokud je jeden ze vzduchů pomalejší, může podél fronty vznikat vlna. Tato vlna poté formuje vznikající depresi, ve které se vzduch hýbe po křivkách (Allaby, 2002).

Studená fronta – tato fronta se pohybuje v tlakové níži směrem k teplému vzduchu. Tento teplý vzduch vytlačuje směrem nahoru. Následně tvoří přechod mezi teplým a studeným vzduchem. Díky tomu že je teplý vzduch vytlačen vzhůru, začíná se ochlazovat a kondenzuje se vodní pára. Poté vznikají oblačnost a srážky, v letním období je doprovází bouřky. Studená fronta je rozlišována na anafrontu a katafrontu případně prvního a druhého druhu.

Teplá fronta – je v zásadě protikladem fronty studené. Jedná se tedy také o předěl teplého a studeného vzduchu. Teplý vzduch se pohybuje směrem ke studenému, a protože je lehčí vystoupá nad něj. Vzniká charakteristická oblačnost a má pásmo trvalých srážek s šířkou okolo 300 až 400 kilometrů. Srážky obvykle spadnou před frontální čarou. Předzvěsti teplé fronty bývají typické druhy mraků (cirrus, cirrostratus, altostratus a nimbostratus) a také pokles tlaku vzduchu (tlaková tendence).

Okluzní fronta – tvoří se v případě, že se studená fronta dostane k frontě teplé v tlakové níži. Tato fronta je více neobvyklá a má menší dosah než studená nebo teplá fronta. Má pravidelněji rozdělené srážky podél obou stran frontální čáry. Dělí se na studenou a teplou okluzi. Teplá okluze vzniká, když je vzduchová hmota zpoza studené fronty teplejší než studená hmota nacházející se před teplou frontou. Studená okluze se vyvíjí v opačném rozložení teplot vzduchových hmot (ČMeS ©2017).

### 3.2.4 Horké a studené vlny

Termíny horké vlny (heat wave) a studené vlny (cold spell) vyjadřují teplotní extrémy, které mívají vliv na výskyt nemocí a úmrtnost v lidské populaci. Celosvětově jednotná definice těchto termínů zatím není dostupná. Autoři definic často zahrnují regionální charakteristiky, které se nedají použít v obecné rovině. V jednom ze zdrojů (Robinson, 2001) je dostupná definice obecnějšího charakteru. Tato definice říká, že v období, kdy se vyskytuje horká vlna, způsobí neobvykle vysoký tepelný stres, který vyvolává dočasné změny životního stylu a může negativně působit na lidské zdraví zasaženého obyvatelstva. Studená vlna má přesně opačný charakter než horká vlna.



Pro určení jejich přítomnosti je možné využití různých kritérií. Například v USA využívá National Weather Service parametry pro období horké vlny. Ke splnění je nutné pro toto období, aby minimálně ve dvou dnech heat index (průměrný index horka) na tři hodiny překročil 105 °F (což je 40,6 °C) a v nočních hodinách (mezi 19:00 a 7:00) byl heat index vyšší než 80 °F (což je 26,7 °C) (Robinson, 2001). Studie z Nizozemska (Huyen et al., 2001) použila pro vymezení horkých a studených vln jiné parametry. V této práci byly horké vlny definovány nejméně pěti dny s maximální teplotou převyšující 25 °C a z těchto pěti dnů museli tři dny obsahovat teplotu vyšší než 30°C. A hranice pro studené vlny byla definována minimálně devíti dny s min. teplotou nižší než -5 °C a šest z těchto dnů by mělo mít min. teplotu pod -10°C. Další práce od Kyselého et al. z roku 2009 v České republice ohraničila studené vlny alespoň třemi dny s maximální denní teplotou vzduchu nižší nebo rovnou -3,5°C.

Období extrémních teplot, lze určovat i jinými způsoby, než je jednoduché měření teploty. V publikovaném článku od Kyselého a Kříže z roku 2008, byla stanovována horká vlna pomocí překročení kvantilů rozdělení hodnot. V této studii byla horká vlna stanovena jako období obsahující minimálně tři dny, které po sobě následovali, u nichž průměrný denní index horka byl větší než 95% kvantil rozdělení tohoto indexu a jeden z těchto dní měl přesahovat 98% kvantil indexu horka. Další studie od Kyselého et al., publikovaná v roce 2011, udává hranice období horkých a studených vln minimálně dvou dnů, které měly odchylku průměrné denní teploty vzduchu vyšší než 95% kvantil.

Je tedy zřejmé, že při definování horkých a studených vln neexistují jednotné parametry stanovující období horkých a studených vln. Autoři si volí různé přístupy k jejich stanovení a žádný standartní postup, který by byl obecně použitelný, nefunguje.

Za faktory nejvíce ovlivňující horké a studené vlny lze považovat rozložení vzduchových hmot vyskytujících se nad určitou oblastí a mírou jejich stálosti. Tyto faktory působí na délku, dobu nástupu a charakter obou variant vln. Při období s vysokými teplotami vzduchu se v oblasti vyskytuje malá oblačnost s vysokým tlakem vzduchu. Teplý vzduch se pohybuje vodorovným prouděním směrem z jihozápadu na východ nebo stagnuje a zahřívá se při omezeném pohybu chladnějšího vzduchu (Kyselý, 2008). Různé formy cirkulace mají odlišný vliv v různých částech Evropy. K nejčastějším cirkulacím vyskytujícím se v období horkých vln patří cirkulace s tlakovou výší případně hřebenem vysokého vzdušného tlaku nad střední částí Evropy. Při této cirkulaci podporuje efekty vodorovné proudění teplého vzduchu směrem z jihu na jihovýchod Evropy. Jiná vhodná situace pro tvorbu horké vlny je tlaková výše nad Skandinávií (HFA), která nese horký suchý vzduch z východu Evropy. Další příčinou je oblast nízkého tlaku nad Atlantikem (SWZ), kterou blokuje hřeben vysokého tlaku vzduchu umístěný mezi Azorskou a Sibiřskou anticyklonou, jenž přenáší teplý vzduch z jihu na jihozápad (Kyselý, 2008). Při horkých vlnách, které mohou způsobovat nárůst úmrtnosti, se v Čechách vyskytuje vysoká teplota vzduchu, nízká oblačnost a silnější proudění vzduchu z jižního směru. U studených vln převažují cirkulace severního a východního typu. Při těchto cirkulacích se objevuje anticyklona nad severní částí Evropy a střed má nad Skandinávií. Do středu Evropy se dostává proudění chladného vzduchu směrem ze severovýchodu (Kyselý, 2008).

### 3.3 Nastávající změny a jejich vliv

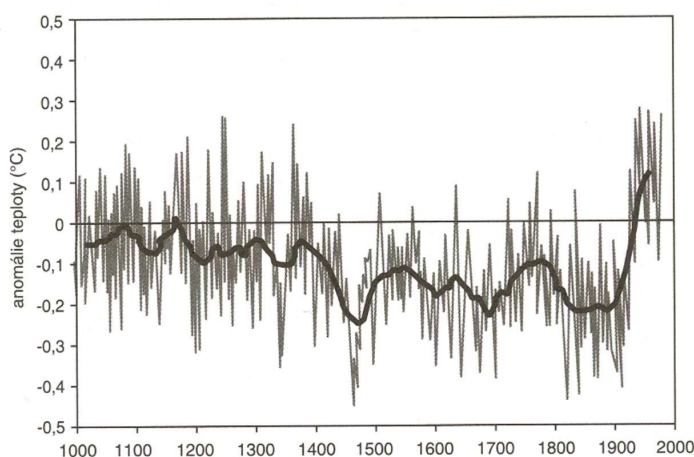
#### 3.3.1 Jevy nastávající při změně klimatu a globálním oteplování

Oteplování planety Země se projevuje různými jevy. Jsou to například větrné proudění, mořské proudy, tání ledovců, oblačnost, úbytek vegetace a skleníkový efekt (obrázek zvyšování teplot) (Fortin, 2003)

Přírozené cykly proměn teplot lze pozorovat na takzvaných Milankovičových cyklech. Příčinami těchto cyklů jsou:

- Excentricita eliptické dráhy Země kolem Slunce, která se mění v periodě v rozmezí 60 000 až 120 000 let s rozpětím 0 % až 6,9 %. Vzdálenost mezi Zemí a Sluncem se pohybuje v rozhraní 20 milionů km.
- Sklon zemské osy se mění v periodě 40 000 let a pohybuje se mezi 21,8° a 24,4° (za rok cca 0,00013°). Ovlivňuje pozice obratníků, tropického pásu a polárních kruhů.
- Změna vzdálenosti Země od Slunce podle úhlu perihelu s periodou 21 000 let. Perihel znamená proměnu směru zemské osy, která opisuje pomyslný plášť kužele. V důsledku toho se mění časové období podle vzdálenosti ke Slunci (jaro až zima).

(Nártl, 2006)



Obrázek 2 Průběh odchylek průměrné roční teploty severní polokoule Země od roku 1400 až do roku 2004. Silná čára znázorňuje průměrné teploty severní polokoule (Nártl, 2006).

Z výsledků celoživotní práce Milankoviče vychází graf rekonstrukce průběhu teplot (tzv. hokejkový graf) z proxy dat za posledních 500 až 2 000 let, který zobrazuje průběh teplotních změn naší planety od roku 1000 až do roku 1998. Jeho součástí je i takzvaná malá doba ledová po roce 1400. Později byl tento graf rozšířen do roku 2004, kde šlo pozorovat, že ke konci 20. století (cca po roce 1800) nastal prudký nárůst teplot naznačující nejvyšší teploty severní polokoule za předcházejících 1300 let. V poslední době je však tento graf předmětem sporů různých odborníků. Přesto je to jeden z mála grafů demonstrujících přehled teplot za velmi dlouhé období (Valníček, 2015).

Za negativní faktory působící na přírodní zdroje jsou považovány mimořádná sucha, požáry, horké vlny, povodně a přemnožení škůdců. Především v oblasti zemědělství při postupujícím oteplování a suchu bude třeba pěstovat odolnější odrůdy

potravin a dodávat nedostatečnou vláhu (Hák et al., 2015). Velký vliv na utváření klimatu mají také oceány. Ty jsou hlavním zdrojem vodní páry v atmosféře. Zajišťují velkou tepelnou kapacitu. A dochází v nich k redistribuci tepla díky cirkulačním proudění (Nártl, 2006). Další rizika spojená se změnou klimatu jsou například ohrožení přístupu k pitné vodě a k potravinám, ohrožení funkčnosti ekosystémů a biodiversity. Pro člověka by mohla být zničující nerovnoměrná distribuce mezi skupinami a regiony. Tato rozdílnost způsobuje větší rizika a sníženou schopnost adaptace pro znevýhodněné obyvatele (Vidomus, 2018). Řešením jsou dle zprávy IPCC (Mezivládní panel pro změnu klimatu) mitigace skleníkových plynů a adaptace na dopady klimatických změn. Východisko je nutné hledat globálně a bude zapotřebí mezinárodní kooperace (Vidomus, 2018).

Relativně nově řešené paradigma se týká oteplování v minulosti. Zjistilo se, že doby ledové se opakují přibližně vždy po 100 000 letech. Během doby meziledové teploty stoupnou o 11 °C. Oteplení se objevovalo zatím pravidelně. Vždy proběhlo přibližně uprostřed 10 tisíciletého období, během sto let v prostředním tisíci let (Zpráva NRC 2002 Abrupt Climate Change). V současném holocénu (době meziledové) se teploty měnily velice pomalu. V posledním tisíciletí přibližně o 1 až 1,5°C. Přibližně před 100 lety však nastala změna. Oteplení se rapidně zvýšilo a zrychlilo (Moldan, 2021). Na změnu klimatu mají stále vliv přirozené cykly. Jako jsou například cykly slunečních skvrn, jež mají periodu cca 11 let (celý cyklus trvá dvojnásobný počet let) (Fry, 2012). Avšak hlavní příčinou oteplování v současnosti jsou antropogenní aktivity. Zejména produkce emisí skleníkových plynů přispívá k oteplování planety (Moldan, 2021).

Současný interglaciál je s délkou 10 000 let velice mimořádný ve své stálosti, dle vědců se nalzáme přibližně v polovině a do nástupu glaciálu by se dala předpokládat přibližně stejně dlouhá doba. Ovšem s činností člověka je možné, že se tato doba může proměnit. Za nejvlivnější faktor urychlující oteplení klimatu se považují skleníkové plyny. A nejvýrazněji se oteplování projevuje na tání ledovců (Valníček, 2015).

Teplota povrchu planety Země stoupla mezi lety 1880 a 2012 o 0,85 °C. I při omezení skleníkových plynů by se mohla zvýšit o dalších 0,7 °C. A bez omezení by vyšplhala až o 3 °C výše. Tyto hodnoty se samozřejmě pečlivě monitorují a jsou zaváděna různá opatření pro zmírnění. Příkladem těchto opatření je Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC), která je v gesci České informační agentury životního prostředí (CENIA). IPPC reguluje průmyslové a zemědělské činnosti. Jejím cílem je předcházení vzniku znečištění. Z hodnotící zprávy monitoringu IPPC z období 2013-14 vyplývají změny v cirkulaci vzdušných hmot a nárůst extrémních teplot, jedná se o vysoké teploty, ale i o mrazivé vlny, jejich součástí by měli být mimořádné srážky (dešťové i sněhové) a období mimořádného sucha (Valníček, 2015). Díky monitoringu také víme že mezi lety 1998 až 2012 došlo ke zmírnění stoupajícího trendu zvyšování teplot. Zmírnění způsobily neantropogenní faktory. Z těchto faktorů měli největší vliv vulkanické erupce a fáze solárního cyklu při porovnání s předchozími dekádami (Vidomus, 2018). Rok 2016 byl nejteplejším změřeným rokem při moderním sledování klimatu. Další rok byl také rekordně teplý. V roce 2018 se stoupaní teplot zmírnilo. A v roce 2019 bylo oteplení opět vyšší (+ 1,1 °C oproti

období 1890–1900) (Moldan, 2021). V roce 2018 vydalo IPCC zprávu k blížícímu se zvýšení průměrné teploty o 1,5 °C (Moldan, 2021).

Neexistuje jednoduché ani jednoznačně správné řešení, které by všechno zlepšilo a vrátilo do původního stavu. Extrémní teploty a výkyvy nemají jednoznačnou příčinu a není možné označit viníka ani příčinu (Esenstein, 2021). Klimatické změny mají globální dosah a není tak možné zaměřit se pouze na jedno místo. Negativní působení v jednom regionu může nepřímo ovlivnit i velmi vzdálenou oblast - například nedostatkem potravin, které produkuje zasažený region. Migrace obyvatel z postižené do více příznivé oblasti, má také zásadní vliv i pro obyvatele nedotčeného regionu (Vidomus, 2018).

Predikované důsledky globální změny klimatu v 21. století při současném vývoji budou: nárůst teplot vzduchu, zvýšení hladin oceánů, tání vysokohorských ledovců, posun hranic lesa, častější mimořádné klimatické události a změna vegetačních období. Pro předpokládanou změnu teplot na planetě jsou používány statistické modely. Ty zpracovávají pravděpodobný vývoj klimatu. Jejich výsledný odhad oteplení je nárůst průměrných teplot na Zemi o 1 až 3,5 °C za toto století. To je více, než jiné změny v tomto období holocénu. Podle předpokladů by změna měla být více patrná na nočních teplotách. A počet horkých dnů stoupat oproti těm chladnějším. Koncem současného století by se mohla vyskytovat vedra a sucha každý druhý rok (Nártl, 2006). Díky celosvětově stoupajícím teplotám dochází k tání ledovců. Mezi lety 1992 a 2017 ubylo v Grónsku a Antarktidě 6,4 bilionů tun ledu. Čímž došlo ke zvednutí hladiny oceánů o 1,8 centimetru. Dle měření v posledních letech se hladina oceánů zvyšuje o 4 milimetry za rok (Slater et al., 2020). Kombinací tání ledovců a teplotní roztažnosti vody v oceánech došlo k nárůstu hladiny moří o 20 centimetrů oproti počátku 20. století. Zvyšování hladiny je doposud 3,15 centimetrů ročně, ale stále stoupá. Kvůli globálnímu zvyšování hladin bude pravděpodobně docházet k zaplavování čím dál většího množství pevniny (Cheng et al., 2020). Ani oblasti, u kterých nehrozí zaplavení, však nezůstanou beze změn. Na pevninách jsou stále častější epizody intenzivního a dlouhého sucha, ale i extrémních srážek následovaných povodněmi. Také se zvyšuje frekvence bouří, hurikánů a tajfunů. Intenzita a početnost lesních požárů mají také stoupající trend (Moldan, 2021). Celková změna klimatu ohrožuje velké množství ekosystémů. Zejména však ty, jenž jsou izolované a omezené lokálními podmínkami klimatu. Typickým příkladem jsou vysokohorské biotopy, které jsou vlivem stoupajících teplot silně ohroženy (Turner et al., 2020).

