

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ  
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Vliv městského prostředí na tepelný komfort**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.**

**Bakalant: Lucie Chlapcová**

**2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Chlapcová

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

**Vliv městského prostředí na tepelný komfort**

Název anglicky

**Influence of urban environment on thermal comfort**

---

### Cíle práce

Cílem práce je zpracovat základní přehled procesů a faktorů, které ovlivňují tepelný komfort v městském prostředí, a na základě rešerše aktuálních poznatků naznačit možnosti snižování negativních účinků městského tepelného ostrova. V praktické části práce bude cílem kvantifikovat vliv vybraných typů městského prostředí (zeleně, vodních ploch) na tepelný komfort na základě měření tzv. pocitové teploty pomocí přenosného přístroje (Kestrel 5400) ve zvolené lokalitě.

### Metodika

Městské prostředí je specifické výraznou členitostí a vysokým podílem umělých povrchů, které zejména v letních dnech absorbují teplo ze slunečního záření více než přirozené (přírodní) povrchy. Rychlý odtok srážkové vody do kanalizací navíc omezuje možnost přirozeného ochlazování prostřednictvím výparu. Výsledkem je zahřívání umělých povrchů a výraznější ohřívání přízemní atmosféry ve městech oproti jejich okolí – tzv. městský tepelný ostrov. Účinky tepelného ostrova mají významný vliv na kvalitu života a zdraví obyvatel ve městech, a to především díky zvýšené tepelné zátěži v letních měsících. Míra tepelné zátěže (jinak také tepelný komfort) lidského organismu je výsledkem celého souboru faktorů. Kromě teploty vzduchu mají významný vliv další meteorologické prvky (vlhkost vzduchu, rychlost větru a sluneční záření), které se mohou výrazně lišit během dne a v závislosti na fyzikálních vlastnostech konkrétní lokality.

**Doporučený rozsah práce**

40 s.

**Klíčová slova**

městský tepelný ostrov, teplota vzduchu, tepelný komfort

---

**Doporučené zdroje informací**

Dobrovolný, P. a kol., 2012: Klíma Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu. Masarykova univerzita, Brno. ISBN: 9788021060296

Epstein, Y., Moran, D. 2006: Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health* 44: 388–398.

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A. 2017: *Urban Climates*. Cambridge University Press, USA. ISBN 978-1-107-42953-6.

Vysoudil, M. 2013: *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie*. Univerzita Palackého, Olomouc.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Konzultant**

Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2020

**doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 18. 06. 2020

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv městského prostředí na tepelný komfort vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 20.06.2020

.....

Lucie Chlapcová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce doc. RNDr. Janu Kyselému, Ph.D. a konzultantovi Mgr. Aleši Urbanovi, Ph.D. za cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych také chtěla poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>2</b>
<b>3 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Klima</b> .....	<b>3</b>
<b>3.2 Meteorologické prvky</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2.1 Teplota</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2.2 Vlhkost vzduchu</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2.3 Rychlost a směr větru</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2.4 Oblačnost</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2.5 Atmosférické srážky</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2.6 Sluneční záření</b> .....	<b>9</b>
<b>3.3 Klima města</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3.1 Mezoklima</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3.2 Místní klima</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3.3 Mikroklima</b> .....	<b>14</b>
<b>3.4 Městský tepelný ostrov</b> .....	<b>14</b>
<b>3.4.1 Cirkulace městského tepelného ostrova</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4.2 Typy městského tepelného ostrova</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4.3 Městský tepelný ostrov Prahy</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5 Indexy tepelné zátěže (sledované v praktické části)</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5.1 Wind-chill index (index ochlazujícího účinku větru)</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5.2 Heat index (index horka)</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5.3 Wet bulb temperature (teplota vlhkého teploměru)</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5.4 Globe temperature (teplota kulového teploměru)</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5.5 Wet-bulb globe temperature (teplota vlhkého kulového teploměru)</b> . 20	

3.6 Tepelný komfort.....	21
<b>4 METODIKA .....</b>	<b>23</b>
4.1 Data .....	23
4.2 Charakteristika studovaného území.....	23
4.2.1 Stanoviště č. 1 a 8 .....	24
4.2.2 Stanoviště č. 2 .....	25
4.2.3 Stanoviště č. 3 .....	26
4.2.4 Stanoviště č. 4 .....	27
4.2.5 Stanoviště č. 5 .....	28
4.2.6 Stanoviště č. 6 .....	29
4.2.7 Stanoviště č. 7 .....	30
4.3 Popis měření .....	30
<b>5 VÝSLEDKY .....</b>	<b>32</b>
5.1 Charakteristika dnů.....	32
5.1.1 Nejteplejší den z hlediska teploty – 27. 6. 2019 .....	33
5.1.2 Nejteplejší den z hlediska Heat indexu a WBGT – 28. 8. 2019.....	33
5.1.3 Nejchladnější den z hlediska teploty, WBGT a Heat indexu – 14. 8. 2019 .....	33
5.2 Zhodnocení rozdílů stanovišť' .....	34
5.2.1 Porovnání stanovišť' na základě průměrné teploty.....	35
5.2.2 Porovnání stanovišť' na základě Heat indexu .....	36
5.2.3 Porovnání stanovišť' na základě WBGT .....	37
5.2.4 Průběh teploty během nejteplejšího a nejchladnějšího dne .....	39
5.2.5 Průběh Heat indexu během nejteplejšího a nejchladnějšího dne .....	40
5.2.6 Průběh WBGT během nejteplejšího a nejchladnějšího dne .....	42
<b>6 DISKUZE.....</b>	<b>44</b>
<b>7 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE .....</b>	<b>48</b>

<b>8 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>49</b>
<b>8. 1 Odborné publikace.....</b>	<b>49</b>
<b>8. 2 Internetové zdroje .....</b>	<b>51</b>
<b>8. 3 Ostatní zdroje .....</b>	<b>52</b>
<b>9 SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>53</b>



## Abstrakt

Tato práce se zabývá vlivem městského prostředí na tepelný komfort člověka.

Cílem práce je popsat základní procesy a faktory, které ovlivňují tepelný komfort v městském prostředí, a na základě rešerše aktuálních poznatků naznačit možnosti snižování negativních účinků městského tepelného ostrova. V praktické části je cílem kvantifikovat vliv vybraných typů městského prostředí (zeleně, vodních ploch) na tepelný komfort na základě měření tzv. pocitové teploty pomocí přenosného přístroje Kestrel 5400 v Praze.

Rešeršní část se zabývá charakteristikou městského klimatu a jeho specifikami. Dále je v práci popsán městský tepelný ostrov a tepelný komfort. V práci jsou také popsány základní meteorologické prvky a konkrétní indexy, které byly v praktické části měřeny.

V praktické části se práce zabývá měřením indexů, které ovlivňují tepelný komfort, pomocí přenosného přístroje Kestrel 5400. Tyto indexy byly měřeny v daném okruhu na osmi stanovištích v Praze. Pro měření bylo vybráno 9 dní v období od června do srpna 2019. Jednotlivá stanoviště se liší různými typy městského prostředí (vodní plochy, parky, zástavby) a data z nich byla vzájemně porovnána.

**Klíčová slova:** městský tepelný ostrov, teplota vzduchu, tepelný komfort

## **Abstract**

This thesis deals with the effect of urban environment on human thermal comfort.

The aim of this work is to provide a basic overview of processes and factors that influence thermal comfort in urban environment and, on the basis of a review of current knowledge suggest possibilities of reducing the negative effects of an urban heat island. In the practical part, the aim is to quantify the influence of selected types of urban environment (green, water areas) on thermal comfort by measuring air temperature and thermal indices using Kestrel 5400 in Prague.

Theoretical part of the thesis deals with urban climate and its specification. It includes also a description of basic meteorological elements and specific indices that were measured in the practical part.

In the practical part the thesis deals with measurements of meteorological variables and indices which influence thermal comfort using Kestrel 5400. These indices were measured in selected places (locations) in Prague arranged into a circuit in Prague. Nine days between June and August 2019 were selected for the measurements. The places differ by types of urban environment (water areas, parks, buildings). Values measured in given places were averaged over time and compared between the locations.

**Key words:** urban heat island, air temperature, thermal comfort

# 1 ÚVOD

V městském prostředí je vysoká koncentrace zástavby a žije zde vyšší počet obyvatel než v jeho okolí. Pro městské prostředí je typický vysoký podíl zpevněných povrchů, které v létě absorbují teplo ze slunečního záření. Zejména v letních měsících dochází k nadměrnému zahřívání umělých povrchů a tím k ohřívání přízemní atmosféry. Díky tomu je městské prostředí obvykle teplejší než jeho okolní venkovská oblast. Tento jev nazýváme městský tepelný ostrov. Problematika městského klimatu a městského tepelného ostrova bude podrobněji popsána v této bakalářské práci.

Městský tepelný ostrov má negativní vliv na tepelný komfort a zdraví člověka. Tepelný komfort je hodnocen subjektivně. Je definován jako pocit, který vyjadřuje spokojenost s tepelným prostředím. Jedinec se cítí pohodlně, pokud mu není příliš teplo ani chladno. Oteplení nebo ochlazení počasí ovlivňuje pocit pohodlí člověka (Oke a kol., 2017).

Existují tři parametry pro osobu, která se cítí pohodlně:

- tělo je v tepelné rovnováze,
- pocení je v mezích pohodlí,
- průměrná teplota kůže je v mezích pohodlí (Epstein a Moran, 2006).

Tepelný komfort ovlivňují meteorologické prvky, zejména teplota, vlhkost, vítr a sluneční záření. Tyto prvky budou blíže specifikovány v rešeršní části této práce.

V praktické části se tato bakalářská práce zabývá vyhodnocením naměřených meteorologických prvků a indexů tepelné zátěže přenosným přístrojem (Kestrel 5400) a na základě toho porovnává vliv vodních ploch, zástavby a zeleně na tepelný komfort v Praze.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem této práce je popsat základní přehled procesů a faktorů, které ovlivňují tepelný komfort v městském prostředí, a na základě rešerše aktuálních poznatků naznačit možnosti snižování negativních účinků městského tepelného ostrova.

Cílem praktické části je porovnat rozdíly teplých a chladných dnů na jednotlivých stanovištích z hlediska průměrných denních hodnot teploty, Heat indexu (indexu horka) a WBGT (teploty vlhkého kulového teploměru). Dalším cílem je zhodnotit průběh nejteplejšího a nejchladnějšího dne z hlediska již zmíněných indexů a následně charakterizovat vliv konkrétních typů městského prostředí (vodních ploch a zeleně) na tepelný komfort na základě měření přenosným přístrojem Kestrel 5400.

## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Klima

Podle obvyklé definice je klima dlouhodobý charakteristický režim počasí, který je podmíněný energetickou bilancí, atmosférickou a oceánskou cirkulací, vlastnostmi zemského povrchu a činností člověka (Kalvová a kol., 2009).

Klima je podmíněno fyzikálními a meteorologickými procesy, kterými jsou energetická bilance, cirkulace atmosféry, aktivní povrch a antropogenní zásahy. Faktory ovlivňující klima lze rozdělit do čtyř hlavních skupin. Výsledkem jejich působení je konkrétní klima území (Munzar a kol., 1989; Rožnovský, 2003).

**Astronomické faktory** souvisí s vlastnostmi Slunce, Země a zemské dráhy. Mezi astronomické faktory patří vlastnosti slunečního záření (vlnová délka a intenzita), sklon zemské osy, tvar Země a parametry oběžné dráhy Země kolem Slunce. Tyto faktory ovlivňují například délku ročních období (Elektronický meteorologický slovník; Ruda, 2014).

**Cirkulační faktory** – do těchto faktorů patří všeobecná cirkulace atmosféry a systém mořského proudění. Všeobecná cirkulace atmosféry ovlivňuje podnebí velkých oblastí (kontinentů a oceánů), zatímco mezo- a mikrocirkulační faktory se projevují v klimatických poměrech menších oblastí. Mořské proudy vytváří rozdíly v teplotním režimu povrchu oceánů a ovlivňují klima rozsáhlých geografických oblastí hlavně kolem pobřeží. Tyto faktory ovlivňují meteorologické prvky po celý rok nebo jen v určité roční době (Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).

**Geografické faktory** zahrnují vlivy:

- zeměpisné šířky – ovlivňuje množství slunečního záření,
- nadmořské výšky – meteorologické prvky se mění v závislosti na nadmořské výšce a jejich dlouhodobý průměr ovlivňuje klima,
- rozložení pevnin a moří – poloha vůči oceánu ovlivňuje míru kontinentality a oceanity klimatu (oceánské klima má vyrovnanější teplotu a srážkové úhrny na rozdíl od klimatu kontinentálního),
- orografie – charakter pohoří podmiňuje vytváření místních klimatických efektů (horské a údolní větry, fén) a způsobuje změnu charakteristik meteorologických prvků,

- charakteru povrchu – rostlinná nebo sněhová pokrývka má vliv na hydrický a teplotní režim (např. les zadržováním vody zvyšuje vlhkost v krajině) (Ruda, 2014).

**Antropogenní faktory** – člověk svým chováním výrazně ovlivňuje klima v měřítku makroklimatu, mezoklimatu i místního klimatu. Neřízené a nekontrolovatelné působení člověka se stalo příčinou globálních klimatických změn. Jedním z faktorů je přeměna přírodních povrchů na zpevněné plochy. V důsledku rozvoje průmyslu a intenzivnějšího využívání infrastruktury roste koncentrace CO<sub>2</sub> a dalších skleníkových plynů (Rožnovský, 2003; Vysoudil, 2013).

## 3.2 Meteorologické prvky

Sledování meteorologických prvků je důležité z hlediska hodnocení klimatu a s tím souvisejícím městským tepelným ostrovem. Meteorologické prvky ovlivňují i indexy, které vyjadřují tepelný komfort člověka.

### 3.2.1 Teplota

Teplota vzduchu je meteorologický prvek, který udává tepelný stav ovzduší. Teplota vzduchu se mění s místem a časem. V nížinách je téměř vždy tepleji než ve vyšších polohách. Ke změnám teploty se změnou místa dochází postupně. Existují i situace, kdy ke změnám teploty dochází během krátkého časového úseku. K tomuto jevu dochází zejména v důsledku přechodů atmosférických front (Munzar a kol., 1989; Aguado a Burt, 2015).

Přístroj, který se používá k měření teploty, se nazývá teploměr. Teplota se měří v meteorologických budkách zhruba dva metry nad zemským povrchem. V těchto budkách se měří maximální denní teplota, minimální denní teplota a teplota změřená v termínech pozorování. Rozdíl mezi maximální a minimální teplotou se nazývá teplotní amplituda. Klimatické termíny pozorování teploty v síti stanic ČHMÚ jsou v 7, 14 a 21 hodin místního času. Průměrná teplota vzduchu se spočítá podle následujícího vzorce:

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4}$$

kde  $t_7$ ,  $t_{14}$ ,  $t_{21}$  udávají teploty v 7, 14 a 21 hodin (Munzar a kol, 1989; Vysoudil, 2013).

Za tropický den můžeme označit den, kdy maximální denní teplota byla větší nebo rovna 30,0 °C. Za den s tropickou nocí můžeme označit den tehdy, pokud minimální teplota byla větší nebo rovna 20,0 °C. Letní den nastane, pokud jeho maximální denní teplota dosáhne 25,0 °C a více (Vysoudil, 2013).

### 3.2.2 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu udává, jaké množství vodní páry je obsažené v daném množství vzduchu (Munzar a kol., 1989).

Existuje několik charakteristik, kterými lze vyjádřit vlhkost vzduchu:

- absolutní vlhkost,
- tlak vodních par,
- měrná vlhkost,
- směšovací poměr,
- relativní vlhkost,
- sytostní doplněk,
- teplota rosného bodu (Lischke a Frank, 1984).

**Kondenzace:** Při kondenzaci dochází ke zkapalnění vodní páry v ovzduší neboli k přeměně vody z plynného skupenství do kapalného. Během tohoto jevu vznikají mikroskopické vodní kapky. Tento jev nastává při dosažení stavu nasycení vzduchu. K nasycení dojde, pokud vzroste obsah vodní páry ve vzduchu nebo pokud se vzduch ochladí na teplotu rosného bodu. Kondenzace je podmíněna také přítomností kondenzačních jader (produkty spalování, prach, pyl a soli), na kterých se sráží vodní pára. Pokud ve vzduchu kondenzační jádra nejsou přítomna, nedochází ke kondenzaci ani při přesycení vzduchu vodní parou. Vzniklé mikroskopické vodní kapky se shlukují do větších kapek nebo do ledových krystalů. Tím dochází ke vzniku mlhy, rosy nebo oblaků (Munzar a kol., 1989; Vysoudil, 1991).

V následujících podkapitolách jsou popsány pouze charakteristiky, které jsou pro tuto práci nejdůležitější.

### 3.2.2.1 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost patří mezi nejčastěji používané způsoby vyjádření vlhkosti vzduchu. Vyjadřuje míru nasycení vzduchu vodní parou a udává se v procentech. Podle známé definice se relativní vlhkost definuje jako poměr mezi skutečným tlakem vodních par a tlakem nasycených par maximálně možným při dané teplotě a tlaku (Oke a kol., 2017).

Vzorec pro výpočet relativní vlhkosti:

$$RH = \frac{e}{e^*} * 100 (\%)$$

kde  $e$  znamená tlak vodní páry a  $e^*$  je tlak nasycených par (Oke a kol., 2017).

Relativní vlhkost vystihuje, jak blízko je vzduch k nasycení při aktuální teplotě. K nasycení dochází, pokud se relativní vlhkost rovná 100 % (Oke a kol., 2017).

Pro měření relativní vlhkosti se používá dilatační vlhkoměr nebo psychrometr (Roth, 2000).

### 3.2.2.2 Teplota rosného bodu

Rosný bod se udává ve °C. Jedná se o teplotu, na kterou by bylo třeba ochladit izobaricky vzduch, aby došlo k nasycení vodní parou (tj. dosažení relativní vlhkosti 100 %). Pokud teplota klesne na hodnotu rosného bodu, dojde ke kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu a vznikne rosa nebo mlha. Čím více obsahuje vzduch vodní páry, tím vyšší je teplota rosného bodu. Jestliže je relativní vlhkost menší než 100 %, je teplota rosného bodu nižší než teplota vzduchu. Rozdíl mezi teplotou rosného bodu a teplotou vzduchu roste, pokud při dané teplotě vzduchu klesá relativní vlhkost (Elektronický meteorologický slovník a Oke, 2017).

### 3.2.3 Rychlost a směr větru

Mezi základní charakteristiky větru patří rychlost a směr.

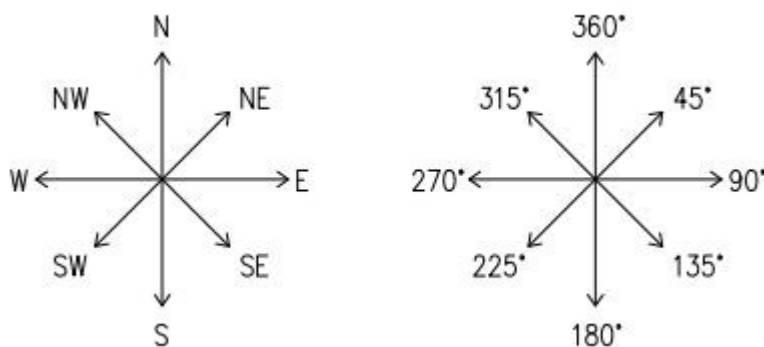
**Rychlost větru** se vyjadřuje v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  nebo v  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Pro její měření se používá anemometr. Pro odhad síly se používá Beaufortova stupnice větru obsahující 13 stupňů. Rychlost větru se na této stupnici pohybuje od  $0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  až po 118 a více  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Každý stupeň má své slovní označení (obr. 1). Rychlost větru se měří v deseti metrech nad povrchem. Pokud je velký tlakový rozdíl, je vítr silnější (Roth, 2000).