K odvrácení změny klimatu se téměř všechny země zavázali Rámcovou úmluvou o změně klimatu. K této úmluvě byl vytvořen Kjótský protokol. Tento protokol zavazuje k redukci oxidu uhličitého, metanu, oxidu dusného, hydrofluoruhlovodíků, polyfluorovodíků a fluoridu sírového (skleníkové plyny) o průměrně 5 % do roku 2008–2012 oproti roku 1990. Evropská unie splnila 8 %, kdy pojala celý prostor Evropy jako jednu bublinu. Jednotlivé státy se podílely podle svých možností. V roce 2015 byla přijata všemi smluvními stranami Rámcové úmluvy o změně klimatu Pařížská dohoda. Ta nahrazuje předchozí Kjótský protokol. Cílem této dohody je pracovat na tom, aby rostoucí teploty nepřekročily hranici 2°C oproti období před průmyslovou revolucí. A také rozšiřuje povinnost stanovení vnitrostátních příspěvků ke snižování množství emisí skleníkových plynů i pro rozvojové státy (nejen ty

rozvinuté). Přestože EU plní povinnosti Pařížské dohody, zdá se, že tyto požadavky nestačí. A oteplení při současném postupu by se pohybovalo okolo 3 až 4 °C a ne dohodnuté 2 °C (Moldan, 2021).

### 3.3.2 Znečištění ovzduší a skleníkový efekt

Největší část skleníkového efektu tvoří vodní pára, ta tvoří tento efekt až ze dvou třetin. Vlastnosti vodní páry jsou takové, že při srážení se uvolňuje teplo, je to účinný skleníkový plyn, její vyšší obsah může způsobit oblačnost (Nártl, 2006).

Druhým největším činitelem je CO<sub>2</sub> s 25 %. Další vlivné plyny jsou ozon, oxid dusný a metan. Jednotlivé plyny se liší svou účinností např. metan je 20-krát účinnější než CO<sub>2</sub>. Méně vlivné jsou i další složky například krátkodobí činitele, ke kterým patří i saze (black carbon). Ty také přispívají k zvětšování skleníkového efektu, dokonce ještě 460 až 1500krát silněji oproti CO<sub>2</sub>. Protože absorbují sluneční světlo a zahřívají své okolí. A také snižují schopnost odrazet sluneční světlo při uložení na sněhu nebo ledu a zároveň tyto povrchy zahřívají (Moldan, 2021).

Největší problém však představuje koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší. Přibližně před 150 lety se totiž pohybovala koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší okolo 280 částic na jeden milion (ppm). V roce 2009 bylo měřeno 388 ppm a každý rok přibývá o 2 ppm navíc. Celosvětové emise oxidu uhličitého v roce 2009 jsou na úrovni 10 GtC/rok. Tyto emise stoupají přibližně o 3 % každý rok. Většinu propadů obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší způsobuje působení oceánu. Ten totiž pohlcuje až 2 Gt CO<sub>2</sub> za rok. Další vliv na pohlcování CO<sub>2</sub> by měli mít lesy (Craven, 2012). Čím je tedy oceán teplejší tím méně přijímá a rozpouští CO<sub>2</sub>. Díky čemuž ho zůstává více ve vzduchu a tím se více otepluje. Díky tomu vzniká jakýsi začarovaný kruh (Craven, 2012). Protože čím větší je koncentrace uhlíku v ovzduší, tím vyšší je globálně průměrná teplota. Přírozený skleníkový efekt, zvýšil průměrnou teplotu na Zemi na 16°C. Bez tohoto jevu by to bylo o 34 °C méně. Díky antropogenní činnosti se, ale skleníkový efekt zvyšuje a teploty stoupají mnohem více. Tento stoupající obsah skleníkových plynů v ovzduší způsobuje zvětšování skleníkového jevu (Moldan, 2021).

Jak se bude vyvíjet obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře se dá předpokládat jen pomocí matematického modelování dle vývoje obsahů v minulosti (Nártl, 2006). Snížení množství produkovaného CO<sub>2</sub> je možné díky: omezení spotřeby, zvýšení účinnosti využití energie, výroba energie bez emisí nebo využití alternativních zdrojů, ukládání CO<sub>2</sub> do úložišť. (Nejvíce CO<sub>2</sub> vzniká při produkci elektřiny.) Pomohlo by také využívání technologií neprodukcujících CO<sub>2</sub> – sluneční energie, jaderná energie, energie vodních elektráren, spalování vodíku (přitom vzniká jen čistá voda). Alternativní možnosti zdroje energie jsou například využití biomasy rostlin, větrné energie, termální energie oceánů, geotermální energie a energie přílivů (Nártl, 2006).

Dalším nebezpečným skleníkovým plynem je metan. Ten je uložený na dně oceánů ve formě metanových klatrátů (/hydrátů). V případě že se tyto klatráty ohřejí, začnou se uvolňovat do vzduchu. Tento jev (metanová puška) způsobil několik světových vymírání (Craven, 2012). Vlivným plynem je také SO<sub>2</sub>, který se po uvolnění sopečným výbuchem přeměňuje na pevné sírany a zůstává ve stratosféře, kde pohlcuje část slunečního záření (Nártl, 2006). Činností člověka v průmyslovém odvětví vznikají potenciálně nebezpečné aerosoly. Ty ale paradoxně pomáhají ochlazovat planetu,

protože odráží část sluneční energie. Mají však i negativní vliv. Například mohou způsobovat kyselé deště nebo astma (Craven, 2012). Na rostoucích koncentracích atmosférických plynů se podílí z velké části člověk. Největší podíl z antropogenní produkce skleníkových plynů má spalování fosilních paliv. Prvenství má uhlí, následuje ropa a zemní plyn. Čtvrtinu způsobují odlesňování a zemědělství, které zahrnuje i chov hospodářských zvířat. (Turner et al. 2020)

Během pandemie Covid-19 se v roce 2020 snížily emise o 6,4 %. Tento pokles souvisí především se snížením ekonomického výkonu, jenž vysvětluje pokles HDP o 3 % (ve vyspělých zemích až o 6 %). Kdyby takovýto pokles pokračoval i v následujících letech, bylo by možné dodržet Pařížskou dohodu o klimatu. Ta pojednává o udržení globálního oteplení pod 2 °C od předindustriální doby. Zpráva Světové meteorologické organizace však nepotvrdila za rok 2020 snížení koncentrací CO<sub>2</sub> v ovzduší (naměřeno 410 ppm). Snížení emisí se neprojevovalo ani na zpomalení oteplování. Oproti předindustriální době se průměrná teplota navýšila o 1,2 °C. Přestože nastal jev La Niña, který má ochlazující efekt, tak rok se rok 2020 řadil ke třem nejteplejším. V Antarktidě a Grónsku se zrychlilo tání ledů. Velice rozsáhlé lesní požáry se vyskytovaly v Austrálii, Kalifornii a na Sibíři. Také byly zaznamenány sucha, povodně, zvyšování hladiny oceánů a migrace přibližně 10 milionů lidí. V reakci na tyto události se Evropská unie rozhodla do roku 2030 snížit emise o 55 % proti roku 1990. A dále chce dosáhnout uhlíkové neutrality. Do toho patří i příslib zrušení spotřeby fosilních paliv do roku 2050. Spojené státy plánují snížit emise do roku 2030 o 50 až 52 % oproti roku 2005. A stejně jako Evropa dosáhnout uhlíkové neutrality. Japonsko do roku 2030 o 46 % oproti roku 2013. A stejně jako Evropa un. Čína un do 2065. Spojené království do 2030 o 65 % a un 2050 (Moldan, 2021).

### 3.3.3 Vliv vysoké teploty na lidské zdraví

#### 3.3.3.1. Ohrožené skupiny obyvatel

K jednomu z nevíce smrtících extrémů počasí patří vlny veder. Právě ty jsou čím dál častější (Issa et al., 2021).

Proměnlivost a změna klimatu mají stále významnější vliv na zdraví populace. Negativní působení extrémně vysokých teplot je potvrzené v podstatě ze všech částí světa. Nejvíce jich je zaznamenáno během posledních 30 let. Jedno z těch nejznámějších období výskytu vln veder nastalo v Evropě v roce 2003 a způsobilo odhadem okolo 45 000 úmrtí ve 12 státech. Další velká vlna se objevila v roce 2010 v Rusku s odhadem 11 000 obětí. Postupně vznikají strategie, které mají pomoci zmírňovat následky (Moldan, 2021).

Nejvyšší riziko představuje horko pro osoby s kardiovaskulárním a ledvinovým onemocněním, některým respiračními onemocněními nebo cukrovkou. Rizikové skupiny jsou především senioři a dále děti, těhotné ženy, lidé bez domova nebo osoby vykonávající těžkou manuální práci (Guirguis et al., 2018). Důchodci, kteří jsou vyhodnoceni jako nejzranitelnější skupina, by pravděpodobně potřebovali dostat více informací o rizicích spojených s teplem. Většina z nich přes svoje ohrožení nemění svoje chování a na teplo se žádnými opatřeními neadaptuje (Nitschke, 2013). Vyjma této nejrizikovější skupiny, se nárůst počtu úmrtí projevuje také u populace přebývajících v částech měst, které mají velkou míru urbanizace a obzvláště mezi chudými vrstvami obyvatel. Nárůst ohrožení také stoupá při bydlení ve vysokých budovách v horních

bytech (Basu a Samet, 2002; Oudin, 2011). Menší stupeň ohrožení je u obyvatel s klimatizovanými prostory, přítomností zeleně a také u těch, kteří vykonávají pravidelnou fyzickou aktivitu a konzumují při tom dostatek tekutin (Basu a Samet, 2002).

### 3.3.3.2. Reakce lidského organismu na vlny veder

V lidském organismu mohou vznikat dva druhy tepelného stresu. Aktivní tepelný stres, který vzniká při fyzické aktivitě člověka. A druhý druh tepelného stresu je pasivní, ten se objevuje při pobytu v prostředí s vysokými teplotami. Z vln veder vzniká v těle člověka extrémní pasivní tepelný stres, který společně s fyzickou aktivitou působí na levou srdeční komoru. Tato komora pumpuje krev do kůže a tím odvádí teplo ven z organismu. Což je problematické zejména pro starší osoby. Těm se mění funkčnost kardiovaskulárního systému, čímž mohou vznikat potíže s udržení tepového objemu, zvýšení tepelného výdeje a průtoku krve kůží, snížením výdeje potních žláz (Kenney et al., 2014). Na obrázku číslo 3 je patrné, že při výskytu vysokých teplot zaujímají kardiovaskulární příčiny úmrtí velmi vysoké procento z celkového počtu úmrtí. Je tedy zřejmé, že lidé, kteří mají kardiovaskulární potíže, jsou velmi citliví na vysoké teploty (Kaiser et al., 2007). Tepelný stres může také působit na receptory ve svalech žaludku a jiných oblastech centrálního nervového systému (Parsons, 2009). Obecně se riziko kardiovaskulárních onemocnění zvyšuje v souvislosti s rostoucím věkem. Má to spojitost s poklesem schopnosti termoregulace (Basu a Samet, 2002). Často se také vyskytuje pokles výskytu pocitu žízně. Starší osoby, tak přestávají pít dostatečné množství tekutin a vyskytuje se u nich častěji dehydratace (Flynn, 2005). Problémy s termoregulací nemusejí být spojené pouze s faktorem samotného věku, ale také k nim mohou přispívat chronické choroby, a tudíž vyšší frekvence užívání běžných léčiv. K těmto léčivům lze zařadit například antidepresiva či medikamenty řešící problémy se spánkem. Dalším faktorem se může stát zhoršená fyzická kondice a jiné zdravotní obtíže spojené s tělesnou stavbou (Mercer, 2002). Díky celkové dehydrataci těla v extrémních teplotách vzduchu mohou stoupat koncentrace sodíku a draslíku v organismu a tím může docházet k nárůstu viskozity krve a poruchám srdečního rytmu (Flynn, 2005). K dalším vznikajícím potížím, které podporují vysoké teploty, patří zvýšení srdečního výdeje, nárůst množství krevních destiček a červených krvinek a hladiny cholesterolu v krvi (Cheng a Su, 2010). Vysoké teploty také přispívají ke zrychlení průběhu mozkového infarktu nebo ischemické choroby srdeční vedoucí k angině pectoris, ke které když se přidruží trombus (ucpání srdečních tepen) vzniká infarkt myokardu (srdeční infarkt). V souvislosti s vysokými teplotami vzduchu kromě kardiovaskulárních onemocnění dochází k nárůstu respiračních onemocnění. Tyto dva typy onemocnění jsou nejčastější příčinou úmrtí ve vysokých teplotách (Cheng a Su, 2010).

Vlny veder mohou mít vliv na výskyt nejen fyzických, ale také mohou spouštět mentální poruchy, poruchy chování nebo kognitivní poruchy. Studie od Alana Hansen et al. odhalila zvýšení hospitalizací o 7,3 %. K duševním poruchám vyvolaných teplem patřily: demence, poruchy nálady (afektivní), neurotické poruchy, poruchy související se stresem a somatoformní poruchy, poruchy psychického vývoje a senilita. Úmrtnost v souvislosti s teplem a psychickými poruchami je působena především díky přítomnosti schizofrenie, bludů a demence (Hansen et al., 2008).

### 3.3.3.3. Aklimatizace, prevence a opatření

Aklimatizace na teplo jsou behaviorální a fyziologická. Behaviorální zahrnuje zvýšený příjem tekutin a omezení pobytu na slunci. Fyziologická obsahuje schopnost termoregulace a větší kapacitu a vazodilataci, ale hlavní je pocení. Podstatné změny aklimatizace vznikají již po 3 dnech vystavení vysokým teplotám (Parsons, 2009). Pozitivně působící faktory jsou: zdravotní péče, varování a informování veřejnosti, vzdělávání a přístup ke klimatizaci. Následovat by měla doplňující opatření, jako například: více zelených ploch, přístup k chladícím centrům, informování zranitelných jedinců a připravenost na mimořádné události. Pro skupinu lidí vykonávající těžkou manuální práci je několik možných opatření, které by následky tepelné zátěže zmírnili: speciální chladící obleky, aklimatizace na vysoké teploty, zlepšení fitness, ponoření se do studené vody nebo klimatizace (Morris et al., 2020). V San Diegu například vznikají Cool Zones, což jsou zařízení poskytující klimatizované prostory. Dále také produkt Heat Risk, který se snaží minimalizovat důsledky tepla pomocí tvorby plánů a oznámení (Guirguis et al., 2018).

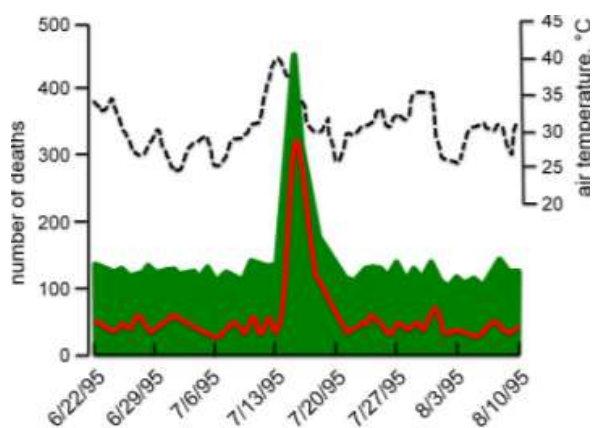
Pro spoustu zemí byly vytvořeny systémy sledování a varování před horkem. Ty vycházejí z meteorologických ukazatelů nebo na pohybu vzduchových hmot. Většina z nich se zaměřuje na 4 nejteplejší měsíce v roce. V budoucnosti se však s velkou pravděpodobností počásí promění. A tyto systémy by se měly přizpůsobit možné přítomnosti horkých vln i mimo ošetřené období. Případně sledované období prodloužit od dubna do října (7 měsíců). Pomoci by také mělo stanovení specifických měsíčních ukazatelů tepla a prahových hodnot, jež by byly založené na údajích o zdraví ze sledovaných období v různých oblastech se specifickými podmínkami (Issa et al., 2021).