Označení	Stupeň	Průměrná rychlost		Rozpoznávací znaky na pevnině
		m·s <sup>-1</sup>	km·h <sup>-1</sup>	
bezvětří	0	0.0 - 0.2	méně než 1	Kouř stoupá kolmo vzhůru.
vánek	1	0.3 - 1.5	1 - 5	Směr větru lze poznat podle pohybu kouře. Vítr však neúčinkuje na větrnou korouhev.
slabý vítr	2	1.6 - 3.3	6 - 11	Listy stromů šelestí, větrná korouhev se pohybuje, vítr jde cítit ve tváři.
mírný vítr	3	3.4 - 5.4	12 - 19	Vítr napíná praporky, listy stromů a větvičky v trvalém pohybu.
dostí čerstvý vítr	4	5.5 - 7.9	20 - 28	Vítr pohybuje slabšími větvemi a zdvihá prach a kousky papíru.
čerstvý vítr	5	8.0 - 10.7	29 - 38	Na stojatých vodách se tvoří menší vlny se zpevněnými hřebeny, listnaté keře se začínají hýbat.
silný vítr	6	10.8 - 13.8	39 - 49	Vítr pohybuje silnějšími větvemi, telegrafní dráty sviští a používání deštníku se stává nesnadným.
prudký vítr	7	13.9 - 17.1	50 - 61	Chůze proti větru je obtížná, vítr pohybuje celými stromy.
bouřlivý vítr	8	17.2 - 20.7	62 - 74	Chůze proti větru je nemožná, vítr ulamuje větve.
vichřice	9	20.8 - 24.4	75 - 88	Vítr způsobuje menší škody na stavbách (strhává komíny, tašky a břidlice ze střech)
silná vichřice	10	24.5 - 28.4	89 - 102	Působí škody obydlím, vyvrací stromy, vyskytuje se na pevnině zřídka.
mohutná vichřice	11	28.5 - 32.6	103 - 117	Působí rozsáhlá zrušení, vyskytuje se velmi zřídka.
orkán	12	32.7 a více	118 a více	Ničivé účinky.

Obr. 1: Beaufortova stupnice větru (*Elektronický meteorologický slovník*).

**Směr větru** se měří větrnou směrovkou nebo směrovým rukávem. Směrovka ukazuje směr, odkud vítr vane. Uvádí se v mezinárodních zkratkách, které vycházejí z anglických názvů světových stran. Dále se směr větru může uvádět také ve stupních (obr. 2) (Roth, 2000; Hakim a Patoux, 2018).



Obr. 2: Světové strany v mezinárodních zkratkách a ve stupních

### 3.2.4 Oblačnost

Kondenzací vodních par dochází ke vzniku oblaků. Oblačnost charakterizuje ráz počasí a nepřímo trvání slunečního svitu. Množství oblačnosti se vyjadřuje stupněm pokrytí oblohy oblaky. V klimatologické praxi se oblačnost udává v desetínách a v meteorologické praxi v osminách pokrytí oblohy. Pokud je jasné počasí, je 0/10 nebo 0/8 oblačnosti. Jestliže je zataženo, máme 10/10 nebo 8/8 oblačnosti (obr. 3) (Munzar a kol., 1989; Kříž a kol., 1994).

Symbol	Oblačnost v osminách	Slovní označení
○ ⊕	0/8 - 1/8	jasno
☉	2/8	skoro jasno
⊕	3/8	malá oblačnost
◐	4/8	polojasno
⊕ ⊙	5/8 - 6/8	oblačno
◑	7/8	skoro zataženo
●	8/8	zataženo

Obr. 3: Vyjádření oblačnosti v osminách (Kříž a kol., 1994).

Rozlišujeme deset hlavních druhů oblaků, které se rozdělují do čtyř základních kategorií.

- I. vysoká (Cirrus, Cirrocumulus, Cirrostratus),
- II. střední (Alto cumulus, Altostratus),
- III. nízká (Nimbostratus, Stratocumulus, Stratus),
- IV. s vertikálním vývojem (Cumulus, Cumulonimbus) (Kříž a kol. 1994).

### 3.2.5 Atmosférické srážky

Atmosférické srážky ovlivňují podnebí a počasí a jsou základní složkou oběhu vody v přírodě. Atmosférické srážky jsou částice vody nebo ledu, které vznikají kondenzací vodní páry v atmosféře a vypadávají z oblačnosti, nebo vznikají na zemském povrchu (Munzar a kol., 1989; Kříž a kol., 1994).

Podle způsobu vzniku dělíme atmosférické srážky na padající a usazené. Druhy padajících srážek jsou: sníh, sněhové krupky, sněhová krupice, sněhové jehličky, námrazové krupky, kroupy, déšť, mrholení a zmrzlý déšť (Munzar a kol., 1989; Kříž a kol., 1994).

**Sníh:** Tvoří ho ledové krystaly, které mají hvězdicovitý tvar. Pokud teplota klesne na  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , začínají se tvořit větší krystaly, které se shlukují do sněhových vloček.

**Sněhové krupky:** Jedná se o neprůsvitná, kulovitá a bílá ledová zrna, která dosahují průměru 2–5 mm.

**Sněhová krupice:** Jedná se o neprůsvitná, malá a bílá ledová zrna, která jsou menší než 1 mm.

**Sněhové jehličky:** Tvoří je sloupkovité, jehlicovité nebo destičkovité krystalky ledu.

**Námrazové krupky** jsou sněhová zrna, která jsou obalená vrstvou ledu a dosahují v průměru 5 mm.

**Krupy** jsou kuličky nebo kousky ledu, které mají průměr 5 mm a více.

**Děšť** tvoří vodní kapky, které mají průměr minimálně 0,5 mm.

**Mrholení** tvoří malé kapky vody, které mají průměr menší než 0,5 mm.

**Zmrzlý děšť** tvoří průhledná, ledová zrna, která vznikají zmrznutím ledových kapek nebo roztátých sněhových vloček. Tato zrna mají průměr menší než 5 mm.

Kondenzací vodní páry na studeném zemském povrchu, na různých předmětech nebo na vegetaci vznikají usazené srážky. Tyto srážky mohou dále vznikat zachycováním kapek mlhy nebo oblaků na překážkách (vegetaci) v proudícím vzduchu. Usazené srážky se dělí na rosu, zmrzlou rosu, jinovatku, námrazu, ovlhnutí, ledovku, náledí a jíní (Kříž a kol., 1994).

Základním meteorologickým přístrojem pro měření atmosférických srážek je srážkoměr. Srážkoměrem se měří srážkové úhrny nejčastěji v 7 hod. ráno místního času jako úhrn srážek za včerejší den. Množství srážek se udává v mm. Intenzita srážek se vyhodnocuje na základě záznamu z přístroje, který se nazývá ombrograf. U atmosférických srážek se může měřit intenzita, množství, druh srážek a jejich trvání (Munzar a kol., 1989; Kříž a kol., 1994; Vysoudil, 2013).

**Srážkový úhrn** je množství srážek, které se naměří za daný den, měsíc nebo rok (Kříž a kol., 1994).

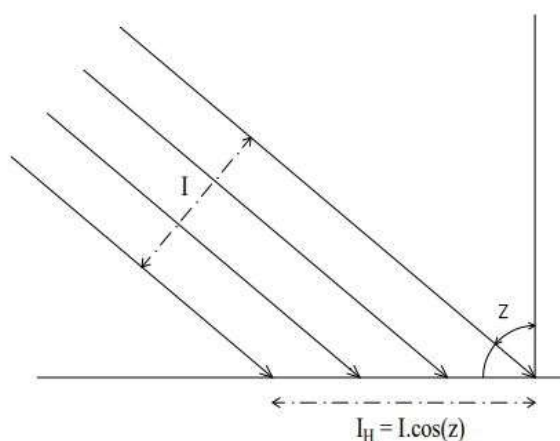
### 3.2.6 Sluneční záření

Sluneční záření je nejdůležitější zdroj energie pro klimatický systém. Ostatní zdroje jako geotermální energie, gravitační energie, kosmické záření či radioaktivní záření tvoří velmi malý podíl celkového zdroje energie pro klimatický systém (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).

Sluneční záření je zářením elektromagnetickým, které je emitováno Sluncem. Vzniká termonukleární fúzí v jádru Slunce, při které dochází ke slučování jader lehčích prvků v jádra prvků těžších, v tomto případě slučování izotopů vodíku za

vzniku helia a neutronu. Záření se šíří planetárním systémem a na Zemi dopadne pouze malé procento – Vysoudil (1991) uvádí, že je to ca  $2/10^9$  z celkového emitovaného záření. Sluneční záření se na Zemi přeměňuje na jiné druhy energií, především na tepelnou (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).

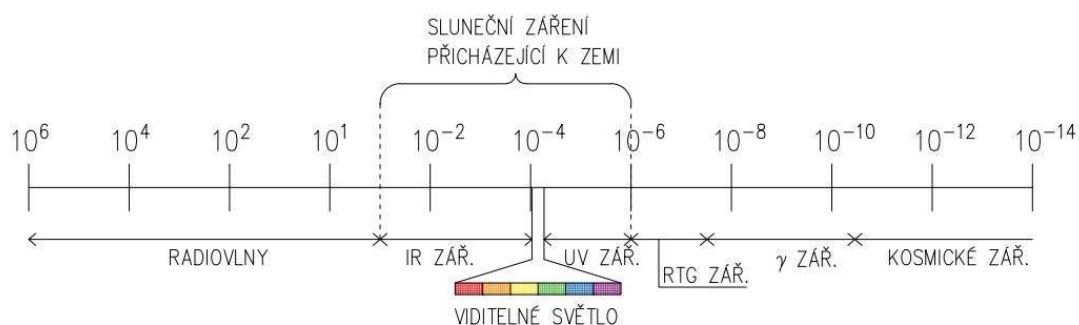
Vzhledem k velké střední vzdálenosti Země od Slunce (1 AU = ca 150 mil. km) se uvažují dopadající paprsky slunečního záření jako rovnoběžné. Intenzita slunečního záření je kvantitativně vyjádřena ve Watech na metr čtvereční [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. Intenzita je definována jako množství dopadajícího slunečního záření na plochu kolmou na směr paprsků. Z důvodu kulovitého tvaru planety Země nedopadá sluneční záření na její povrch většinou kolmo, ale s určitým sklonem v závislosti na zeměpisné šířce a roční a denní době. Plocha, na kterou poté dopadá záření, je větší, tudíž množství záření dopadající na jednotkovou horizontální plochu je menší (viz obr.4). V případě dopadu paprsků na horizontální plochu Země hovoříme o insolaci (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).