Plány zmírňující účinky vysokých teplot musí být účinné. Proto by se měla vyhodnotit jejich účinnost. Bylo by vhodné pro toto hodnocení vytvořit publikaci se spolehlivými metodikami hodnocení. Protože ve vědecké literatuře se této problematice v současné době věnuje jen malý počet autorů (Dwyer et al., 2022).

Studie ze San Diega monitorovala údaje o hospitalizaci pacientů v souvislosti s teplotou okolního vzduchu. Výsledkem bylo zjištění, že lidé žijící na pobřeží jsou citlivější než lidé žijící ve vnitrozemí. U obyvatel z pobřeží byl prokázán dopad na zdraví u nižších teplot. Příčiny hospitalizace byly: onemocnění z horka, dehydratace, akutní selhání ledvin a onemocnění dýchacích cest. Rozdíl v citlivosti na horko spočíval v dostupnosti AC (klimatizace). V oblastech s nižší dostupností AC byl nárůst pacientů 14,6 % (Guirguis et al., 2018).

Ze studie Martineze vyplývá, že riziko úmrtí z horka pravděpodobně postupně klesá. Z různých zdrojů je zřejmé, že dříve stoupající trendy mortality při horkých vlnách nyní upadají. Pokles úmrtnosti je nižší v Japonsku, Austrálii, USA, Španělsku, Irsku, České republice a Spojeném království. Tento současný pokles by, ale mohl být ovlivněný, tím že populace stárne a čím starší populace je, tím je náchylnější na vysoké teploty (Martinez et al., 2019). Míra schopnosti aklimatizace by mimo jiné mohla souviset i s různými klimatickými zónami. Lidé žijící na pobřeží jsou zvyklí na mírné klima. Naopak lidé žijící v údolích a pouštích ve vnitrozemí jsou na vysoké teploty připraveni (Guirguis et al., 2018).





Obrázek 3 Statistika úmrtnosti – data z léta 1995 v Chicagu zobrazují vztah mezi teplotou rostoucí teplotou vzduchu a počtem úmrtí. Úmrtnost značená zelenou je celková. Červená čára označuje úmrtí z kardiovaskulárních příčin a těch v kombinaci s tepelnými příčinami. Oba typy úmrtnosti stoupají v závislosti na teplotě (Kaiser et al., 2007)

### 3.3.4 Teplotní extrém v Evropě

Horké vlny se řadí k nejrizikovějším atmosférickým jevům z hlediska dopadu na lidské zdraví v rámci Evropy a dochází při nich k velkému počtu onemocnění a úmrtí. K obětem patří nejen lidé, ale také zvířata rostliny a celé ekosystémy.

Jednou z největších horkých vln byla ta, která se odehrála v roce 2003. Trvala přes dva týdny. Během této vlny byly pokořeny teplotní maxima, ta v zasažených zemích překračovala 35°C. Největší počet úmrtí byl způsobený přehřátím. Téměř u čtvrtiny obětí bylo prokázáno přičinění CVD (kardiovaskulárního onemocnění). Například ve Francii byl celkový počet mrtvých od 1. do 20. srpna vyšší než 41 000. Tento údaj je však bez rozdílů na příčinách úmrtí. Nejvyšší nárůst v počtu úmrtí oproti průměru se vyskytoval u nejstarších občanů, především v pečovatelských domech. Nárůst se pohyboval u prvních 3 dní po výskytu vysokých teplot mez 4% až 142% oproti průměru (Vandentorren et al., 2004). Také v Itálii byly nejvíce zasaženy skupiny nejstarších obyvatel především ženy. Příčinami byly CVD, onemocnění centrální nervové soustavy a respirační obtíže (Michelozzi, 2005). Údaje sesbírané v Nizozemsku ukazovali, že při převýšení teploty vzduchu nad teplotní optimum o 1 °C v následujícím měsíci vzrostla úmrtnost způsobená CVD o 1,9 %. Teplotní optimum zde bylo nastavené na 16,5 °C, při této teplotě bylo nejméně úmrtí (Huyen, 2001). V oblastech, které jsou na vyšší teploty zvyklé, a tudíž lépe aklimatizované byl počet obětí nižší než u těch, které jsou zvyklé na chladnější podmínky. Dohromady bylo v létě 2003 více než 52 000 obětí, které podlely extrémním teplotám (Larsen, 2006).

Další teplotní extrém, který byl srovnatelný se srpnem 2003, se odehrál během léta 2015. Během tohoto léta se odehrálo několik horkých vln. Vyskytovali se od konce června do poloviny září. Také v tomto roce byla překonána teplotní maxima, hlavně v oblasti mezi východem Německa a západní částí Ukrajiny. Stejně jako v roce 2003 byly tyto teploty vyšší než 35°C. Díky kombinaci extrémního sucha, teploty a minima srážek, byly v některých oblastech dokonce horší podmínky než v létě 2003 (Sippel et al., 2016).

Léto 2018 se vyznačovalo především výjimečně dlouhým obdobím s vysokými teplotami již od dubna a trvajících až do října. Díky tomu se navyšovaly maxima teplotních průměrů a dny s maximální teplotou  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ . Avšak léto roku 2018 není na

rozdíl od roku 2015 srovnatelné s rokem 2003. Dopad byl patrný hlavně v severovýchodních státech Evropy, ale také v Nizozemsku, Německu, Švýcarsku, Rakousku a Itálii (Hoy et al., 2020).

Následující rok se objevily dvě samostatné horké vlny v červnu a v červenci. Zasáhly západ Evropy, tedy Francii, Belgie, Nizozemsko, západ Německa a severovýchod Španělska. Postižená oblast byla velice podobná té z roku 2003. Horké vlny měli sice krátký charakter, ale také velkou intenzitu, takže byla překonána dosavadní teplotní maxima (některá z roku 2003) (Sousa et al., 2020).

### 3.4 Charakteristika studovaného území

#### 3.4.1 Základní údaje o České republice

Česká republika je stát, který se nachází ve středu Evropy. Stát díky uplatňování demokratického politického systému patří k velmi rozvinutým zemím světa. Zaslouhou tohoto systému nevznikají tak výrazné rozdíly v životní úrovni jednotlivých vrstev obyvatelstva. Dalším pozitivem je nízký index ekologické stopy, jež by se mohl zapsat jako důsledek dobrého přístupu k informacím a bezplatnému vzdělávání na školách mimo jiné i v oblastech týkající se ekologie a ochrany přírody. Tento stát má rozlohu 78 870 km<sup>2</sup>. Nachází se ve vnitrozemí. Dle posledního údaje zveřejněného organizací Český statistický úřad, jež je zodpovědný za sčítání lidu a další statistiky, byl k datu 30. září 2022 počet obyvatel 10 526 937 (Adam, 2006; CZSO, 2022).

České podnebí je mírné. Je na rozhraní kontinentálního a oceánického typu. V této oblasti se střídají čtyři roční období, která jsou charakteristická rozdílným rozpětím teplot a výskytem srážek a frontálních systémů. Převládá zde západní proudění a intenzivní cyklonální činnost. Nejvýznamnějším vlivem na stav počasí mají vliv nadmořská výška a reliéf (Adam, 2006).

Lesní plochy zaujímají podstatnou část území České republiky. Tvoří zhruba 33 % z celé její rozlohy. Typické druhy českých lesů jsou buk, dub, jedle a smrk. V současné době převládá porost smrku, který ve většině míst výskytu není přirozený. Původně převládaly smíšené listnaté lesy. Tato změna poměru listnatých a jehličnatých lesů způsobuje řadu problémů. Smrkové lesy jsou náchylné na vítr, požáry, parazity, erozi a také neumožňují život druhům závislým na světle (Adam, 2006).

Vodní plochy tvoří jen několik málo procent území. Nejvýznamnější část těchto ploch je tvořena rybníky a uměle vytvořenými nádržemi, zabraná plocha rybníky je velká zhruba 50 000 ha. Mezi největší rybníky patří například Rožmberk, Bezdrev, Velký Tisý, Máchovo jezero, Nesyt nebo Svět. Česko je hlavním evropským rozvodím, jehož toky úmoří do Severního, Baltského a Černého moře. Vodní toky se dělí na 3 povodí: 1. je povodí Labe, které obsahuje 2 největší toky Labe a Vltavu (vlévá se do Labe), a úmoří do Severního moře. 2. je povodí Dunaje s hlavními toky Morava a Dyje. 3. je povodí Odry s hlavními toky Odry a Lužická Nisa. Co se týká jezer je jich v České republice jen malý počet. Nachází se zde například jezera Čertovo jezero, Černé jezero, Plešné jezero, Prášílské jezero, Laka a Chalupské jezírko (Ottovo nakladatelství, 2019).

Podíl lesních a vodních ploch je zásadní v souvislosti se zkoumaným územím především, kvůli jejich ochlazujícímu účinku. Tento účinek je důležitý především, kvůli stále přibývajícím extrémům počasí, jako jsou horké vlny, sucho, ale i extrémní srážky. Co se týká urbánního prostředí, je tento efekt docílen pomocí zařazování zeleně a využívání dešťové vody pomocí adaptačních strategií a plánů (Gartland, 2012). Je tak posílená odolnost vůči klimatickým jevům. Přítomnost zeleně a vodních ploch, totiž díky přirozenému výparu a vytváření stínu ochlazuje své okolí. Snižuje tak vysoké teploty a působí pozitivně pro obyvatele a přítomné živočišné druhy (Pokorný et al., 2019).

### 3.4.2 Úmrtí a faktory s nimi spojené v České republice

Pro celkový přehled jsou v této kapitole uvedeny statistiky týkající se především poslední dekády a proměn v jednotlivých letech se zaměřením na faktory, které mohou ovlivnit úmrtnost během horkých vln (heat waves). Data byla čerpána z webových stránek Českého statistického úřadu (CZSO) a publikace Zemřelí 2020 od Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR (UZIS).

#### 3.4.2.1 Poměr pohlaví v České republice

Početni stavy podle pohlaví jsou zde uvedené kvůli rozdílnosti v počtu úmrtí žen a mužů. Ze statistik vedených UZIS pro Českou republiku by se dalo obecně říci, že vyšší počet úmrtí nastává u příslušníků mužského pohlaví. Naopak ženy mají vyšší střední délku života při narození v řádu let. Rozdíl ve středních délkách života se pohybuje okolo 6 let (CZSO, 2023).

Rok	Počet zemřelých			Střední délka života při narození		
	muži	ženy	celkem	muži	ženy	průměr
1995	58 925	58 988	117 913	69.7	76.7	73.2
2000	54 882	54 119	109 001	71.7	78.4	75.05
2005	54 072	53 866	107 938	72.9	79.3	76.1
2009	54 080	53 341	107 421	74.2	80.3	77.25
2010	54 150	52 694	106 844	74.4	80.6	77.5
2011	54 141	52 707	106 848	74.7	80.8	77.75
2012	54 550	53 639	108 189	75	81	78
2013	55 098	54 062	109 160	75.2	81.2	78.2
2014	53 740	51 925	105 665	75.7	81.7	78.7
2015	55 934	55 239	111 173	75.6	81.5	78.55
2016	54 880	52 870	107 750	76	81.8	78.9
2017	56 442	55 001	111 443	76	81.8	78.9
2018	57 273	55 647	112 920	76.1	81.9	79
2019	57 339	55 023	112 362	76.3	82.1	79.2
2020	66 599	62 690	129 289	75.3	81.4	78.35

Tabulka 1 Počet zemřelých a střední délka života rozdělené na pohlaví (zdroj: UZIS, 2023)

Roky	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Počet obyvatel k 31. 12. (v tis. osob)</b>	10 505	10 516	10 512	10 538	10 554	10 579	10 610	10 650	10 694	10 702	10 517
muži	5 158	5 164	5 162	5 177	5 186	5 201	5 220	5 244	5 272	5 275	5 184
ženy	5 347	5 352	5 350	5 361	5 368	5 378	5 390	5 406	5 422	5 427	5 333

Tabulka 2 Početní stavy dle pohlaví (zdroj: CZSO, 2023)

Z tabulky zobrazující početní stavy jednotlivých pohlaví je viditelné, že v Čechách pobývá více žen než mužů. Kdyby byla úmrtnost vyrovnaná, vyšší počet úmrtí by měly

ženy, protože jejich stavy jsou početnější než u mužů. Ale podle těchto výsledků Českého statistického úřadu je vidět, že muži umírají dříve a proto jich je menší počet (CZSO, 2023).

#### 3.4.2.2 Věkové rozpětí úmrtí v České republice v letních měsících

Z tabulky s počty úmrtí během letních měsíců s rozdělením na jednotlivé věkové skupiny, což zahrnuje 22. až 35. týden v roce, je patrné že nejvyšší počty úmrtí čítají věkové kategorie s nejstaršími obyvateli. Mezi lety 2012 až 2014 je to skupina 75 až 84 let. V období mezi lety 2015 až 2020 je to skupina s obyvateli staršími 85 let. A v posledních dvou letech 2021 a 2022 je to opět skupina 75 až 84 let. Což by mohl být důsledek Covidu-19. Na ten již v roce 2020 zemřelo 10 539 osob. A v roce 2021 se počet úmrtí zdvojnásobil. Konkrétně to tedy bylo 25 455 úmrtí způsobených Covidem-19 a dalších 25 040 úmrtí na Multisystémový zánětlivý syndrom související s onemocněním Covid-19. Naopak nejnižší počty úmrtí mají děti mladší než 14 let a dále náctiletí a dospělí ve středním věku. U seniorů už zvyšování věku pozitivně koreluje s počtem úmrtí. Tyto trendy jsou patrné i mimo letní měsíce (CZSO, 2023).

Roky	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022*
Počet úmrtí během letních měsíců (22. až 35. týden)	27440	27638	27092	28141	27116	27093	28338	28737	29065	27877	29184
věk 0 až 14	115	85	112	142	138	122	116	126	111	113	127
věk 15 až 44	1004	964	870	902	879	894	901	864	863	817	817
věk 45 až 64	5113	4835	4662	4508	4082	4136	4159	4090	4059	3954	3841
věk 65 až 74	5774	6035	6309	6474	6520	6561	6893	6870	7017	6674	6509
věk 75 až 84	8309	8342	7823	8033	7606	7435	7840	8117	8411	8271	9304
věk 85+	7125	7377	7316	8082	7891	7945	8429	8670	8604	8048	8586

\* Předběžné výsledky: rok 2022 a 52. týden roku 2021 (odhad úplnosti: poslední zveřejněný týden (T) 97–98 %, týden (T–1) 98–99 %, týden (T–2) a starší 99–99,5 %).

Pozn.: Číslo týdne odpovídá normě ISO 8601, která je standardně používaná v České republice. První týden v roce je ten, který obsahuje první čtvrtek v roce.

Upozornění: Součet počtů zemřelých za jednotlivé kalendářní týdny roku neodpovídá celkovému počtu zemřelých v daném kalendářním roce.

Tabulka 3 Počet úmrtí během letních měsíců s ohledem na věk (zdroj: CZSO, 2023)

### 3.4.2.3 Nemoci související s vysokými teplotami v České republice

Tabulka s počty úmrtí způsobených nemocemi souvisejícími s teplem zahrnuje onemocnění týkající se kardiovaskulární soustavy (CVS), dýchací soustavy a také duševní poruchy a poruchy chování. Negativní účinek tepelných vln, jichž se tato práce týká, může přispívat ke zhoršování příznaků přímo. Je ale také možné že na onemocnění nepůsobí teplo jako takové, ale stres z něho vznikající. Projevy duševní nepohody může podpořit nedostatek spánku, kvůli extrémním teplotám. Nedostatečný čas ve spánku může ovlivňovat lidské jednání, kdy následují impulzivnější reakce a silnější prožívání nepohody (Centnerová, 2000).