Obr. 4: Insolace (Vysoudil, 1991).

Hlavním z parametrů záření je jeho vlnová délka, značená  $\lambda$ . Sluneční záření obsahuje spektrum různých vlnových délek – přibližně od 0,01 nm do 100 $\mu\text{m}$ . V meteorologii se užívá rozdělení na krátkovlnné (0,1 – 4  $\mu\text{m}$ ) a dlouhovlnné (> 4  $\mu\text{m}$ ), pojem dlouhovlnné záření se obvykle vztahuje k tepelnému záření Země. Z praktického hlediska rozdělujeme sluneční záření také na ultrafialové, viditelné a infračervené. Ultrafialové záření je neviditelné a velká část před dopadem na zemský povrch je pohlcena ve stratosféře. Záření viditelného spektra se rozkládá na jednotlivé barvy v závislosti na vlnové délce od fialové až po červenou. Infračervené záření je

nositelem zejména tepla. Rozsah vlnových délek, na kterých je zobrazeno sluneční záření je na obr. 5 (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).



Obr. 5: Spektrum záření. Vlnová délka je uvedena v cm (Vysoudil, 1991).

Při průchodu atmosférou je sluneční záření pohlcováno a rozptylováno. Záření určitých vlnových délek je pohlcováno plyny obsaženými v atmosféře – např. ultrafialové záření kyslíkem a ozonem, infračervené záření mj. oxidem uhličitým. K rozptylu slunečního záření dochází na molekulách a atomech plynů a na aerosolech v atmosféře. Rozptylem dochází k následnému šíření záření všemi směry (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).

Z hlediska energetické bilance lze sluneční záření rozdělit na:

- **přímé** – záření od slunečního disku,
- **rozptýlené** – záření ze všech směrů oblohy,
- **globální záření** – jde o součet přímého a rozptýleného záření,
- **odražené záření** – záření, které se odráží od oblačnosti, vzduchových částic nebo od aktivního povrchu (Vysoudil, 1991; Vysoudil, 2013; Ruda, 2014).

Dlouhovlnné záření (označované také jako zemské) je záření, které je vyzařované aktivním povrchem a atmosférou.

### 3.2.6.1 Sluneční svit

Sluneční svit má dvě základní sledované charakteristiky – dobu trvání a délku.

Doba trvání slunečního svitu vyjadřuje část doby mezi východem a západem Slunce, kdy nebyl sluneční disk zakryt oblačností. Jde o trvání přímého slunečního záření. Během této doby je přímé sluneční záření nenulové (Kříž a kol., 1994; Smolka, 2016)

Délka slunečního svitu vyjadřuje časový úsek, po který dopadá na zemský povrch sluneční záření o určité minimální intenzitě. Obecně je délka slunečního svitu kratší než doba trvání slunečního svitu (Kříž a kol., 1994; Smolka, 2016).

### 3.3 Klima města

Území měst mají specifické městské klima, které se liší od poměrů ve volné venkovské krajině. Městské klima je ovlivněno aktivním povrchem, georeliéfem, antropogenním působením a produkcí odpadního tepla. V důsledku toho vznikají odlišné tepelné poměry ve městě a jeho okolí, které se projevují rozdíly teplot – vyšší teplotou ve městě a nižší v jeho okolí. Tento jev se nazývá městský tepelný ostrov a je nejtypičtějším aspektem městského klimatu. (Dobrovolný a kol., 2012; Vysoudil, 2013).

Městský tepelný ostrov vzniká hlavně díky většímu zastoupení nepropustného aktivního povrchu, převaze vertikálních staveb a produkci antropogenního tepla. Jeho velikost a intenzita závisí na geografické poloze, na počtu obyvatel a na regionálních klimatických poměrech (Vysoudil, 2013). Problematika městského tepelného ostrova je podrobněji popsána v kapitole 3.4.

V hustě zastavěných částech měst je pozorováno vyšší množství polutantů, zejména CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> a prašných částic. Zvýšené koncentrace polutantů snižují propustnost atmosféry, snižují dohlednost a jsou příčinou zvýšeného výskytu mlh. Zastavěná území se vyznačují menším množstvím odraženého krátkovlnného slunečního záření. Naopak se vyznačuje větším vyzařováním dlouhovlnného záření, protože stavební materiály během dne akumulují teplo a v noci ho vyzařují. Městská zástavba snižuje unikání této dlouhovlnné radiace do prostoru a tím přispívá ke zvyšování minimálních teplot. Městské klima je dále charakterizováno nižší rychlostí větru a vyššími srážkovými úhrny (Dobrovolný a kol., 2012; Hejlová a Voženílek, 2015).

**Aktivní povrch** je povrch, na kterém dochází k odrazu slunečního záření a zároveň zde probíhá jeho přeměna na tepelnou energii. Aktivní povrch je významný klimatotvorný faktor. Tvoří ho hydrosféra, biosféra, kryosféra a zemský povrch. Aktivní povrch ve městě tvoří převážně nepropustné povrchy (vozovky a chodníky s asfaltovým a betonovým povrchem, stěny a střechy budov), ale i zelené a vodní

plochy. Nepropustné materiály způsobují rychlý odtok vody, tím dochází ke snížení výparu a snížení vlhkosti vzduchu. Ve městě je zastoupení aktivního povrchu větší než na venkově (Vysoudil, 2013).

Stav městského klimatu výrazně ovlivňuje komfort lidského života. Při zvýšených teplotách dochází ke snížení tepelného komfortu a zvýšení rizik pro lidského zdraví. Teplota vzduchu a její kolísání během dne ovlivňují koncentrace některých polutantů ve vzduchu a tím i kvalit ovzduší (Hejlová a Voženílek, 2015).

Městské klima lze rozdělit podle charakteristických klimatických měřítek do následujících kategorií:

- mezoklima,
- místní klima,
- mikroklima (Oke, 1997).

### **3.3.1 Mezoklima**

Mezoklima je podnebí středního měřítka. Jedná se například o podnebí města. Vertikálně je omezeno horní hranicí mezní vrstvy atmosféry. Horizontálně tato vrstva dosahuje několik jednotek až desítek kilometrů. V tomto měřítku dochází k procesům tření o zemský povrch a k turbulentnímu promíchávání (Munzar a kol., 1989; Dobrovolný a kol., 2012; Elektronický meteorologický slovník).

**Mezní vrstva atmosféry** dosahuje výšky od několika set metrů do dvou kilometrů. V této vrstvě dochází k ovlivnění meteorologických prvků zemským povrchem. Největší mocnosti tato vrstva dosahuje v městském prostředí ve dne za jasného počasí a minimální rychlosti větru. Naopak nejnižší mocnosti dosahuje v noci. Rozdíl v mocnosti této vrstvy mezi městským a venkovským prostředím je největší v noci. Jedním z faktorů, které ovlivňují mocnost této vrstvy, je drsnost povrchu. Spodní část mezní vrstvy atmosféry je tvořena přízemní vrstvou atmosféry (Dobrovolný a kol., 2012).

### **3.3.2 Místní klima**

Místní klima je součástí mezní vrstvy atmosféry. Dosahuje výšky několik desítek metrů (Dobrovolný a kol., 2012). Podle Rožnovského (2014) je místní klima výrazně ovlivňováno charakterem reliéfu, dominujícím typem aktivního povrchu a antropogenním vlivem.

### 3.3.3 Mikroklima

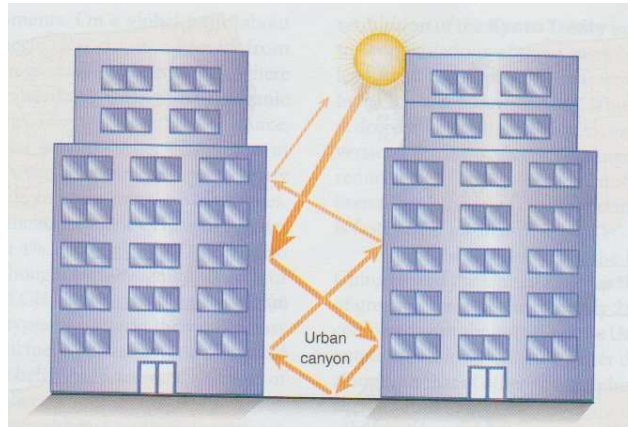
Mikroklima je podnebí velmi malých rozměrů, které je ovlivněno aktivním povrchem. Vertikální rozměr je dán charakterem aktivního povrchu a rázem počasí. Za radiálního počasí (průměrná rychlost větru nižší než  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , oblačnost menší než 2/10) může mikroklima dosahovat výšky až 10 metrů. Naopak za silného proudění se mikroklima nemusí vytvořit vůbec. Jedná se o vrstvu přiléhající k zemskému povrchu. Horní hranice jsou typicky dva metry nad aktivním povrchem a horizontální rozsah je až jeden kilometr. Podnebí mikroklimatu se obvykle výrazně liší od okolního podnebí (Rožnovský, 2003; Vysoudil, 2013).

### 3.4 Městský tepelný ostrov

Městský tepelný ostrov je jeden z příkladů neúmyslné změny klimatu, která je způsobena lidmi. Lze ho popsat jako oteplení města vůči okolnímu venkovu a existují různé faktory, které tyto rozdíly v teplotě způsobují (Oke a kol., 2017; Rohli a Vega, 2018).

Aktivní povrch ve městě tvoří zejména nepropustné povrchy (silnice a chodníky, parkoviště, střechy a stěny budov). Protože beton, cihla a asfalt mají větší tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu než půda a vegetace, tak dochází k větší akumulaci slunečního záření během dne a k jeho pozdějšímu emitování v noci ve formě tepla. Díky nepropustnému povrchu se dešťová voda nevsakuje do půdy, ale odtéká ihned po dešti do kanalizací, což způsobuje snížení výparu. Dále je také v městském prostředí snižena evapotranspirace kvůli řídké vegetaci. Vliv na oteplení města mají také vysoké budovy, které způsobují vícenásobné odražení slunečního záření (obr. 6). Tím dochází ke snížení množství odraženého slunečního záření zpět do prostoru a výsledkem je větší dostupné množství tepla pro ohřev vzduchu nad městem. Rozdíly v teplotě způsobuje dále vysoká koncentrace tepelných zdrojů ve městě, kdy jejich působením vzniká odpadní teplo. Tepelnými zdroji jsou auta, průmysl, klimatizace (spíše v zahraničních městech s velkým počtem obyvatel) a v zimě topení (Moran a Morgan, 1989; Rohli a Vega, 2018).





Obr. 6: Vliv vysokých budov na tepelný ostrov (Rohli a Vega, 2018).

Velikost městského tepelného ostrova lze charakterizovat intenzitou městského tepelného ostrova. Intenzitou se rozumí rozdíl v teplotě mezi středem města a okolní krajinou. Intenzita se nejvíce projevuje v minimálních teplotách. Rozdíly teplot ovlivňuje denní doba, velikost zastavěné plochy, odrazivost povrchů, uspořádání zástavby, doprava, barevnost materiálů, přítomnost vodních ploch, pokrytí ploch vegetací a roční období. Maxima denního chodu intenzity městský tepelný ostrov dosahuje po západu Slunce a v první polovině noci. Může se stát, že někdy je dokonce dopoledne ve městě chladněji než v jeho okolí (Miller a kol. 2009; Hejlová a Voženílek, 2015; Vacek a kol., 2018).

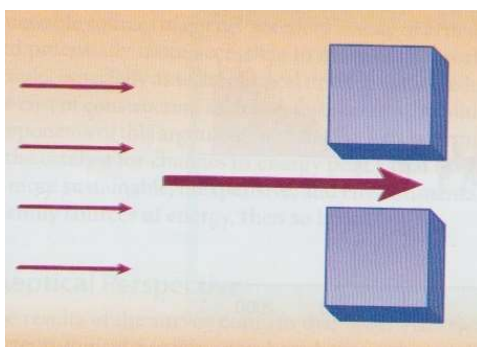
Intenzita městského tepelného ostrova se zvyšuje s jasným počasím a slabým větrem, což jsou typické podmínky pro období letních veder (Rohli a Vega, 2018).

Městský tepelný ostrov má vliv na lokální meteorologii města, například na vytváření oblačnosti, na vlhkost, na srážky, na vítr a na kvalitu vody. Povrchy vyhrátých chodníků a střech ohřívají dešťové vody, které se dále dostávají do kanálů. Tím se zvyšuje teplota potoků, řek i rybníků. Zvyšuje se intenzita vln veder, jejich trvání, což má negativní vliv na zdraví obyvatel. Zvyšuje se nemocnost a úmrtnost obyvatel, hlavně starších lidí a lidí s kardiovaskulárními a chronickými respiračními onemocněními. Extrémní teploty způsobují únavu zaměstnanců a snižují jejich pracovní produktivitu práce (Miller a kol. 2009; Vacek a kol., 2018).

Snížený výpar a vyšší teploty v městském prostředí snižují relativní vlhkost. Přesto je pro město typický častější výskyt mlhy způsobený obsahem hygroskopických jader. Jedná se o tuhé aerosoly, které efektivně fungují jako kondenzační jádra. Okolo hygroskopických jader kondenzuje vodní pára, která se mění na kapalnou vodu. Tímto

procesem může vznikat mlha i když relativní vlhkost je nižší než 100 % (Rohli a Vega, 2008).

Budovy brání silnému proudění vzduchu, tudíž jsou v městském prostředí obvykle menší rychlosti větru. Díky tzv. městskému kaňonu (urban canyon), ale mohou vznikat místní větry, které bývají silné. Dochází k tomu, protože budovy vytlačují vítr tak, že se zmenší povrchová plocha, na kterou působí jeho síla. Když se proudění dostane do menší oblasti, zvýší se jeho rychlost, aby došlo ke kompenzaci stlačení (Rohli a Vega, 2008). Městským kaňonem je myšlena oblast mezi budovami, kde vítr působí na menší plochu a tím pádem se rychlost větru, který před vstupem do prostředí s budovami působil na větší plochu, zvyšuje. Princip městského kaňonu je patrný z obr. 7.



Obr. 7: Městský kaňon (Urban canyon) (Rohli a Vega, 2008).

### 3.4.1 Cirkulace městského tepelného ostrova

Pro městský tepelný ostrov je typická konvektivní cirkulace, při níž je teplý vzduch ve městě vytlačován směrem nahoru chladnějším a hustším vzduchem proudícím z venkova. Ve vzduchu, který stoupá, se shromažďují aerosoly a vzniká prachový oblak nad městem. Tento oblak může být větrem odnášen až nad venkovskou oblast. Konvektivní cirkulace přispívá k teplotním rozdílům mezi městským prostředím a venkovskými oblastmi. V některých dnech může teplotní rozdíl dosahovat i více než deseti stupňů Celsia (Moran a Morgan, 1989).

### 3.4.2 Typy městského tepelného ostrova

Městský tepelný ostrov lze rozdělit na tři typy

- Povrchový tepelný ostrov (Surface Urban Heat Island),
- Tepelný ostrov vrstvy městského zápoje (Canopy layer Urban Heat Island),

- Tepelný ostrov mezní vrstvy atmosféry (Boundary layer Urban Heat Island) (Kershaw, 2017).

**Povrchový tepelný ostrov** se týká teploty povrchů budov, městských komunikací, zeleně a dalších povrchů. Tento typ je definován jako teplotní anomálie aktivních povrchů v městském prostředí vůči přirozeným povrchům venkovského prostředí (Dobrovolný a kol., 2012; Kershaw, 2017).

**Tepelný ostrov vrstvy městského zápoje** se týká teploty vzduchu v blízkosti aktivního povrchu. Tato vrstva sahá od zemského povrchu ke střechám nebo k vrcholům stromů (Dobrovolný a kol., 2012; Kershaw, 2017).

**Tepelný ostrov mezní vrstvy atmosféry** sahá směrem nahoru od hranice vrstvy městského zápoje. Mezní vrstvu atmosféry můžeme identifikovat měřením teploty vzduchu. V této vrstvě dochází k přenosu tepla a vlhkosti mezi městskou oblastí a atmosférou. Jedná se o smíšenou vrstvu mezi městským prostředím a okolní atmosférou (Dobrovolný a kol., 2012; Kershaw, 2017).

### 3.4.3 Městský tepelný ostrov Prahy

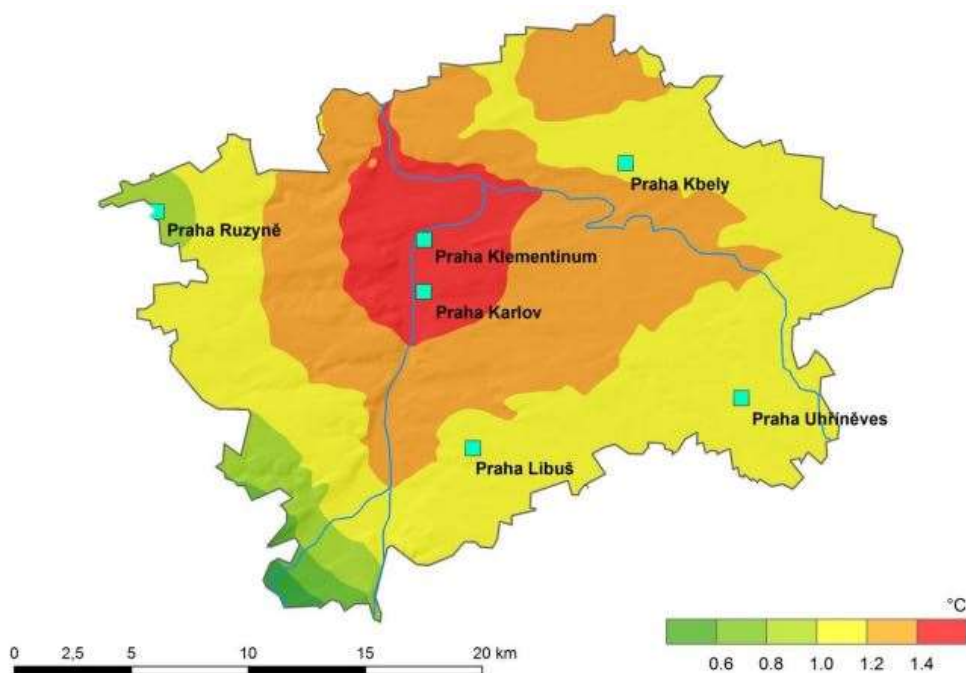
Praha je velkoměsto, ve kterém se dopady městského tepelného ostrova projevují z celého Česka nejvíce (Žák a kol., 2015).

Městský tepelný ostrov Prahy významně ovlivňuje životní komfort obyvatel města. Podle Žáka a kol. (2015) se za posledních 50 let projev městského tepelného ostrova Prahy zvětšuje. Kvůli rozšiřování zástavby, růstu městské populace, růstu spotřeby elektřiny a zintenzivnění dopravy a průmyslu dochází k zesilování intenzity (rozdíl teploty mezi centrem města a okolní krajinou) pražského tepelného ostrova (Žák a Zahradníček, 2017).

V roce 2014 byl dokončen a publikován projekt UHI, který se zabýval vývojem teploty vzduchu v Praze v letech 1961–2013 (Skalák a kol., 2015).