	Česko - CZ										
	<b>Celkem</b>	<b>108 189</b>	<b>109 160</b>	<b>105 665</b>	<b>111 173</b>	<b>107 750</b>	<b>111 443</b>	<b>112 920</b>	<b>112 362</b>	<b>129 289</b>	<b>139 891</b>
MKN (1993)	Název	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>IX</b>	<b>Nemoci oběhové soustavy (I00-I99)</b>	<b>53 046</b>	<b>51 731</b>	<b>48 627</b>	<b>50 969</b>	<b>47 611</b>	<b>49 346</b>	<b>48 792</b>	<b>47 393</b>	<b>51 299</b>	<b>47 873</b>
I10	Esenciální (primární) hypertenze	1 149	1 127	1 022	1 113	1 358	1 390	1 364	1 490	2 039	1 975
I15	Sekundární hypertenze	16	18	16	15	18	12	15	12	15	14
I21	Akutní infarkt myokardu	6 305	6 190	5 317	4 856	4 531	4 563	3 989	3 793	3 642	3 392
I22	Pokračující infarkt myokardu	209	199	159	128	142	144	-	-	-	-
I24	Jiné akutní ischemické choroby srdeční	334	354	449	423	341	356	528	428	472	317
I46	Srdeční zástava	657	435	679	745	553	708	1 147	1 143	1 276	343
I50	Selhání srdce	4 480	3 137	3 045	3 818	4 557	5 123	5 499	5 477	6 728	6 543
I63	Mozkový infarkt	2 996	2 955	2 804	2 740	2 720	2 713	2 712	2 545	2 648	2 495
I64	Cévní mozková příhoda (mrtvice) neurčená jako krvácení nebo infarkt	2 972	2 519	2 114	2 333	1 840	1 636	1 483	1 362	1 216	1 181
<b>X</b>	<b>Nemoci dýchací soustavy (J00-J99)</b>	<b>5 882</b>	<b>6 833</b>	<b>6 210</b>	<b>7 478</b>	<b>7 128</b>	<b>8 067</b>	<b>8 315</b>	<b>8 192</b>	<b>8 290</b>	<b>7 735</b>
<b>V</b>	<b>Poruchy duševní a poruchy chování (F00-F99)</b>	<b>962</b>	<b>1 186</b>	<b>1 210</b>	<b>1 491</b>	<b>1 410</b>	<b>1 733</b>	<b>1 674</b>	<b>1 822</b>	<b>2 023</b>	<b>1 996</b>
X30	Vystavení nadměrnému přírodnímu horku	1	6	1	3	1	4	2	1	1	-

Tabulka 4 Počty úmrtí způsobených nemocemi, které jsou citlivé na vysoké teploty (zdroj: CZSO, 2023)

## 4. Metody

### 4.1 Regrese a lineární modely

Při vytváření statistických modelů, které mají více než jednu proměnnou vysvětlující pro studovanou proměnnou vysvětlovanou, se běžně používá mnohonásobná regrese. Rovnice vyjadřující regresi pro jednu proměnnou vypadá takto:  $EY = \beta_0 + \beta_1 X$  – grafickým znázorněním rovnice přímka. Pro regresi s dvěma vysvětlujícími proměnnými vypadá rovnice takto:  $EY = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$  – grafickým znázorněním je rovina v prostoru. A koeficienty  $\beta$  představují regresní koeficienty. Kombinace písmen  $EY$  je představuje očekávané hodnoty, takže se to netýká přesných změřených hodnot. K oběma typům rovnic lze přidat ještě  $+ \varepsilon$ , což vyjadřuje náhodnou variabilitu. U  $\varepsilon$  se předpokládá, že splňuje určité parametry. K těmto parametrům patří, že to bude proměnná s normálním rozdělením, stálou variancí a střední hodnotou 0. Dále je nutné splňovat předpoklady související s rezidui (chybami). K těmto předpokladům se řadí nutnost splňovat normální rozdělení, nezávislost, homogenní rozptyl a dále je třeba sledovat Cookovi distance (Ty znázorňují vlivné hodnoty a měření. V případě velmi výrazných hodnot odlišných od zbytku měření se výsledek modelu může zcela lišit a je nutné kontrolovat správnost těchto hodnot.). Modely samozřejmě mohou obsahovat více než dvě vysvětlující proměnné. V takovýchto případech lze rovnici, která je vyjadřuje poupravit a vypadá pak takto:  $EY = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \varepsilon$ . Vyjádření  $\beta_i$  představuje regresní koeficienty, které však nemají známé hodnoty. Používáme tedy odhady pomocí parametrů  $b_0$  a  $b_i$ , které získáváme metodou nejmenších čtverců. Pro testování hypotéz o vlivu jednotlivých regresních koeficientů bez závislosti se používají  $t$  – testy. Při potřebě zjištění, zda platí nulová hypotéza pro celý model, což znamená, že ani jedna vysvětlující proměnná nemá významný vliv na proměnnou vysvětlovanou. Je využíván  $F$  – test. Výsledkem  $F$  – testu je tabulka ANOVA, která zobrazí, zda model ne/vysvětluje část variability zkoumané proměnné. Při testování nulových hypotéz je potřeba mít dostatečné množství dat pro jednotlivé proměnné, aby nevycházel chybně signifikantní výsledek. Při nedostatečném množství dat, tak můžeme potvrdit hypotézu, která není správná a výsledky těchto modelů prezentovat jako fakta, která však budou nesprávná. Výsledky lze částečně napravit korekcí, ale u nedostačeného počtu proměnných u velkého souboru dat nepomáhá. K zjištění u jednotlivých proměnných, zda mají významný vliv v modelu, se využívá procesů postupného výběru. Kde se postupně odebírají proměnné, a sleduje se hodnota nevysvětlené variability. V případě že se u žádné proměnné nevyloučí nulová hypotéza, a přesto je celková nulová hypotéza modelu vyvrácena, dochází pravděpodobně k závislosti (korelaci) některých proměnných (Lepšl a Šmilauer, 2016).

V případě, že chceme vysvětlovat závislé spojité proměnné na spojitých proměnných nebo kombinaci spojitých a kategoriálních proměnných, je vhodná lineární regrese. Toto modelování je často využíváno ve vědeckých výzkumech, protože obsahuje celkem rozlehlou oblast statistického modelování. Dále existuje analýza kovariance, u které jsou vysvětlující proměnné kategoriálního typu. Oby tyto typy spadají do GLM (obecné lineární modely). Základní princip je rozložení variability celku do částí, které vysvětlují samostatně proměnné (případně i s jejich interakcemi) a ty, jejichž variabilita nebyla vysvětlena. Speciální případ GLM je analýza kovariance (ANCOVA). Ta se využívá v případě, že testujeme působení kategoriálních proměnných, ale nelze vyloučit vliv kvantitativních proměnných (Lepšl a Šmilauer, 2016).

## 4.2 Zobecněné lineární modely

Zobecněné lineární modely se používají pro rozvoj obecných lineárních modelů. Zkratka používaná pro zobecněné lineární modely je také GLM. Rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že pro vysvětlovanou proměnnou není dostačující předpoklad normálního rozdělení. Řešením tohoto problému je transformace. Transformace, které se mohou použít, jsou logaritmická a odmocninová. Díky transformaci se vysvětlovaná proměnná přiblíží k normálnímu rozdělení. Dalším rozdílem je, že není potřeba u nevysvětlené variability normální rozdělení a lze využít exponenciální distribuce. Předpokládané rozdělení je bráno jen za přibližně normální. Následující zobecnění se týká tvaru zobrazení vztahu mezi vysvětlovanou a vysvětlujícími proměnnými. Pro převod vysvětlujících proměnných je vhodný vzorec  $g(EY) = \eta$ . Písmeno  $g$  označuje spojovací funkci. Tato funkce převádí škálu predikovaných hodnot na lineární. Kombinace písmen  $EY$  je představuje očekávané hodnoty, takže se to netýká přesných změřených hodnot. A druhá strana rovnice  $\eta$  je označovaná u zobecněných lineárních modelů jako lineární prediktor. Podle vybraného typu distribuce se určí takzvaná kanonická funkce, která se vyznačuje optimálními vlastnostmi pro hodnoty, ze kterých je tvořen model. Výjimka, kdy není používána jediná spojovací funkce, je pro gamma distribuci. U gamma distribuce jsou běžně využívány 2 alternativní funkce. Jedna z nich je funkce inverzní ke kanonické funkci. Je vhodná pro vysvětlované proměnné představující relativní poměry. Druhá funkce je logaritmická spojovací funkce a ta je vhodná pro proměnné představující například hmotnost nebo rozměry. V tabulce číslo 5 jsou přehledně vypsány jednotlivé distribuce běžně používané u zobecněných lineárních modelů (Lepšl a Šmilauer, 2016).



Distribuce	Typ vysvětlované proměnné	Rozsah EY	Kanonická spojovací funkce
binomická	relativní podíly (n případů z N), přítomnosti a absence	proměnná je >0 a současně <1	logit: $\log(EY/(1-EY))$ , kde EY je proměnná
Poissonova	počty případů či událostí	kladné či nula	log: $\log(EY)$
gamma	podíly dvou proměnných na poměrové stupnici, hmotnosti, objemy, rozměry	kladné	inverze: $1/EY$
normální	některé typy fyzikálních měření	jakékoliv reálné číslo od $-\infty$ do $+\infty$	identita, tj. EY

Tabulka 5 Běžně používané rozdělení pro zobecněné lineární modely, zobrazující vlastnosti proměnných a kanonické spojovací funkce.

### 4.3 Zobecněné aditivní modely – GAM

Hlavní výhodou aditivních modelů GAM jsou dobrá predikce a flexibilita. A také na rozdíl od lineární regrese a zobecněných lineárních modelů mohou sloužit i pro neparametrické nelineární funkce. U lineárních a zobecněných lineárních modelů lze použít jen parametrické funkce. Nevýhodou je často obtížná interpretovatelnost výsledků. Modely jsou neparametrickým rozšířením GLM modelů. Předpokladem modelů GAM je že výsledek lze modelovat součtem libovolných funkcí každého prvku. Tohoto lze dosáhnout nahrazením koeficientů beta z lineární regrese flexibilní funkcí. Pomocí tohoto nahrazení je umožněno zkoumat nelineární vztahy. Funkce, která je flexibilní, má název spline. Je to komplexní funkce, která umožňuje modelovat nelineární vztahy pro každý prvek. Součtem splinů jsou GAM modely. Výsledný model je velice flexibilní, ale zároveň je stále vysvětlitelný jako lineární regrese.

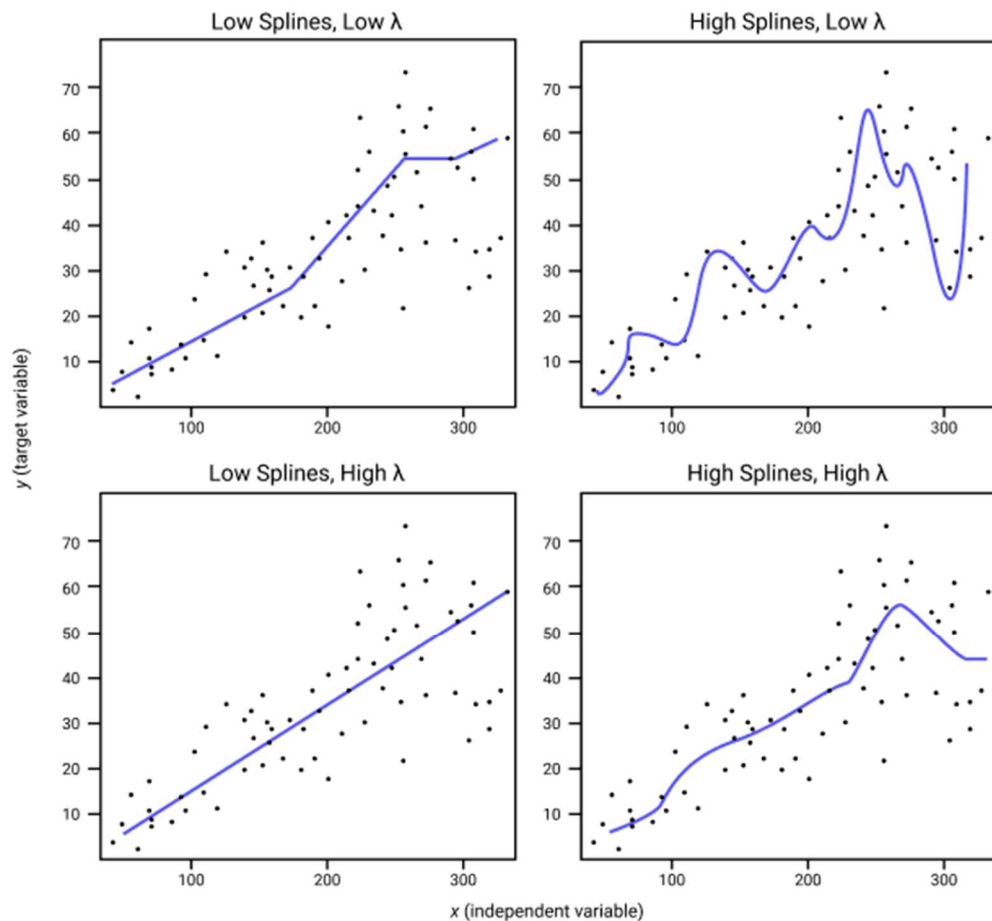
Struktura GAM se může zapisovat vzorcem  $G(E(Y)) = \alpha + s_1(X_1) + \dots + s_p(X_p)$ . V tomto vzorci značí Y závislou proměnnou, E patří predikované hodnotě a G je funkce propojení předchozích dvou hodnot s proměnnými prediktoru (hodnoty X). A písmena  $s_p(x_p)$  vyjadřují zhlazující neparametrické funkce. Tvar predikovaných funkcí je plně určen daty na rozdíl od parametrických, které jsou typicky definovány malou sadou parametrů. Díky tomu vzniká flexibilnější odhad základních vzorců odhadu (Elith et al., 2006; Guisan et al., 2002).

$$s(x) = \sum_{k=1}^k \beta_k b_k(x)$$

Rovnice pro zhlazování modelů je výše. U aditivních modelů se pomocí funkce spline dosahuje většího zhlazení výsledné křivky modelu. Spline je však složité definovat. Jsou to v podstatě polynomické funkce, které pokrývají malý rozsah. Ke snadnějšímu pochopení vztahů mezi proměnnými při použití funkce spline slouží vizualizace. Výsledné vizualizace s použitím této funkce se liší ve vzhledu a mohou



vypadat dokonce lineárně. Jevy, které lze pomocí vizualizace získat se nazývají anglickým názvem wiggleness. Tyto jevy jsou v podstatě kroucení linií. Čím více je použito stupňů volnosti (anglicky splines), tím více bude přibývat i těchto jevů na čarách zobrazujících průběh modelu. Pro to, aby se mohl model zobecnit, je potřeba určit správný počet stupňů volnosti. Počet se dá upravovat pomocí parametru  $\lambda$ , který penalizuje spliny. Čím nižší je tento parametr, tím méně bude docházet k wiggleness. Postupně tak lze dosáhnout rovné linie. Obecně se používá vysoký počet stupňů volnosti s křížovou validací  $\lambda$  GCV pro nalezení modelu, který nejlépe zobecňuje. Další variantou je využití přístupu se smíšenými modely s omezeným maximem věrohodnosti (maximum likelihood) REML. Pro každou proměnnou v modelu se určují hodnoty stupňů volnosti a  $\lambda$  zvlášť. Jednotlivé proměnné tak mohou mít různé hodnoty těchto dvou parametrů. Použití různých parametrů je zobrazeno na obrázku číslo 4. Modely mohou mít rozdílné distribuce (normální, binomická, Poissonova) (Franklin, 2010).



Obrázek 4 Vizualizace použití odlišných hodnot pro počet stupňů volnosti a parametr  $\lambda$  (Franklin, 2010).

## 4.4 Data

### 4.4.1 Zdravotnická data

V analýze byla využita data o denním počtu úmrtí v celé populaci České republiky v období 1982 až 2020. V rámci celého sledovaného období byly k dispozici pouze údaje o celkovém denním počtu úmrtí. Podrobnější členění dle příčiny, pohlaví věku a dalších proměnných je zaznamenáváno teprve od roku 1994. Zdrojem pro práci byla data poskytnutá Českým statistickým úřadem (CZSO) a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR (UZIS). Pro práci byla vybrána hlavně ta data, která se týkala období výskytu horkých vln (heat wave).

### 4.4.2 Meteorologická data

Poskytnutá data monitorovala celkem čtyři dekády, což umožňuje sledování vývoje teplotních změn v průběhu 39 let. A díky rozsahu studovaného období budou pravděpodobně viditelné zásadní proměny. Denní teploty vzduchu, použité pro následnou analýzu, byly určeny průměrem z 12 meteorologických stanic spravovaných Českým hydrometeorologickým ústavem. Tyto vypočítané hodnoty denních teplot reprezentovaly tepelné podmínky v celé České republice (Urban et al., 2017).

### 4.4.3 Definování horkých epizod

V celém období sběru dat ve všech dekáдах byly sledovány teplotní charakteristiky. Pro celou práci byl stanoven jeden monitorovaný parametr teplotního prahu. Den charakterizovaný jako horký definovala teplota, která přesáhla 97,5% percentil. Pozorované dny od května do konce září, byly hodnocené jako horké, když byla průměrná teplota z celého dne vyšší než 22,38°C (97,5% percentil teplot z celého monitorovaného období). Tento práh byl zvolen pro stanovení horkého dne a stejně tak i pro definici horkých vln (heat wave). Vybraný percentil nejlépe charakterizuje dobu, po kterou horko působí, a také výjimečné hodnoty při horkých vlnách (Urban et al., 2020).

Horká vlna byla definována vždy jako dva horké dny, které po sobě následují. Tyto vlny se objevují od května až do konce září, převážně tedy v letních měsících, avšak zasahují i do jara a podzimu. Pro práci jsou prioritní především data z posledních let, kdy se horké vlny začaly objevovat s vyšší frekvencí než v minulosti (Urban et al., 2020).

Při zaměření se na biomedicínské a environmentální studie, je poměrně běžné, že po vystavení se působení faktoru přicházejí účinky až po delším časovém úseku. Tento časový úsek může trvat pár hodin nebo také spoustu let. Časové období výskytu fyziologické reakce závisí na procesech kombinujících časový úsek vystavení se faktoru a výsledný zdravotní stav. Tento problém se stává ještě složitějším v případě, kdy je působení faktoru z hlediska času dlouhodobé a výsledný zdravotní stav je dán kombinací více událostí s rozdílnou intenzitou působení v minulosti. Jev zpožděného účinku teploty je často zkoumán v souvislosti s chronickým zatížením environmentálními faktory, užíváním drog nebo pobytu v místech, kde se vyskytují karcinogenní látky (Gasparrini, 2013). Z toho důvodu byl v této práci použit prodloužený účinek horkých vln, který zachytil opožděný vliv horka na úmrtnost. Perioda následující po horkém dni tedy obsahovala vždy 10 dní. Nadměrné úmrtí ve

dnech s prodlouženým účinkem horka bylo následně graficky znázorněno (Urban et al., 2020). Pro tento jev je možné také využít nelineární model s distribuovaným zpožděním (DLNM), který byl vyvinut pro popis vztahu mezi vystavením se faktoru a odezvou zkoumaného parametru v čase (Gasparrini, 2010).

#### 4.5 Použité metody

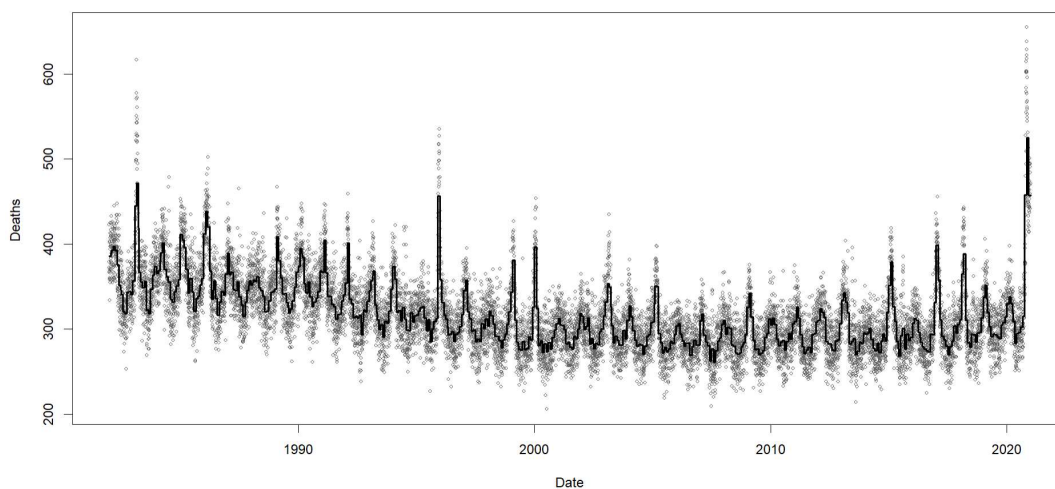
Při statistické analýze byl použit quasi- Poissonův aditivní model. K vytvoření tohoto modelu byl využit program R a v rámci něj balíček s názvem mgcv. Pro odhad trendů sloužily odchylky od základní úmrtnosti ve vytvořeném modelu. Pro stanovení odchylek bylo nutné poskytnutá data ošetřit o vliv faktorů charakterizujících dlouhodobé změny počtu úmrtí v čase. Jako proměnné pro ošetření tohoto jevu byly zvoleny dlouhodobý trend úmrtnosti (počet dní) a sezónní (měsíční) chod. Pro vykreslení nelineárního vztahu mezi teplotou a rizikem úmrtnosti byla navíc použita zhlazující funkce pro průměrnou teplotu vzduchu s pěti stupni volnosti. Následně po vytvoření modelu byla zobrazena struktura sezonní mortality v České republice. A graficky znázorněn vztah mezi vystavením se teplotě a mortalitou. Pro ověření předpokladu, že nejvhodnějším prediktorem je průměrná teplota dne, byla také otestována souvislost mortality a minimální denní teplotou a maximální denní teplotou.

Pro analýzu časových změny rizika úmrtí ve dnech horka, při horkých vlnách a při prodloužení efektu horkých vln o 10 dní byly použity relativní odchylky denních počtů úmrtí od očekávané míry úmrtnosti. Pro porovnání vlivů různě charakterizovaných teplot byl u každého modelu specifikován odlišný vliv průměrných denních teplot, minimálních denních teplot a maximálních denních teplot. A pro srovnání použitého percentilu u teplot byly graficky zobrazeny rozdíly mezi použitím 95% percentilu, 97.5% percentilu a 99% percentilu naměřených hodnot.

## 5. Výsledky

Díky vytvořenému aditivnímu modelu s quasi- Poisson rozdělením, lze pozorovat, jak se měnil počet úmrtí během celého sledovaného období. Tedy můžeme vidět počty úmrtí za celkem 14246 dní od roku 1982 až po rok 2020 v oblasti České republiky. Hlavním prvkem výsledného grafu je černě vyznačená křivka. Ta značí předpokládanou úmrtnost, ze které vycházejí následně počítané odchylky.

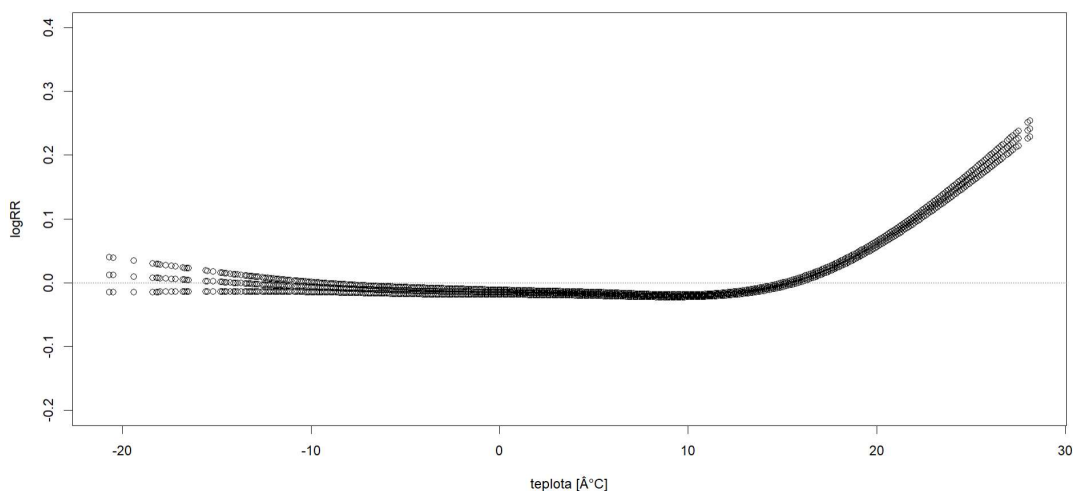
Na struktuře úmrtí je znát, že v průběhu času téměř pravidelně stoupá a klesá podle ročních období. Na obrázku číslo 5 je patrné, že výkyvy v úmrtnosti bylo v tomto období jen několik. Tyto výkyvy se však vyskytovali zejména v chladném období a většinou souviseli chřipkovými epidemiemi. Obzvláště výrazně vysoký počet smrtí je patrný v posledních stovkách monitorovaných dní. Tento extrém souvisí s výskytem koronaviru SARS-Co-2, který způsobil vysoký počet úmrtí. Tento vir však působil téměř výhradně v chladném období a na působení horkých vln, na které je tato práce zaměřená, by tak neměl mít významný vliv.



Obrázek 5 Struktura sezonnosti pro GAM model s quasipoisson rozdělením. Osa x představuje roky měření a osa y představuje počty úmrtí.

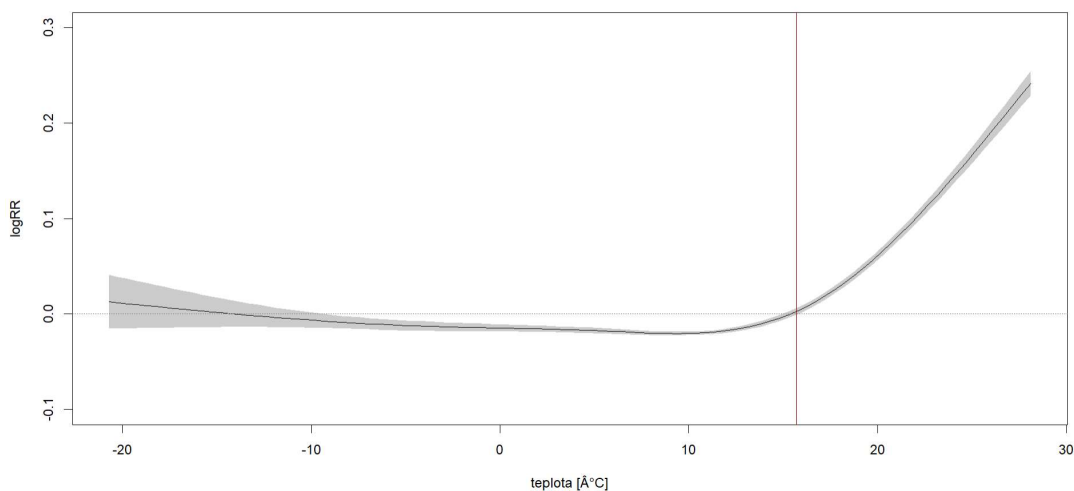
Obrázek číslo 6 je grafickým vyjádřením vztahu mezi působením teploty a rizikem úmrtí. Osa y, nazvaná jako logRR, znázorňuje riziko úmrtí v souvislosti s průměrnou denní teplotou na ose x. Čím vyšší hodnoty je dosaženo, tím více roste riziko úmrtí při teplotě vzduchu. I tento graf byl vytvořen z dat sbíraných v České republice během období 1982 až 2020. Vnější pásy bodů znázorňují intervaly spolehlivosti použité pro použitou funkci. Hraniční teploty byly stanovené v místě, kde dolní hranice intervalu spolehlivosti překročila 0 na ose y.

Podprůměrné riziko představují teploty v rozpětí mezi  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ . Naopak nadprůměrné riziko úmrtí pozorováno pro velmi nízké nebo velmi vysoké teploty. Zároveň je při srovnání rozdílu mezi vlivem velmi nízkých teplot a velmi vysokých teplot zjevné, že nárůst rizika s klesající teplotou je pozvolnější než v případě vysokých teplot. Naopak riziko úmrtí v souvislosti s vysokými teplotami stoupá mnohem strměji. Z toho by se dalo usuzovat, že extrémně vysoké teploty představují větší riziko úmrtí než extrémně nízké teploty. Při sledování zpožděného efektu by se však výsledky mohli lišit. Dalším faktorem by mohli být rychle se měnící teploty v krátkém časovém období.



Obrázek 6 Zobrazení vztahu mezi vystavením se průměrné denní teplotě a rizikem mortality.

V dalším obrázku s číslem 7 je rozvinutý předchozí graf. Je zde přidána hranice teploty, nad kterou je riziko zvýšeného úmrtí významné. Na obrázku je vidět, že rozmezí podprůměrného rizika úmrtí při vystavení průměrným denním teplotám se pro zdraví v České republice nachází zhruba mezi 0°C a 15°C. Hranice významného nárůstu rizika úmrtí nad průměrné hodnoty je lehce nad 15°C. U nízkých teplot je tato hranice okolo -10°C

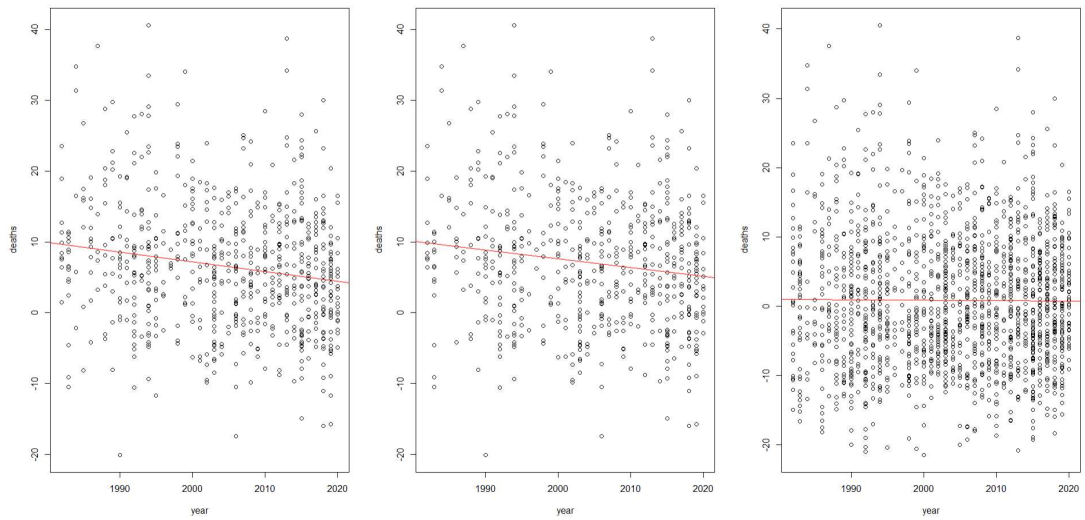


Obrázek 7 Grafické zobrazení hranice vysoké teploty, kdy vzniká riziko úmrtí.

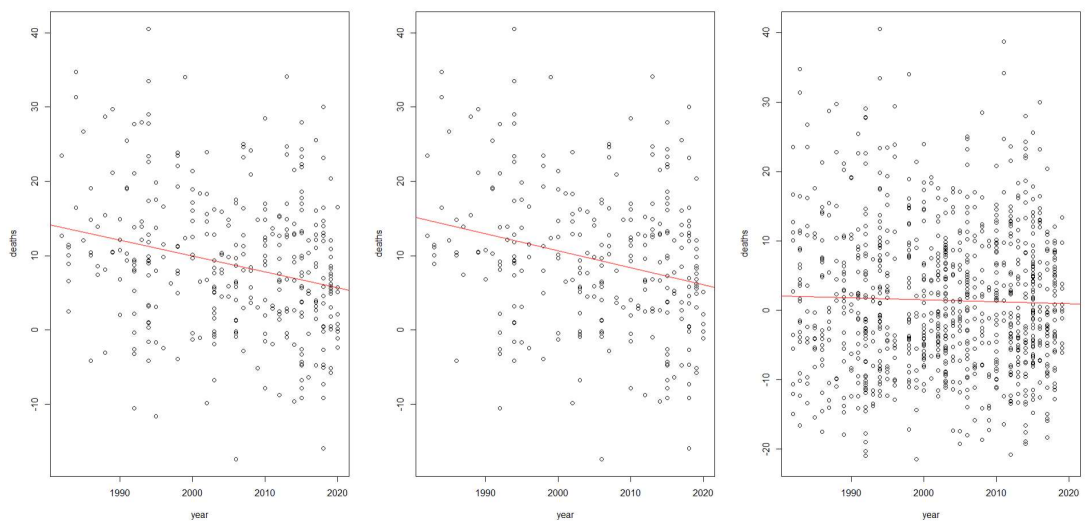
Následné obrázky grafů zobrazují dlouhodobé trendy relativních odchylek úmrtnosti od očekávané hodnoty (obrázek 5) během výskytu horkých epizod v analyzovaném období. A také závislost odchylek úmrtnosti v horkých obdobích na různě charakterizovaných denních teplotách. Charakter teplot je rozdělen na průměrnou denní teplotu (značenou v grafech jako PT), minimální denní teplotu (značenou v grafech jako PN) a maximální denní teplotu (značenou v grafech jako PX). Pro srovnání jsou dále využity různé percentily, které definovaly horké dny, horké vlny a horké vlny s prodloužením následujících deseti dní. Použité percentily jsou 95%, 97.5% a 99%. Grafy byly vytvářeny z lineárních modelů.