Bylo zjištěno, že míra oteplení Prahy se mění v průběhu roku a liší se u teploty průměrné, minimální a maximální. Z hlediska minimální teploty je míra oteplení závislá na konkrétní stanici a liší se až o 0,5 °C. Z obr. 8 je patrné větší oteplení stanic v centru města než na jeho okraji. V období 2001–2010 se minimální teplota v centru města zvýšila téměř o 1,5 °C oproti období 1961–1971. V centru města dochází ke zvyšování počtu dní s extrémně vysokou teplotou vzduchu. Do roku 1991 byly

v centru města zaznamenávají maximálně 2 tropické noci za rok, ale za posledních 20 let se jich často za rok vyskytuje 4 a více. V roce 2010 bylo zaznamenáno dokonce 11 tropických nocí, což spolu s tropickými dny představuje velmi nepříznivý jev z hlediska kvality života ve městě. Naopak dochází k úbytku mrazových dnů (Skalák a kol., 2015).



Obr. 8: Znárodnění rozdílu průměrných minimálních teplot za období 2001–2010 a 1961–1971 (Žák a Zahradníček, 2017).

Pražský tepelný ostrov se projevuje zejména v případě minimální teploty. K zesilování intenzity za období 1961–2013 došlo v průběhu celého roku, s výjimkou ledna. K největšímu zesílení dochází v letní polovině roku (duben–září), a to o 0,5–0,7 °C. V případě průměrné teploty vzduchu se intenzita v průběhu celého roku zvětšila jen o 0,1–0,2 °C. Vezmeme-li v úvahu průměrné a maximální teploty vzduchu jsou rozdíly mezi stanicemi nepatrné, ale v případě minimální teploty jsou rozdíly výraznější (Skalák a kol., 2015).

Nejčastěji používanou charakteristikou intenzity městského tepelného ostrova je minimální teplota. V období 1961–1990 měsíční hodnota intenzity kolísala mezi 1,0–1,7 °C, zatímco v období 1991–2013 mezi 1,5–2,3 °C. Intenzita dosahovala maxima v srpnu a minima v prosinci. V letním půlroce dosahuje intenzita městského tepelného ostrova v případě minimální teploty až 2 °C (Skalák a kol., 2015).

Předpokládá se, že do roku 2030 by se průměrná roční teplota vzduchu mohla zvýšit téměř o 1,0 °C oproti období 1961–1990 a do roku 2100 o 2,0–5,0 °C. Dále se bude zvětšovat pravděpodobnost výskytu, intenzita a délka trvání vln extrémně vysokých teplot. Také by mělo dojít k nárůstu počtu tropických dní a nocí (UrbanAdapt, 2015).

Kvůli zesilování městského tepelného ostrova Prahy je při dalším rozvoji města důležité řešit jeho dopady na obyvatele. Ve Strategii přizpůsobení se změně klimatu v ČR se uvádí, že bude nutné vytvořit plány prevence městských tepelných ostrovů ve velkých městech (Pokorný a kol., 2018). Prostřednictvím územního plánování, architektury a městské zeleně bude nezbytné stanovit městské požadavky na ochranu před městským tepelným ostrovem. Je nutné vytvářet funkčně propojený systém sídelní zeleně (stromy, parky a travnaté plochy) a vodních ploch (vodní toky, kašny, nádrže). Vegetace a vodní plochy mohou snižovat teplotu ve městě, protože akumulují méně tepla než zastavěné plochy a zachycují nebo odrážejí sluneční záření. Na rozdíl od zastavěných ploch, rostliny akumulované záření využívají na proces evapotranspirace (odpařování vody). Odpařování vody z vodních ploch a z vegetace přispívá ke snížení teploty okolního prostředí a aktivního povrchu. Problémem je nedostatek míst pro zajištění sídelní zeleně a vodních ploch. Jako alternativní řešení se proto nabízí realizování prvků zeleně na budovách (zelené fasády, střešní zahrady) (Pokorný a kol., 2018).

### **3.5 Indexy tepelné zátěže (sledované v praktické části)**

#### **3.5.1 Wind-chill index (index ochlazujícího účinku větru)**

Wind-chill index je vypočtená hodnota vnímané teploty v závislosti na teplotě a rychlosti větru. Tělo člověka chrání tepelná slupka (tenká vrstva teplého vzduchu) před tepelnými ztrátami. Proto je teplota pokožky o něco vyšší než teplota vzduchu. Silný vítr narušuje tepelnou slupku a člověku je pocitově chladněji. Teplota pokožky se blíží teplotě vzduchu. Při silném větru se při dané teplotě člověk cítí chladněji než při stejné teplotě, kdy panují klidné podmínky. Moran a Morgan (1989) uvádějí příklad: pokud je teplota vzduchu  $-1$  °C a je bezvětří nebo mírný vítr, člověk vnímá stejnou teplotu vzduchu. Jestliže ale proudí silný vítr, pocitová teplota se sníží až na  $-15$  °C. Tato teplota je udávána wind-chill indexem. Pokud je tento index nižší,

doporučuje se člověku, aby se oblékal tepleji, než naznačuje skutečná teplota (Moran a Morgan, 1989; Mohan a kol., 2014).

### **3.5.2 Heat index (index horka)**

Heat index kombinuje teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Výpočtem zjistíme teplotu, kterou člověk pociťuje při aktuální teplotě a vlhkosti vzduchu. Tělo se chladí vypařováním vody (pocením). Jestliže je horké a suché počasí, člověk se více potí a tím uvolňuje přebytečné teplo z těla ven. Pokud je relativní vlhkost vysoká, rychlost vypařování vody se snižuje a člověk se potí méně. Tělo si při vysoké vlhkosti uchovává více tepla na rozdíl od suchého vzduchu (Novák, 2007; Blazejczyk a kol., 2010; Mohan a kol., 2014).

### **3.5.3 Wet bulb temperature (teplota vlhkého teploměru)**

Wet bulb temperature (WBT) je nejnižší teplota, které lze dosáhnout ve stávajícím prostředí odpařováním. Jde o teplotu, která je vždy rovna nebo nižší, než je teplota okolí. WBT je kombinací teploty a relativní vlhkosti vzduchu (Stull, 2011).

### **3.5.4 Globe temperature (teplota kulového teploměru)**

Globe temperature je teplota, která je definovaná jako teplota měřená uvnitř 15 mm velké černé měděné koule. Přístroj Kestrel, který byl v praktické části používán, má kulový teploměr o průměru 25 mm. Používá se pro určení wet-bulb globe temperature (Kestrel, 1999).

### **3.5.5 Wet-bulb globe temperature (teplota vlhkého kulového teploměru)**

Wet-bulb globe temperature (WBGT) funguje jako měřítko pro lidský tepelný stres. Vychází z teploty, relativní vlhkosti, rychlosti větru a sálavého tepla (globe temperature). Jde o celosvětově jeden z nejvíce používaných indexů tepelného stresu. Na základě tohoto indexu zveřejnila Americká konference vládních průmyslových hygieniků přípustné mezní hodnoty tepelného vystavení. Tyto hodnoty se vztahují k podmínkám tepelného stresu, při kterých může být člověk vystaven teple bez nepříznivých zdravotních následků. WBGT se používá při sportu, v průmyslu a v dalších oblastech, kde je důležité určit úroveň lidského tepelného stresu (Epstein a Moran, 2006; Blazejczyk a kol. 2010; Dimiceli, 2011).

Meteorologické prvky, které ovlivňují tyto indexy, jsou: naměřená teplota (3.2.1), charakteristiky vlhkosti vzduchu (3.2.6), rychlost větru (3.2.3) a množství

dopadajícího slunečního záření (3.2.6). To je ovlivněno zejména typem a množstvím oblačnosti (3.2.4).

### 3.6 Tepelný komfort

Tepelný komfort je definován jako stav, kdy je člověk spokojený s tepelným prostředím. Jedná se o subjektivní pocit. Člověk se cítí pohodlně, pokud je jeho tělo v tepelné rovnováze, jeho rychlost pocení a průměrná teplota pokožky je v mezích pohodlí. Tepelný komfort se hodnotí ve venkovním prostředí i ve vnitřních prostorech (Epstein a Moran, 2006).

Aby se člověk cítil pohodlně a byly zachovány normální funkce těla, musí být teplota tělesného jádra udržována okolo 37 °C. Zejména srdce, mozek, plíce a zažívací trakt musí být udržovány v této konstantní teplotě, jinak nefungují správně. Naopak horní a dolní končetiny snesou větší změny teplot bez nepříznivých účinků. Konstantní teplota je udržována termoregulačním systémem těla. Termoregulace zahrnuje řadu fyziologických a behaviorálních procesů. Tyto procesy řídí výměnu tepla mezi tělem a okolním prostředím, což způsobuje, že ztráta energie nebo její zisk je téměř nulový (Moran a Morgan, 1989; Oke, 2017).

Oke a kol. (2017) uvádí, že v teplých podmínkách teplota po celém těle dosahuje teploty tělesného jádra. Naopak při chladných podmínkách je teplota 37 °C pouze na hlavě a na trupu a na končetinách může být méně než 28 °C.

Pokud je teplota okolního vzduchu 20–25 °C, člověk je vhodně oblečený a cítí se pohodlně, tělo si teplotu 37 °C udržuje snadno. Jestliže je teplota okolního vzduchu menší než 20 °C nebo větší než 25 °C, tělo už musí zahájit termoregulační procesy, které udrží teplotu jádra kolem 37 °C. Například Moran a Morgan (1989) uvádějí: jestliže člověk stojí na přímém slunci v den, kdy okolní teplota vzduchu dosahuje 30 °C, teplota jádra začne stoupat a člověk se začne potit. Pocení způsobí zchlazení pokožky a dojde k poklesu teploty tělesného jádra.