Obrázky s čísly 8, 9 a 10 vyjadřují vývoj odchylek úmrtnosti (v grafech osy y nazvané jako death) související s horkými dny (HD), horkými vlnami (HW) a prodlouženými horkými vlnami (HWex) ve sledovaných rocích (v grafech osy x nazvané year). Na první pohled je jasné, že s rostoucím percentilem zobrazovaných hodnot ubývá. U všech definic horkých období je patrný klesající trend odchylek úmrtí v průběhu měření. Nejpodobnější jsou si grafy vytvořené pro prodloužené horké vlny, kde je trend velice mírně klesající při použití všech definic horkých epizod. Tyto trendy se pohybují okolo nuly. Z čehož vyplývá, že se riziko úmrtí příliš nemění, když je brán v potaz zpožděný efekt. U regresních přímek vytvořených pro modelování trendu v průběhu měření při horkých dnech se liší dle použitého percentilu horkých epizod jejich počátky, které se pohybují mezi 10% až 20% relativních odchylek. Počátek u HD určených 95% percentilem teplot je 284,2. Počátek u HD určených 97,5% percentilem teplot je 435,07. Počátek u HD určených 99% percentilem teplot je 459,45 Naopak sklony jsou téměř totožné (-0,13;-0,21;-0,22). U horkých vln lze pozorovat stejné odlišnosti u regresních přímek jako při horkých dnech (počátky pro HW: 258,9;468,8;683,4 a sklony pro HW: -0,13;-0,23;-0,33).

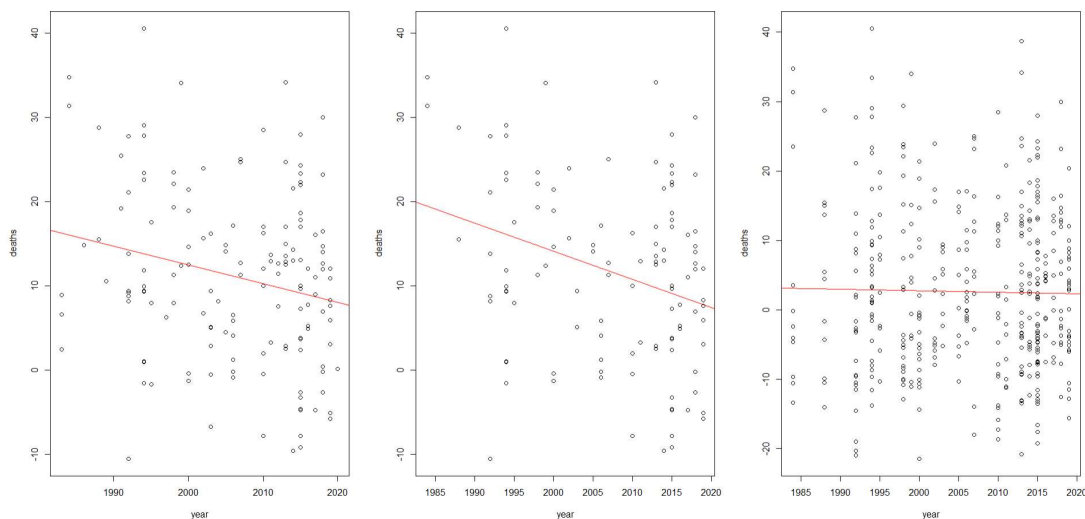
Z výsledků lze usuzovat, že změna definice horkých epizod na základě rozdílných percentilů má vliv na trendy odchylek úmrtnosti u HD a HW. V případě HWex se tento vliv zdá být zanedbatelný.



Obrázek 8 Vývoj nadměrné úmrtnosti v závislosti v na analyzovaném období s použitím 95% percentilu pro stanovení horkých epizod. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodlouženým efektem o deset dní.



Obrázek 9 Vývoj nadměrné úmrtnosti v závislosti v na analyzovaném období s použitím 97,5% percentilu pro stanovení horkých epizod. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodlouženým efektem o deset dní.



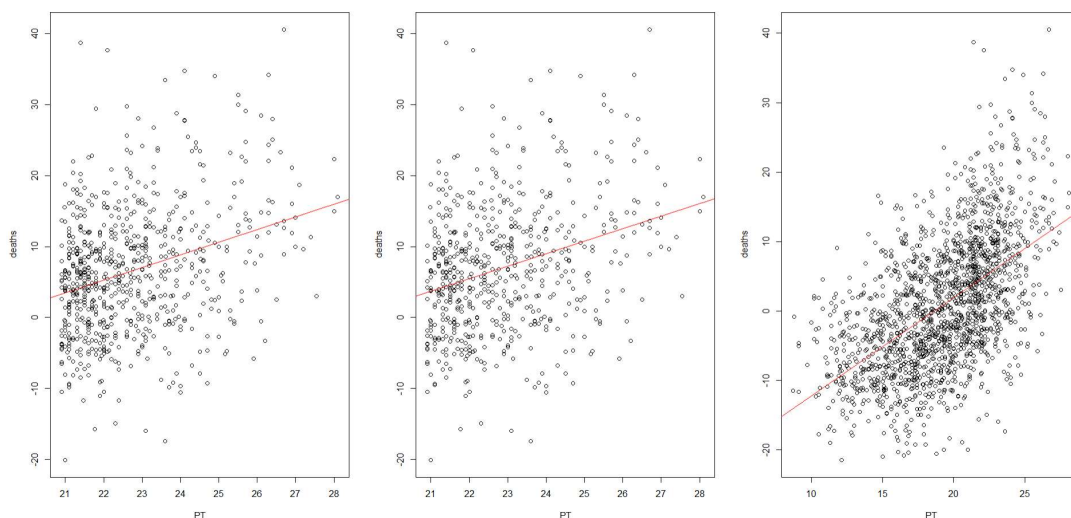
Obrázek 10 Vývoj nadměrné úmrtnosti v závislosti v na analyzovaném období s použitím 99% percentilu pro stanovení horkých epizod. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodlouženým efektem o deset dní.

Obrázky s čísly 11,12 a 13 jsou vyjádřením vztahu mezi relativními odchylkami úmrtí (v grafech osy y nazvané jako death) a průměrnou denní teplotou (v grafech osy x nazvané jako PT).

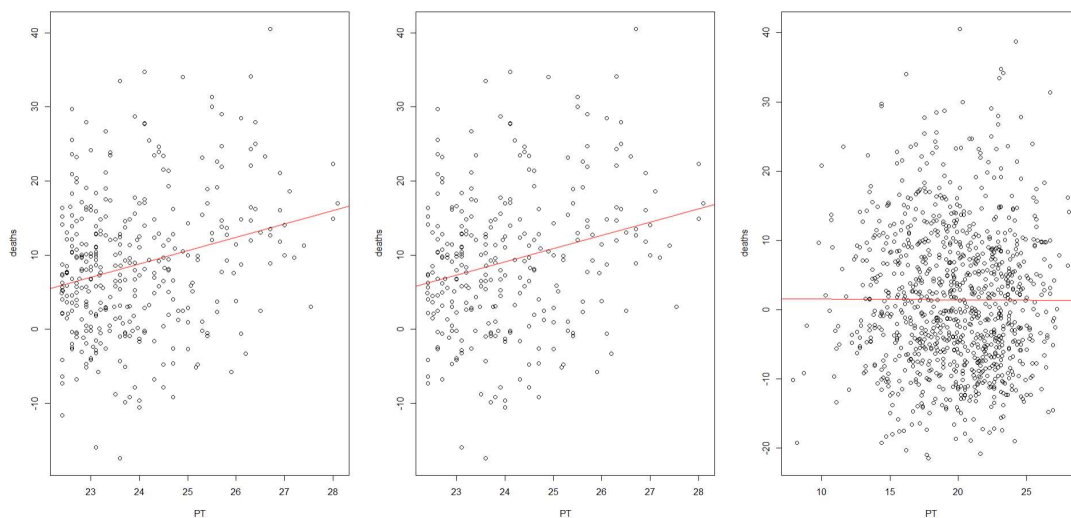
U všech variant percentilů i období, ze kterých jsou brány (teplý den HD, horká vlna HW, i prodloužené období horké vlny HWex), je patrný rostoucí trend počtu úmrtí s teplotou. Co se týká období HD a HW, tak se počátky regresních přímk zvedají od 0% do 10% relativní odchylky úmrtnosti s rostoucím percentilem definujícím horké období. Počátek u HD určených 95% percentilem teplot je -33,99. Počátek u HD určených 97,5% percentilem teplot je -34,2. Počátek u HD určených 99% percentilem teplot je -48,17. Naopak sklony jsou téměř totožné (HD: -1,76;-1,78; -2,35).



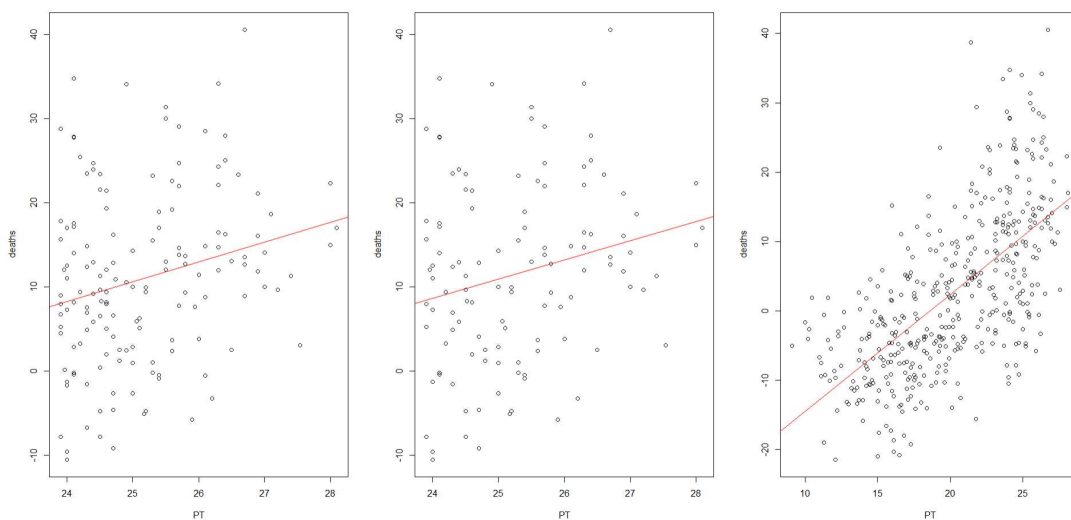
U období HWex je srovnatelné použití 95% a 99% percentilu ke stanovení regresní přímky. Ta má počátek okolo -15% relativní odchylky úmrtí a prudký sklon. Liší se pouze regresní přímka při období HWex definované 97,5% percentilem stanovených horkých epizod. Počátky HW ex dle použitého percentilu ke stanovení teploty – 95% percentil -26,39; 97,5% percentil 1,64;99% percentil 1,69.



Obrázek 11 Srovnání nadměrné úmrtnosti v závislosti na průměrné denní teplotě v horkých epizodách stanovených percentilem 95%. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodloužením o deset dní.



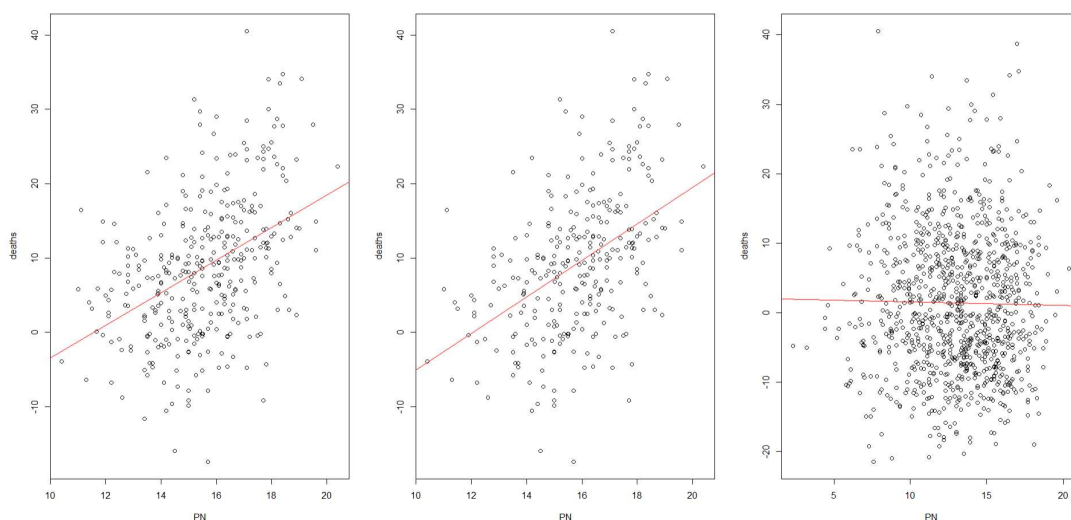
Obrázek 12 Srovnání nadměrné úmrtnosti v závislosti na průměrné denní teplotě v horkých epizodách stanovených percentilem 97.5%. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodloužením o deset dní.



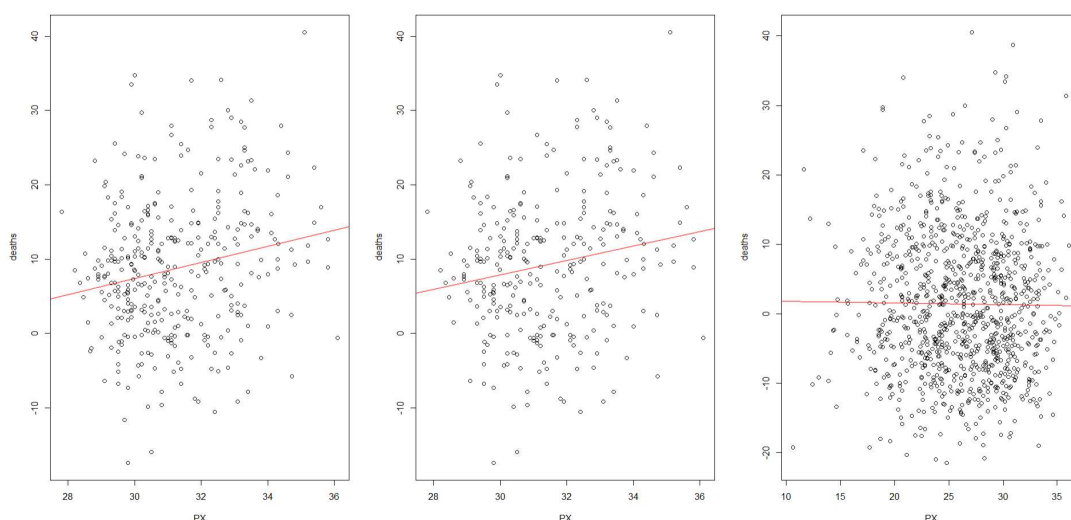
Obrázek 13 Srovnání nadměrné úmrtnosti v závislosti na průměrné denní teplotě v horkých epizodách stanovených percentilem 99%. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodloužením o deset dní.

Obrázky s čísly 12,14 a 15 jsou vyjádřením vztahu mezi relativními odchylkami úmrtí (v grafech osy y nazvané jako death) a denní teplotou. Na obrázku číslo 12 je zobrazen vztah mezi průměrnými denními teplotami (v grafu osa x nazvaná jako PT) a nadměrnými úmrtími. Na obrázku číslo 14 je zobrazen vztah mezi minimálními denními teplotami (v grafu osa x nazvaná jako PT) a nadměrnými úmrtími. A na obrázku číslo 15 je zobrazen vztah mezi maximálními denními teplotami (v grafu osa x nazvaná jako PT) a nadměrnými úmrtími.

Vztahy mezi úmrtími při průměrných teplotách a při maximálních teplotách jsou téměř totožné. Regresní linie u grafů pracujících s minimální denní teplotou jsou odlišné v počátcích při HD a HW a také ve strmějším sklonu. Počátek pro HW u minimálních denních teplot je -34,2 (u průměrné teploty -25,4 a u maximální -25,01). HW ex je u minimálních teplot srovnatelná s ostatními teplotami. Celkově je ale ve struktuře rozložení smrtí minimální rozdíl mezi různou definicí teplot.