Naopak pokud teplota vzduchu je méně než 20 °C, začne lidské tělo nejprve reagovat stáhnutím podkožních cév, tím dojde k omezení průtoku krve do kůže a sníží se teplota pokožky. Tento proces sníží tepelné ztráty z těla a dojde k zahřátí tělesného jádra zpět na 37 °C. V důsledku toho se objeví tzv. husí kůže nebo dojde k postavení

chloupků na kůži. Pokud tento proces ke zvýšení teploty tělesného jádra nestačí, nastane termogeneze. Termogeneze probíhá pomocí svalového napětí nebo třesení, které zvyšuje tepelnou produkci těla. Kvůli nedostatku krve v končetinách, v ušních lalůčkách a na prstech může jejich teplota klesnout pod 20 °C a tím může dojít k jejich omrznutí. Jestliže tepelnou rovnováhu nezajistí ani jeden z výše zmíněných procesů, nastane hypotermie neboli podchlazení těla. Teplota tělesného jádra se může snížit až pod 35 °C a může dojít k poklesu srdeční frekvence až k selhání krevního oběhu. Smrt může nastat při teplotě tělesného jádra mezi 25–30 °C (Morgan a Moran, 1989; Centnerová, 2000).

Na vyšší teploty tělo reaguje rozšířením podkožních cév, tím dojde ke zvýšení tělesné teploty a člověk se začne chladit pocením. Pokud tento proces nepomůže k termoregulaci, nastane přehřátí organismu. Člověk začne pociťovat bolest hlavy, ztratí chuť, je mu nevolno, zkracuje se mu dech a zrychlí se mu tep, může nastat duševní nepokoj a apatie. Pokud je lidské tělo v šoku, teplota tělesného jádra se může zvýšit až na 41 °C. V důsledku toho se člověk přestane potit, upadne do kómatu a může nastat smrt. Termoregulaci také napomáhá behaviorální reakce. Jestliže je člověku teplo, svléká si oblečení, schovává se pod přístřešek nebo se chladí klimatizací (Morgan a Moran, 1989; Centnerová, 2000).

Faktory, které ovlivňují tepelnou pohodu, se dělí do tří skupin:

- Prostředí – teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru a jeho turbulence, sluneční záření,
- Osobní faktory – hodnota metabolismu (stupeň aktivity), oblečení,
- Doplňující faktory – jídlo a pití, adaptace na venkovní klima, adaptace na vnitřní klima, podkožní tuk, tělesná postava, pohlaví a věk (Centnerová, 2000).

Pokud je člověku teplo nebo chladno, kombinace proměnných vyvolá tepelný stres. Míra tepelného stresu je ovlivňována šesti hlavními proměnnými. Těmito proměnnými jsou: teplota vzduchu, vlhkost, rychlost větru, záření, metabolismus a oblečení (Oke a kol., 2017).

Extrémy tepla a chladu způsobují každý rok čtná úmrtí (Rohli a Vega, 2018).



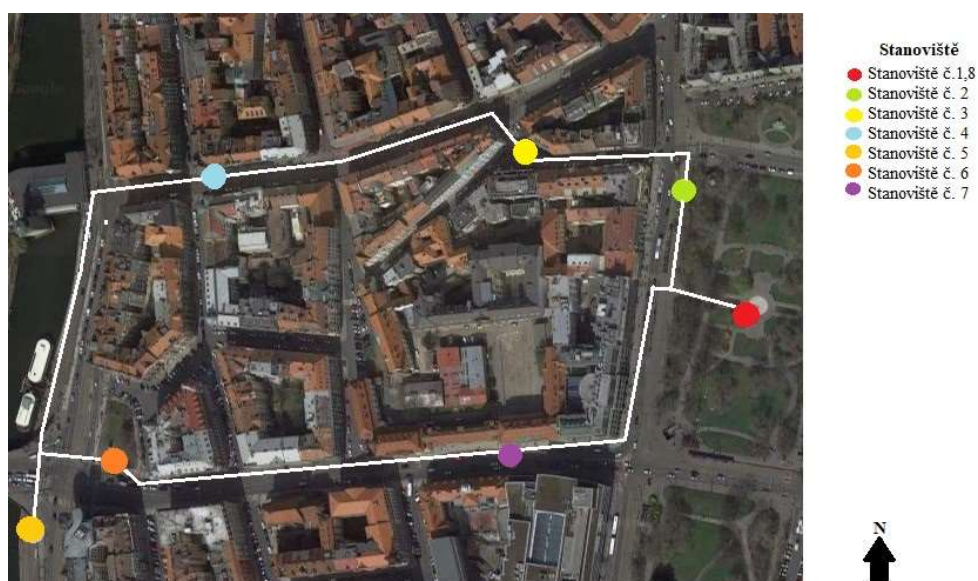
## 4 METODIKA

### 4.1 Data

Data (hodnoty meteorologických prvků a indexů), která jsou v praktické části zpracována, byla získána vlastním měřením v terénu. Meteorologické prvky a indexy byly měřeny přenosným přístrojem Kestrel 5400. Pro měření bylo vybráno osm stanovišť, která se lišila prvky městského prostředí. Data byla měřena celkem devět dní v období od června do srpna 2019. V červnu byly naměřeny dva dny, v červenci tři dny a v srpnu čtyři dny. Dny byly vybírány po domluvě s vedoucím práce a konzultantem. Kromě automaticky ukládaných měření byly během měření zaznamenávány další údaje: pokrytí oblohy oblačností, druh oblačnosti, sluneční svit a počet lidí na daném stanovišti.

### 4.2 Charakteristika studovaného území

Zkoumané území se nachází v centru Prahy v oblasti Karlova náměstí. Trasa měření je dlouhá 1,5 km, obsahuje osm stanovišť a tvoří smyčku. To znamená, že první a poslední stanoviště je stejné. Trasa tvoří smyčku, aby bylo možné na každém stanovišti měřit vždy jednou za dvě hodiny. Počet stanovišť byl zvolen tak, aby bylo možné trasu i s měřením zvládnout do dvou hodin. Trasa obsahuje místa s větším výskytem lidí, zastávku, lavičky v parku, ulici mezi domy a místo u vody (obr. 9).



Obr. 9: Schematický plán zkoumaného území s vyznačenými stanovišti (upraveno podle [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz)).

#### 4.2.1 Stanoviště č. 1 a 8



*Obr. 10: Stanoviště č. 1,8 (park na Karlově náměstí).*

První stanoviště (a zároveň poslední) se nachází na Karlově náměstí v parku (obr. 10). Jedná se o místo, pro které je typický zvýšený výskyt lidí (v průměru za celý den 50 lidí na jedno měření). Park slouží jako průchozí trasa, případně pro relaxaci na lavičkách. Na tomto místě je přítomna zeleň a vodní prvek (vodní kašna). Během horkých letních dnů zde stromy pozitivně ovlivňují prostředí a je znát chladnější klima. Povrch stanoviště je tvořen asfaltem.

#### 4.2.2 Stanoviště č. 2



*Obr. 11: Stanoviště č. 2 (zastávka Novoměstská radnice).*

Druhé stanoviště se nachází na zastávce Novoměstská radnice (obr. 11). Jde o severozápadní roh Karlova náměstí. Toto místo se vyznačuje zvýšeným počtem lidí (v průměru za celý den 55 lidí během jednoho měření). Zastávka je částečně kryta stromy, ale v poledne a odpoledne je v létě zhruba do 16 hod. vystavena přímému slunečnímu záření. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami.



### 4.2.3 Stanoviště č. 3



*Obr. 12: Stanoviště č. 3 (ulice Odborů).*

Třetí stanoviště se nachází v ulici Odborů. Jde o místo před hotelem Mosaic House Design (obr. 12). Na tomto místě se vyskytuje menší počet lidí (v průměru za celý den 20 během jednoho měření). Stanoviště slouží výhradně pro odpočinek. V létě je zde během dne převážně stín. Zastínění tvoří vyšší domy a zeleň. Nachází se zde i vodní prvek (malá fontána). Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami.

#### 4.2.4 Stanoviště č. 4



Obr. 13: Stanoviště č. 4 (ulice Mysłikova).

Čtvrté stanoviště se nachází v ulici Mysłikova, v části blíže k nábřeží. Ulice prochází vysokou obytnou zástavbou. Mezi podélnými parkovacími pruhy jsou umístěny květináče se stromy malého vzrůstu (viz obr. 13). Na tomto stanovišti se lidé nezdržují, spíše procházejí (v průměru za celý den 25 lidí během jednoho měření). Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami.

#### 4.2.5 Stanoviště č. 5

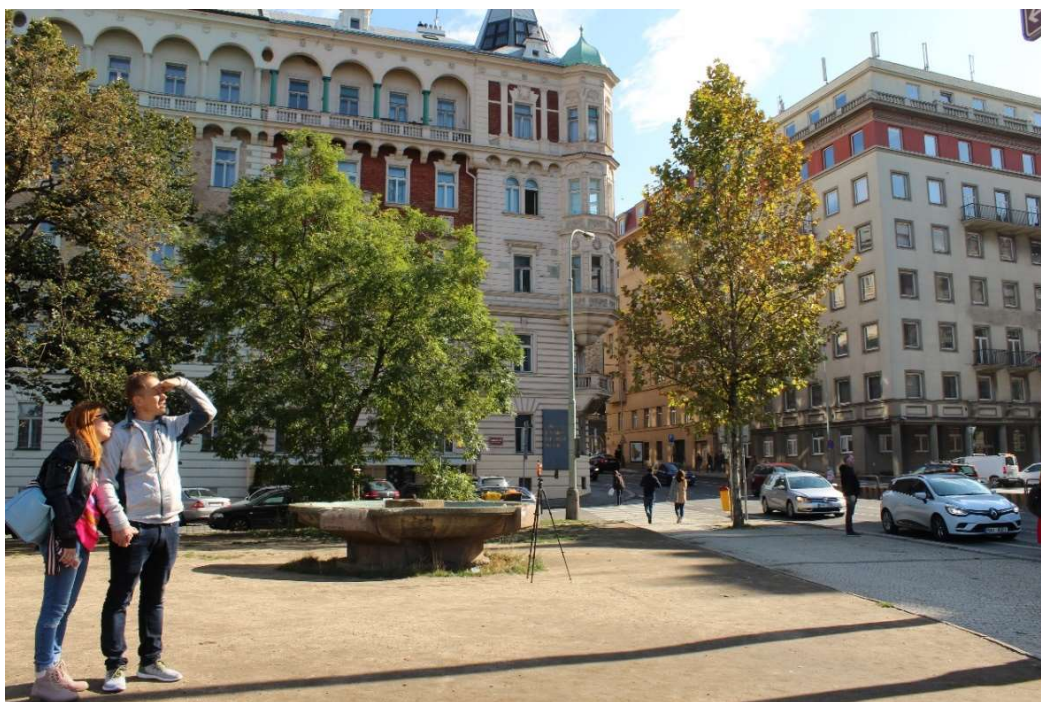


*Obr. 14: Stanoviště č. 5 (Náplavka).*

Páté stanoviště se nachází na Náplavce (obr. 14). Náplavka se vyznačuje zvýšenou koncentrací lidí, zejména v odpoledních a večerních hodinách (v průměru za celý den 30 lidí během jednoho měření). Náplavka slouží k relaxaci. Stanoviště se nachází na pravém břehu Vltavy. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami a nenachází se zde žádné prvky zeleně. Z východní strany je stanoviště kryto vysokou kamennou opěrnou zdí. V těsné blízkosti se nachází železobetonový Jiráskův most.