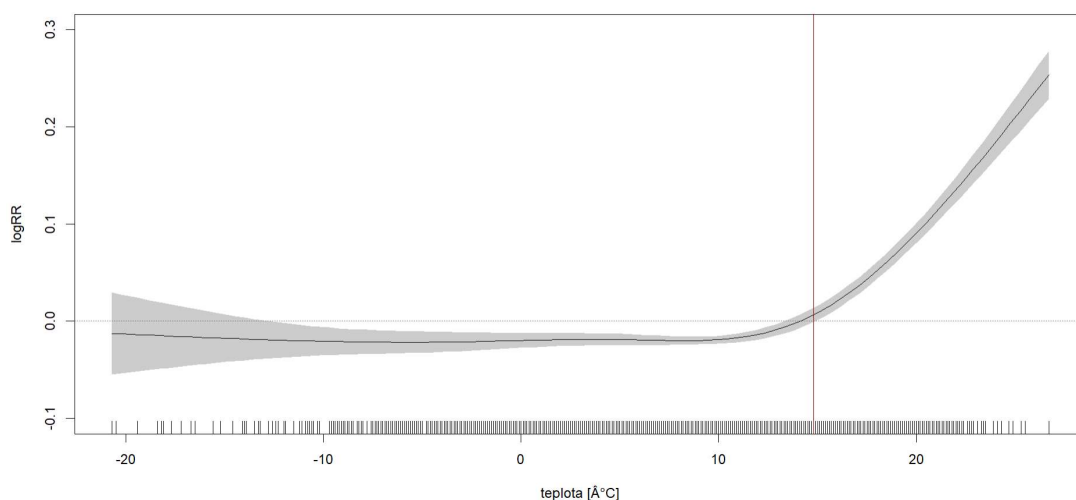
Obrázek 14 Srovnání nadměrné úmrtnosti v závislosti na minimální denní teplotě 97.5%. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodloužením o deset dní.



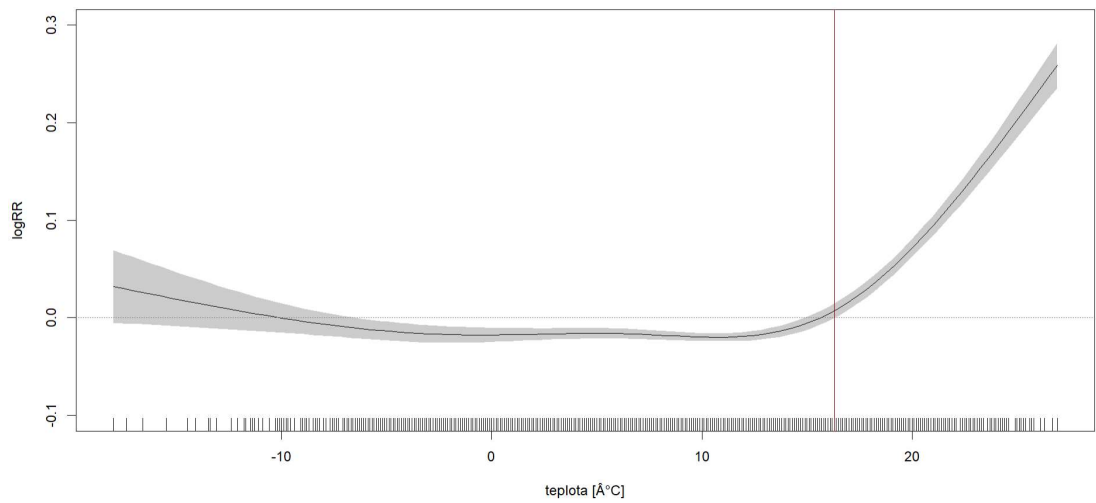
Obrázek 15 Srovnání nadměrné úmrtnosti v závislosti na maximální denní teplotě 97.5%. Grafy zleva: horké dny, horké vlny, horké vlny s prodloužením o deset dní.

Obrázky s čísly 16 až 19 jsou rozvinutím grafu na obrázku číslo 7. Jsou na nich zobrazeny hranice teplot, nad kterými je riziko zvýšeného úmrtí významné v jednotlivých dekádách. Z obrázků vyplývá, že postupem času riziko úmrtí při vysokých teplotách klesalo. Avšak v poslední dekádě míra rizika opět stoupla. V období 1982-1990 bylo podprůměrné riziko úmrtnosti v mínusových teplotách až po hranici okolo 15°C, kdy začínala být úmrtnost nadprůměrná. V období 1991-2000 bylo podprůměrné riziko úmrtí mezi teplotami -10°C a lehce nad 15°C, což byla hraniční teplota pro rostoucí riziko. V období 2001-2010 bylo podprůměrné riziko úmrtnosti v mínusových teplotách až po hranici okolo 16°C, kdy začínala být úmrtnost nadprůměrná. V období 2011-2020 bylo podprůměrné riziko úmrtí mezi teplotami -7°C a okolo 17°C, což byla hraniční teplota pro rostoucí riziko.

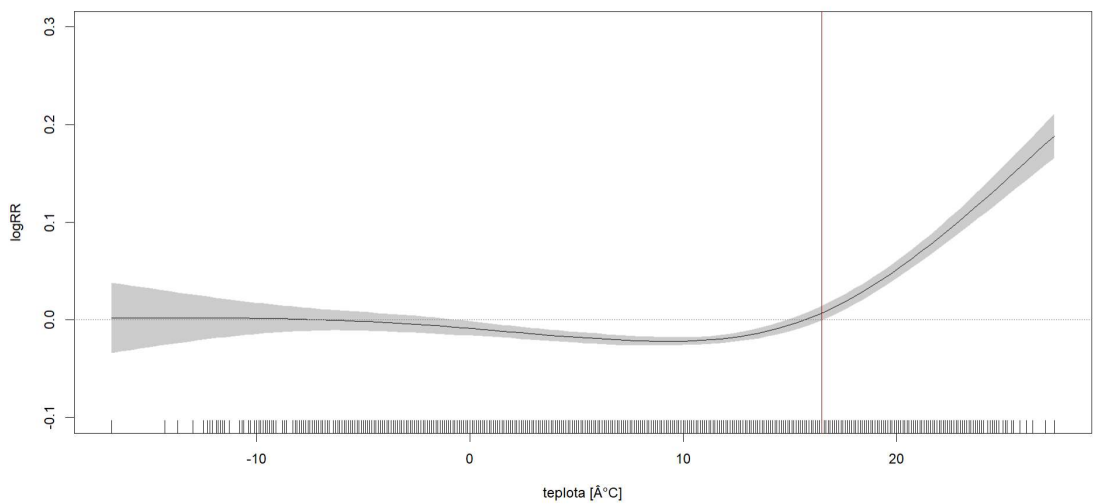
Porovnání jednotlivých dekád také ukazuje posun prahové teploty pro významný nárůst rizika postupem času z 15°C na 17°C. To naznačuje jistou adaptaci společnosti na klima v dané dekádě a posun optimálního rozpětí letních teplot s tím, jak se povolna otepluje klima v Česku. Větší sklon křivky nad prahovou teplotou v poslední dekádě, ale zároveň naznačuje zvýšené riziko úmrtí v nejteplejších dnech.



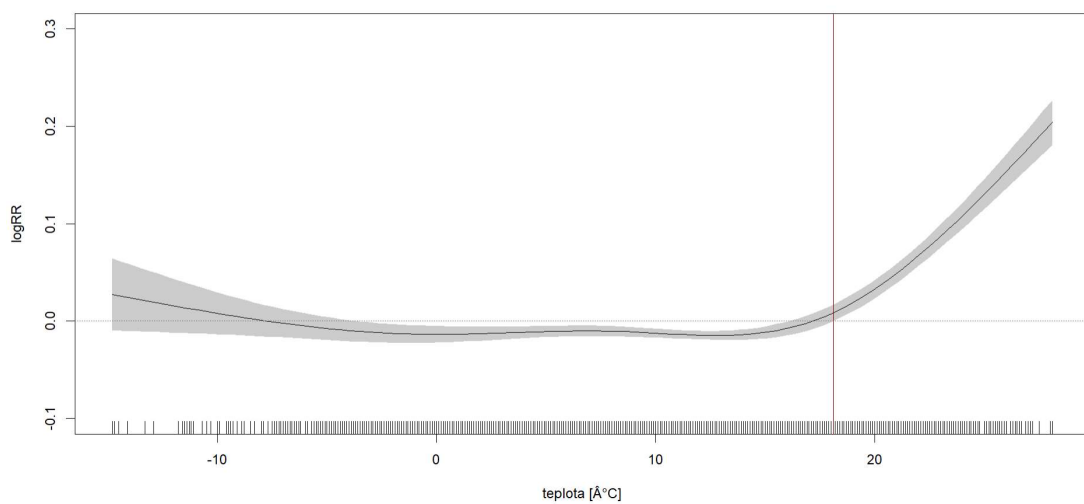
Obrázek 16 Zobrazení vztahu mezi vystavením se průměrné denní teplotě a rizikem mortality v období mezi lety 1982-1990.



Obrázek 17 Zobrazení vztahu mezi vystavením se průměrné denní teplotě a rizikem mortality v období mezi lety 1990-2000.



Obrázek 18 Zobrazení vztahu mezi vystavením se průměrné denní teplotě a rizikem mortality v období mezi lety 2001-2010.



Obrázek 19 Zobrazení vztahu mezi vystavením se průměrné denní teplotě a rizikem mortality v období mezi lety 2011-2020 v letním období.

## 6. Diskuze

V této práci byly zjišťovány dopady vysokých teplot na mortalitu obyvatel v České republice. Data použitá pro analýzy byla z období 1982 až 2020 z celého státu. Byly zde srovnány odlišnosti ve výsledcích při použití různé definice hranice horkých dní a horkých vln. Pro větší úplnost bylo přidáno k horkým vlnám také prodloužení deset dní, aby byl zachycen zpožděný účinek horka na mortalitu. Výsledky se shodují s obecným tvrzením v dalších studiích tohoto typu. A tím je že se dopad horkých vln na lidské zdraví postupně snižuje oproti předchozím dekadám.

Srovnání je zde s dalšími studii prováděnými v České republice, ale i s ostatními státy v rámci Evropy, které mají podobné podmínky. V rámci stejného státu jsou zde uvedené pro srovnání následující výsledky prací.

První zde uvedená studie z České republiky se týká vztahů mezi vlnami veder a úmrtností a hodnotí období od roku 1982 do roku 2000. V rámci práce byla zkoumána nejen celková úmrtnost z přirozených příčin, ale také úmrtnost způsobená kardiovaskulárními potížemi. Sledovaná úmrtnost dosahovala mnohem vyšších hodnot ve dni následujícím po horké epizodě. Konkrétně se tento nárůst pohyboval okolo 13%. Dále byla zjištěna mnohem větší náchylnost lidského zdraví při horkých vlnách na začátku letního období (i o více než 20%). Vyšší citlivost byla také zjištěna u žen. Závěrem tedy bylo, že větší význam mají jiné faktory než adaptace na vysoké teploty (Kyselý, 2004). Další práce byla taktéž zaměřena na rozdílnost dopadů horkých vln v České republice. Tentokrát byly porovnávány roky s horkými vlnami předcházejícími roku 2003. Při porovnání horkých vln v roce 1986 a v roce 2003, byly zjištěny zásadní rozdíly. V roce 1986 měly všechny horké vlny významný vliv na úmrtnost. Ale v roce 2003 se tento jev ve třech případech ze tří nepotvrdil. Přestože tento rok byl dosud nejextrémnější v horkých letních teplotách v Evropě, jejich dopady byly překvapivě nízké. Snížení dopadu horkých vln, bylo pravděpodobně dosaženo pomocí zlepšení zdravotní péče, varovnému systému pro veřejnost a jiných socioekonomických změn. I tato práce potvrdila klesající vliv horkých vln na zdraví, který ale nezpůsobila adaptace lidského organismu (Kyselý a Kříž, 2008). Následující výsledky studie jsou taktéž z České republiky a zde bylo zjišťováno, jestli se dopady na úmrtnost při horkých vlnách snižuje v rámci adaptace lidského organismu na změnu klimatu. Stejně jako ostatní studie potvrzuje klesající dopady horkých vln, přestože se jejich počet a frekvence zvyšuje. Klesající počet dává do souvislosti s aklimatizací obyvatel země. Faktory pro zlepšení jsou zde lepší informovanost veřejnosti a pádem komunistického politického režimu. Závěrem vyplívajícím z této studie je, že větší vliv na reakci organismu na vysoké teploty mají faktory, které se změny klimatu netýkají (Kyselý a Plavcová, 2011). Následující studie z Česka byla zaměřená na vliv teplotních extrémů na mortalitu způsobenou kardiovaskulárními onemocněními (CVD) v období od roku 1994 až do roku 2009. Denní úmrtnost byla sledována zvláště v každém z okresů v republice. Horký den byl charakterizován přesazením 95% percentilu teplot. A byly zde zahrnuty proměnné související s demografickými, socioekonomickými a fyzikálně-environmentálními faktory působícími v okresech. Byl zjištěn významný vliv klimatických podmínek, nadmořské výšky a urbanizace. Naopak vliv socioekonomických podmínek nebyl obecně v populaci výrazný, jen u skupiny znevýhodněných obyvatel. I tato studie uvádí větší významnost odlišných

faktorů než fyziologickou adaptací obyvatel (Urban et al., 2016). Další studie z České republiky z roku 2017 srovnávala mortalitu při horkých vlnách v roce 2015 s předcházejícím výskytem horkých vln v roce 1994. Pro statistickou analýzu byl použit stejný model jako v této práci a také typ dat. Ale horké vlny zde byly charakterizovány odlišně. Rozdíl spočíval v počtu dní charakterizujících horkou vlnu. U této studie byly pro vznik horké vlny použity 3 po sobě následující dny. Oproti tomu v této práci je použito o jeden den méně. Také použitý percentil teplot byl odlišný (u studie 95%, v této práci 97.5%). Výsledky se shodují s touto prací. Dopady horkých vln na úmrtnost se postupem času snižují. Avšak upozorňuje na rozdílný vliv podle intenzity, doby trvání a změnám teplot oproti předcházejícím podmínkám a změny u rizikových skupin obyvatelstva (Urban et al., 2017). Oproti ostatním výzkumům studie z Prahy (hlavního města v České republice) naznačuje zlom klesajícího trendu vlivu extrémně vysokých teplot na mortalitu ve většině regionech světa. Což je důsledkem použití DLNM modelů se zpožděným efektem. V oblasti Prahy byly zkoumána data z období 1982 až 2019 a toto období bylo rozděleno do 4 dekad. Výsledkem bylo, že v roce 2010 dopady horkých letních teplot souvisely s dvojnásobným zvýšením rizika úmrtnosti ovlivněné vysokými teplotami než v minulých dekadách. A díky tomu byl trend vlivu horkých vln na lidské zdraví změněn na rostoucí. Studie tedy závěrem apeluje na neustálý vývoj adaptačních opatření a varovných systémů pro ochranu lidského zdraví před teplem (Urban et al., 2022).

Srovnávání byla prováděna i v dalších státech Evropy, které mají podobné klimatické podmínky jako v České republice. Například vědci z Francie srovnávali stejně jako v práci Kyselého a Kříže vliv vln veder v roce 2003 s těmi, které se vyskytly předtím. Ale zde bylo přidáno i porovnání s následujícími roky, protože byl zřízen varovný systém před horkem. V této studii byl vypočítán predikovaný počet úmrtí v případě, že by dopady byly stejné jako v roce 2003. Po srovnání výsledků bylo zjištěno, že horké vlny v roce 2006 měly o dvě třetiny nižší počet úmrtí. Je zde tedy potvrzen velký vliv preventivních opatření a systém včasného varování před vysokými teplotami (Fouillet et al., 2008). Studie z Itálie v oblasti Florencie byla založená na stejném principu jako ta ve Francii. A zaměřila se na úmrtnost starších obyvatel, konkrétně byli rozděleni do dvou skupin 65-74 let a 75+ let. Účinnost varovného systému na počet úmrtí se prokázala pouze u osob, které překročily věkovou hranici 75 let. Přesto byl však patrný velký význam varovného systému (Morambito et al., 2011). Další výzkum zaměřený na zdraví starších obyvatel, byl prováděn v Anglii. A srovnával dopady vlny veder v roce 2013 s předešlými roky. Stejně jako v ostatních pracích zde byl pozorován nižší vliv horkých epizod než v předcházejících letech. Avšak příčina poklesu dopadů horkých vln zde nebyla nijak řešena (Green et al., 2016).



Jak již výše bylo v několika studiích zmíněno, významný vliv na zdraví obyvatel v období horka mají varovné systémy. A právě na ty se zaměřila studie Lowe et al., (2011). Ta srovnávala systémy včasného varování před vlnami veder a poskytované poradenství pro obyvatele při horkých epizodách. Hledání varovných systémů bylo provedeno celkem u 33 zemí. Jen u 12 z nich byly varovné systémy nalezeny a posuzovány. Všechny si byly hodně podobné, ale nacházely se mezi nimi rozdíly, které by mohli přispět ke zlepšení. Všechny zahrnovaly maximální teplotu, synoptický (vzdušné hmoty) a tepelný (teplota a vlhkost vzduchu) index nebo jiné kombinace teplot a perzistence. Rozdílné mezi jednotlivými zeměmi byly prahy, které byly určeny jako rizikové. Několik zemí měly ve varovném systému zahrnuty i hodnoty znečištění ovzduší. Prostor pro zlepšování varovných systémů, tedy rozhodně je. A přesto, že jednotný varovný systém kvůli klimatickým odlišnostem zavést nelze, by mohlo být vhodné zavést nějakou obecně použitelnou metodiku pro jejich tvorbu.

Dalším významným faktorem pro zdraví obyvatel při horkých epizodách může být rostoucí urbanizace. Dopady horka v Evropě jsou v urbánních oblastech mnohem vyšší. Ve studii z Evropy byl zkoumán původ vzniku tepelných ostrovů. A jejich působení v 70 evropských městech. Vědci si stanovili parametry pro hodnocení zvýšení teploty v tepelném ostrově ve městě oproti jeho okolí a také tepelné zátěže při horkých vlnách. Byla použita data z horkého léta v roce 2006 s měřením povrchové teploty země. Významný vliv na tuto měřenou teplotu měly regionální klima, velikost tepelného ostrova a procento městské zeleně. Byl také zjištěn rozdíl mezi chladnějšími městy v severní části Evropy a městy na jihu. Města s obvykle nižšími teplotami byla více náchylná na horké vlny. Řešením vyšší účinnosti působení horka ve městech by tak mohlo být začlenění zeleně do městských plánů (Ward et al., 2016).

Pro další výsledky a zkoumání vztahu mezi mortalitou a horkými vlnami by k této práci mohli být přidány i jiné sledované proměnné, jako je to třeba u studií Kyselého a Urbana (2017). Například by to mohli být rychlé změny teplot v krátkém časovém úseku nebo pohlaví, věk a onemocnění způsobující úmrtí při horkých vlnách. Dalším sledovaným faktorem zahrnutým do statistických analýz by mohl být růst urbanizace a podíl zelených ploch. Co se týká zelených ploch, mohly by se počítat, jak ty co jsou celkově v republice, tak i ty které jsou v rámci zastavěných oblastí (Ward et al., 2016). Pro úplnost by mohlo být přínosné rozebrat varovné systémy před vysokými teplotami v České republice (Lowe et al., 2011). A také by se mohla rozebrat různá adaptační opatření, která jsou vytvářena jak celkově pro republiku tak i pro jednotlivé kraje a města. Například to je Národní akční plán adaptace na změnu klimatu připravovaný Ministerstvem životního prostředí, který je v souladu s Adaptační strategií EU (MŽP, 2023).

## 7. Závěr

Pro výsledky v této práci byla použita data z České republiky získaná z období let 1982 až 2020 (tedy 39 let). Pomocí quasi-Poisson aditivního modelu byla zobrazena struktura úmrtnosti v průběhu celého monitorovaného období. Ve výsledném grafu je patrný trend, kdy počty úmrtí pravidelně během let stoupají a klesají. Je v něm viditelných několik velmi vysokých hodnot, které vybočují z řady, ale tyto hodnoty se týkají zimního období, které není předmětem zkoumání. Díky tomuto modelu byl také získán graf zobrazující hraniční hodnotu, nad kterou významně narůstá riziko úmrtí v důsledku vysokých teplot. Zjištěná hodnota se pohybuje okolo 15°C. Vztah mezi nárůstem teploty a úmrtností se v jednotlivých dekadách postupem času měnil. Hraniční teplota, kdy vzniká nadprůměrné riziko úmrtí, se posunula z 15°C na 17°C. A počty úmrtí při vysokých teplotách klesaly až do poslední dekadý, kdy znovu začaly stoupat. Následně byly použité lineární modely pro zobrazení dlouhodobých trendů relativních odchylek úmrtnosti od očekávané hodnoty během výskytu horkých epizod. A také závislost odchylek úmrtnosti v horkých obdobích na různě charakterizovaných denních teplotách. V dlouhodobém vývoji nadměrné denní úmrtnosti v průběhu měření byl zaznamenán klesající počet úmrtí. Srovnávány byly vlivy různých denních teplot (průměrná, minimální, maximální). Při vizuálním porovnání výsledných grafů se lišilo použití minimální denní teploty. Regresní linie u grafů pracujících s minimální denní teplotou byly odlišné v počátcích při HD a HW a také ve strmějším sklonu. U vlivu minimálních teplot mohl být počátek přímky protínající data posunut níže, protože nižší teploty mají pozvolněji nastupující vliv. Celkově je ale ve struktuře rozložení úmrtí minimální rozdíl mezi různou definicí teplot. Další srovnání zahrnovalo použití odlišných percentilů (95%,97.5%,99%) pro stanovení horkých epizod. U všech definic horkých období byl patrný klesající trend odchylek úmrtí v průběhu měření, který byl zobrazený v grafech vytvořených z lineárních modelů. U regresních přímek vytvořených pro modelování trendu v průběhu měření při horkých dnech se liší dle použitého percentilu horkých epizod jejich počátky a naopak sklony jsou téměř totožné. Nejpodobnější si byly grafy vytvořené pro prodloužené horké vlny, kde závislost nadměrné úmrtnosti klesá při použití všech definic horkých epizod. Z toho tedy lze usuzovat, že různá definice horkých epizod dle využití percentilů, by mohla být významná pro HD a HW. Ale pro HW<sub>ex</sub> se tento vliv zdá být zanedbatelný.

## 8. Zdroje

### LITERÁRNÍ ZDROJE

Adam J., Ottovy encyklopedie Česká republika. Ottovo nakladatelství, Praha.

Allaby M., 2002: Průvodce světem počasí: [fotografická cesta oblaky]. Slovart, Praha.

Basu R., Samet J., 2002: An exposure assessment study of ambient heat exposure in an elderly population in Baltimore, Maryland. *Environmental Health Perspectives* Volume 110, Issue 12. P. 1219-1224.

Craven G., 2012: Hrozí nám globální oteplování? : průvodce inteligentního laika džunglí veřejné debaty. Prostor, Praha.

Dwyer I., Barry S., Megiddo I., White Ch., 2022: Evaluations of heat action plans for reducing the health impacts of extreme heat: methodological developments (2012–2021) and remaining challenges. *International Journal of Biometeorology* Volume 66, Issue 9. P. 1965-1977.

Elith J., Graham Ch., Anderson R., 2006: Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* Volume 29, Issue 2. P. 129-151.

Esenstein CH., 2021: Klima: nový příběh. Maitrea, Praha.

Fortin F., 2003: Počasie. Fortuna Libri, Praha.

Fouillet A., Wagner V., Laaidi K., Emperreuer-Bissonnet P., Tertre A., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., Crouy-Chanel P., Jouglu E., Hémon D., 2008: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology* Volume 37, Issue 3. P. 309-317.

Franklin J., 2010: Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge.

Fry J., 2012: Počasí a změna klimatu: velká encyklopedie: souhrnný obrazový průvodce. Svojtka & Co., Praha.

Gartland L., 2008: Heat islands. Routledge, London.

Gasparrini A., Bhaskaran K., Hajat S., Smeeth L., Armstrong., 2013: Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology* Volume 42, Issue 4. P. 1187-1195.

Green H., Andrews N., Armstrong B., Bickler G., Pebody R., 2016: Mortality during the 2013 heatwave in England – How did it compare to previous heatwaves? A retrospective observational study. *Environmental Research* Volume 147, P. 343-349.

Guirguis K., Gerschunov A., Cayan D., Pierce D., 2018: Heat wave probability in the changing climate of the Southwest US. *Climate Dynamics* Volume 50, Issue 9. P. 3853-3864.

Hák T., Ouhlejšová A., Janoušková S., 2015: Enviromentální bezpečnost. Ekopress, Praha.

Hoy A., Hansel 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* Volume 40, Issue 15. P. 6315-6336.

Huyen M., Martens P., Schram D., Weijenberg M., Kunst A., 2001: The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Enviromental Health Perspectives* Volume 109, Issue 5. P. 396-403.

Cheng L., Abraham J., Zhu J., Trenberth K., Fasullo J., Boyer T., Locarnini R., Zhang B., Yu F., Wan L., Chen X., Xiangzhou S., Liu Y., Mann M., 2020: Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Advances in Atmospheric Sciences* Volume 37, Issue 2. P. 137-142.

Issa M., Chebana F., Masselot P., Campagna C., Lavigne E., Gosselin P., Ouarda T., 2021: A heat-health watch and warning system with extended season and evolving thresholds. *BMC Public Health* Volume 21, Issue 1479. P. 1471-2458.

Kaiser T., Flenniken M., Young M., 2007: Biodistribution studies of protein cage nanoparticles demonstrate broad tissue distribution and rapid clearance in vivo. *Intenational Journal of Nanomedicine* Volume 2, Issue 4. P. 715- 733.

Kosaris A., 1997: Žít podle počasí. Knižní klub, Praha.

Kenney L., Craighead D., Alexander L., 2014: Heat Waves, Aging, and Human Cardiovascular Health. *Clinical Sciences* Volume 46, Issue 10. P. 1891-1899.

Kyselý J., 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology* Volume 49, Issue 6. P. 91-97.

Kyselý J., Kříž B., 2008: Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response?. *International Journal of Biometeorology* Volume 52, Issue 8. P. 733-745.

Kyselý J., Pokorná L., Kynčl J., Kříž B., 2009: Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Publick Health* Volume 9, Issue 19. P. 1471- 2428.

Kyselý J., Plavcová E., Davidková H., Kynčl J., 2011: Comparison of hot and cold spell effects on cardiovascular mortality in individual population groups in the Czech Republic. *Climate research* Volume 49, Issue 2. P. 113-129.

Larsen L., Harlan S., Brazel A., Prashad L., Stefanov W., 2006: Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine* Volume 63, Issue 11. P. 2847-2863.

Lepšl J., Šmilauer P., 2016: Biostatistika. Nakladatelství Jihočeské university v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Lokotola Ch., Naidoo K., Manyangadze T., 2022: Primary care disaster management for extreme weather events, South Africa. *PHCFM* Volume 14, Issue 1. P. 1-2.

Lowe D., Ebi K., Forsberg B., 2011: Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. *IJERPH* Volume 8, Issue 12. P. 4623-4648.

Martinez G., Linares C., Ayuso A., Kendrovski V., Boeckmann M., Diaz J., 2019: Heat-health action plans in Europe: Challenges ahead and how to tackle them. *Environmental Research* Volume 176. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108548>

Matoušek M., 1983: *Zázraky lidského těla*. Albatros, Praha.

Michelozzi P., Donato F., Bisanti L., Russo A., Cadum E., DeMaria M., Dovidio M., Costa G., Perucci C., 2005: The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *PMID* Volume 10, Issue 7. P. 161-166.

Moldan B., 2021: *Životní prostředí v globální perspektivě*. Karolinum, Praha.

Morabito M., Profili F., Crisci A., Francesconi P., Gensiny G., Orlandini S., 2011: Heat-related mortality in the Florentine area (Italy) before and after the exceptional 2003 heat wave in Europe: an improved public health response?. *International Journal of Biometeorology* Volume 56. P. 801-810.

Morris J., Jay O., Flouris A., Casanueva A., Gao Ch., Foster J., Havenith G., Nybo L., 2020: Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain – an umbrella review of physiological effects and global health perspectives. *Environmental Health* Volume 19, Issue 95. P. 2940- 2964.

Nártl L., 2006: *Země jako skleník: proč se bát CO<sub>2</sub>?*. Academia, Praha.

Nitschke M., Hansen A., Bi P., Pisaneillo D., Newbury J., Kitson A., Tucker G., Avery J., Grande E., 2013: Risk Factors, Health Effects and Behaviour in Older People during Extreme Heat: A Survey in South Australia. *IJERHP* Volume 10, Issue 12. P. 6721-6733.

Oudin A., Bertil F., Joacim R., 2011: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas* Volume 69, Issue 2. P. 99-105.

Robinson P., 2001: On the Definition of a Heat Wave. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* Volume 40, Issue 4. P. 762-775.

Ottovo nakladatelství, 2019: *Ottova obrazová encyklopedie*. Ottovo nakladatelství, Praha.

Pokorný J., Ryplová R., 2019: Opomíjená úloha vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu – sonda znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu. *Envigogika* Volume 14, Issue 1. <https://doi.org/10.14712/18023061.586>

Sippel S., Otto F., Flach M., Oldenborg G., 2016: The Role of Anthropogenic Warming in 2015 Central European Heat Waves. *Bulletin of the American Meteorological Society* Volume 97, Issue 12. P. 51-56.

Slater T., Hogg A., Mottram R., 2020: Ice-sheet losses track high-end sea-level rise projections. *Nature Climate Change* Volume 10, Issue 10. P. 879-881.

Sousa P., Barriopedro D., Herrera R., Odonez C., Soares P., Trigo R., 2020: Distinct influences of large-scale circulation and regional feedbacks in two exceptional 2019 European heatwaves. *Communications earth and environment* Volume 48, Issue 1. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00048-9>

Szabo S., Pramanik M., Pal I., Udmale P., O'Connor J., Sanyal M., Roy S., Sebervari Z., 2021: Twin Disasters: Tracking COVID-19 and Cyclone Amphan's Impacts on SDGs in the Indian Sundarbans. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* Volume 63, Issue 4. P. 20-30.

Turner W., Neutgarten R., Moull K., Martinez N., Andriamaro L., Bernard C., Bonham C., Cano C., Ceotto P., Cutter P., Farrel T., Gibb M., Goedschalk J., Hole D., Honzák M., Kasecker T., Koenig K., Larsen T., Ledezma J., McKinnon M., Mulligan M., 2020: Trends in protected area representation of biodiversity and ecosystem services in five tropical countries. *Ecosystem services* Volume 42, Issue 1. P. 9-13.

Urban A., Burkart K., Kyselý J., Schuster Ch., Plavcová E., Hanzlíková H., Štěpánek P., Lakes T., 2016: Spatial Patterns of Heat-Related Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. *IJERPH* Volume 13, Issue 3. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030284>

Urban A., Hanzlíková H., Kyselý J., Plavcová E., 2017: Impacts of the 2015 Heat Waves on Mortality in the Czech Republic — A Comparison with Previous Heat Waves. *IJERPH* Volume 14, Issue 12. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121562>

Urban A., Kyselý J., Plavcová E., Hanzlíková H., Štěpánek P., 2020: Science of The Total Environment Volume 716. ISSN 0048-9697.

Urban A., Fonseca-Rodrigues O., Di Napoli C., Plavcová E., 2022: Temporal changes of heat-attributable mortality in Prague, Czech Republic, over 1982–2019. *Urban Climate* Volume 44. ISSN 2212-0955.

Valníček B., 2015: Klimatické změny: Milankovičovy cykly, vývoj člověka a rozvoj civilizace v současné době meziledové. Akcent, Třebíč.

Vandentorren, S., Suzan, F., Medina, S., Pascal, M., Maulpoix, A., Cohen, J.-C., Ledrans, M., 2004: Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. *American Journal of Public Health* Volume 94, Issue 9. P. 1518–20.

Vargin P., Schneidereit A., Schubert S., Lunkeit F., Zhu X., Peters D., Freadrich K., 2012: Large-Scale Flow and the Long-Lasting Blocking High over Russia: Summer 2010. *American Meteorological Society* Volume 140, Issue 9. P. 2967–2981.

Vidomus P., 2018: Oteplí se a bude líp: česká klimaskepse v čase globálních rizik. Sociologické nakladatelství, Praha.

Ward K., Lauf S., Kleinschmit B., Endlicher W., 2016: Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of The Total Environment* Volume 569-570. P. 527-539.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

ČMeS, ©2017: Elektronický meteorologický slovník (online) [cit. 2023.02.02], dostupné z <<http://slovník.cmes.cz/>>.

Státní zdravotní ústav, ©2023: Monitoring zdraví a životního prostředí – Souhrnné zprávy monitoringu (online) [cit. 2022.11.15], dostupné z <<https://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/monitoring/souhrnne-zpravy-monitoringu/>>.

CZSO, ©2023: Počet zemřelých – týdenní a měsíční časové řady (online) [cit. 2023.01.12], dostupné z <[https://www.czso.cz/csu/czso/obypz\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/obypz_cr)>.

UZIS, ©2023: Zemřelý 2020 (online) [cit. 2023.01.13], dostupné z <<https://www.uzis.cz/index.php?pg=aktuality&aid=8543>>.

Centnerová L., 2000: Tepelná pohoda a nepohoda (online) [cit. 2022-12-16], dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>>.