#### 4.2.6 Stanoviště č. 6



*Obr. 15: Stanoviště č. 6 (Jiráskovo náměstí).*

Šesté stanoviště se nachází na Jiráskově náměstí (obr. 15). Jde o místo se zvýšeným počtem lidí během celého dne (v průměru za celý den 55 lidí během jednoho měření), protože v těsné blízkosti se nachází Tančící dům. Stanoviště se nachází vedle křižovatky dvou vytížených pozemních komunikací. Téměř celý den je toto místo v letních měsících vystaveno přímému slunečnímu záření. Nachází se zde prvky zeleně a povrch stanoviště je písčítý.

#### 4.2.7 Stanoviště č. 7



Obr. 16: Stanoviště č. 7 (ulice Resslova).

Sedmé stanoviště se nachází v ulici Resslova (obr. 16). Podél celé ulice je vysoká zástavba. V této ulici se nevyskytují žádné prvky zeleně ani vodní prvky. Tato ulice je celé dopoledne a odpoledne v létě cca do 16 hodin vystavena přímému slunečnímu záření. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami. Lidé se na tomto stanovišti nezdržují, spíše procházejí (v průměru za celý den 30 lidí během jednoho měření). Vedle stanoviště vede vytižená silnice, na které je po celý den značný provoz.

### 4.3 Popis měření

Data pro tuto práci byla získána pomocí měření vybraných meteorologických prvků a indexů tepelné zátěže přístrojem Kestrel 5400 na uvedených osmi stanovištích v centru Prahy.

Měření probíhalo v devíti dnech od 8:00 do cca 17:30 hod. LSEČ. Jednalo se o tyto dny: 27. 6. 2019, 28. 6. 2019, 2. 7. 2019, 4. 7. 2019, 5. 7. 2019, 14. 8. 2019, 15. 8. 2019, 27. 8. 2019, 28. 8. 2019.

Na každém stanovišti bylo nutné nejdříve vycentrovat (nastavit do vodorovné polohy) přístroj, nechat přístroj 1 minutu aklimatizovat a poté bylo možné měřit meteorologické prvky a indexy tepelné zátěže. Data byla sbírána po dobu 6 minut,



z těchto šestiminutových měření byly následně určeny průměrné hodnoty. V případě WBGT (teplota vlhkého kulového teploměru) nebyla uvažována průměrná hodnota za 6 minut, ale poslední hodnota naměřena na konci tohoto intervalu. Přístrojem byla zaznamenávána teplota, Wet bulb temperature (teplota vlhkého teploměru), Wet globe temperature (teplota kulového teploměru), relativní vlhkost vzduchu, tlak vzduchu, rychlost větru, Heat index (index horka), teplota rosného bodu, WBGT a Wind-chill index (index ochlazujícího účinku větru). Během měření byl ručně na papír zaznamenáván čas, druh oblačnosti, pokrytí oblohy oblačností, sluneční svit a počet lidí na stanovišti, případně i celkový charakter počasí, zejména pokud docházelo během dne ke změnám.

Jednotlivá měření začínala vždy v 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 a 16:00 hod. LSEČ. Za den bylo nutné naměřit daný okruh 5krát.

Data byla následně zprůměrována pro každé stanoviště za celý den. Hlavním cílem měření bylo zjistit rozdíl jednotlivých stanovišť v závislosti na změně městského prostředí.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Charakteristika dnů

Primárním parametrem pro výběr dnů byla předpověď teplého, jasného nebo polojasného počasí bez bouřek. Sekundárním parametrem byly časové možnosti. V případě nepříznivé předpovědi vzhledem ke stanoveným podmínkám byl vybrán den s předpokládanými minimálními srážkami, kdy teplota nebyla podprůměrná. Čtyři dny (27. 6., 2. 7., 27. 8., 28. 8.) byly teplé, ale s odlišnými podmínkami, zejména pokud jde o oblačnost a vlhkost vzduchu. První dva dny (27. 6., 2. 7.) bylo jasno na rozdíl od měřicích dnů na konci srpna (27. 8., 28. 8.), kdy bylo polojasno nebo oblačno. Nejvyšší naměřená teplota v těchto dnech byla 34,2 °C na stanovišti ulice Resslerova a nejnižší naměřená teplota byla 20,3 °C na stanovišti Karlovo náměstí. Ve zbylých pěti dnech (28. 6., 4. 7., 5. 7., 14. 8., 15. 8.) byly rozdílné podmínky od polojasna po skoro zataženo, ale chladněji. Nejvyšší naměřená teplota byla 29,8 °C na stanovišti ulice Resslerova a nejnižší byla 14,4 °C na stanovišti Náplavka.

Pro zobrazení průměrných hodnot meteorologických prvků v jednotlivých dnech měření byla vytvořena tabulka 1. Bylo vybráno jedno stanoviště (č. 7, ulice Resslerova), na kterém jsou tyto hodnoty ukázány.

*Tab. 1: Průměrné hodnoty meteorologických prvků v jednotlivých dnech měření pro vybrané stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Modré zvýraznění řádků značí chladné dny a žluté zvýraznění značí teplé dny. Tučně jsou označeny nejvyšší naměřené hodnoty (u oblačnosti je označena nejnižší míra oblačnosti). Zkratka HI znamená Heat index.*

	teplota [°C]	HI [°C]	WBGT [°C]	rychlost větru [m/s]	oblačnost	max teplota [°C]	max HI [°C]
<b>27. 6.</b>	<b>31,8</b>	30,6	<b>27,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0/8</b>	<b>34,2</b>	32,3
<b>28. 6.</b>	27,3	26,0	25,1	0,7	2/8	29,3	27,9
<b>2. 7.</b>	<b>28,7</b>	27,4	<b>25,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0/8</b>	<b>32,6</b>	31,2
<b>4. 7.</b>	27,1	25,1	23,6	0,6	1/8	29,8	27,6
<b>5. 7.</b>	25,3	23,5	20,4	0,6	7/8	27,6	25,5
<b>14. 8.</b>	23,1	22,0	20,6	0,3	4/8	25,3	23,6
<b>15. 8.</b>	23,2	22,1	21,0	0,7	5/8	25,3	24,0
<b>27. 8.</b>	28,9	30,4	26,5	0,6	4/8	32,7	<b>35,6</b>
<b>28. 8.</b>	29,3	<b>31,0</b>	26,4	0,8	5/8	32,0	34,2

### **5.1.1 Nejteplejší den z hlediska teploty – 27. 6. 2019**

Nejteplejší den z hlediska teploty byl 27. 6. 2019. Celý den bylo převážně jasno. Nejvyšší teplota v tento den byla v 15:00 hod. v ulici Resslerova a dosáhla 34,2 °C. Nejnižší teplota byla v 9:00 hod. na Náplavce, a to 25,6 °C.

### **5.1.2 Nejteplejší den z hlediska Heat indexu a WBGT – 28. 8. 2019**

Nejteplejší den z hlediska Heat indexu a WBGT byl naopak poslední den měření 28. 8. 2019. Od 8:00 hod. do 12:00 hod. bylo jasno až oblačno. Od 12:00 hod. do 16:30 bylo oblačno až zataženo a zbylou hodinu měření bylo polojasno. Celý den bylo pocitově horko a dusno. Nejvyšší hodnota Heat indexu tento den byla v ulici Resslerova až v 17:10 hod. a dosáhla 34,2 °C. Nejnižší hodnota Heat indexu byla v 8:00 hod. ráno na Karlově náměstí 21,8 °C.

Nejvyšší hodnota WBGT během tohoto dne (28,8 °C) byla naměřena na Jiráskově náměstí v 16:55 hod., tedy jinde než na stanovišti ulice Resslerova, které bývá jinak nejteplejší. Vysvětluji si to tím, že tato nejvyšší hodnota byla naměřena pozdě odpoledne, kdy se zmenšilo množství oblačnosti (na 4/8) a na přístroj po celou dobu měření dopadalo sluneční záření, na rozdíl od stanoviště ulice Resslerova, kde byl přístroj už ve stínu.

### **5.1.3 Nejchladnější den z hlediska teploty, WBGT a Heat indexu – 14.8. 2019**

Nejchladnějším dnem z hlediska Heat indexu a teploty byl 14. 8. 2019. Od 8:00 hod. do 12:00 hod. bylo jasno až polojasno, od 12:00 hod. do 17:30 hod. oblačno až zataženo. Během třetího (12:20 hod.) a pátého kola měření (16:40 hod.) začalo pršet. Kvůli dešti bylo zkráceno měření na 4. stanovišti v ulici Myslíkova a zrušeno měření na stanovišti č. 5 na Náplavce. Během měření na Jiráskově náměstí a v ulici Resslerova mrholilo.

Nejvyšší teplota tento den byla v ulici Resslerova ve 13:15 hod. a dosáhla 25,3 °C. Nejnižší teplota byla na Jiráskově náměstí v 17:00 hod. 17,0 °C.

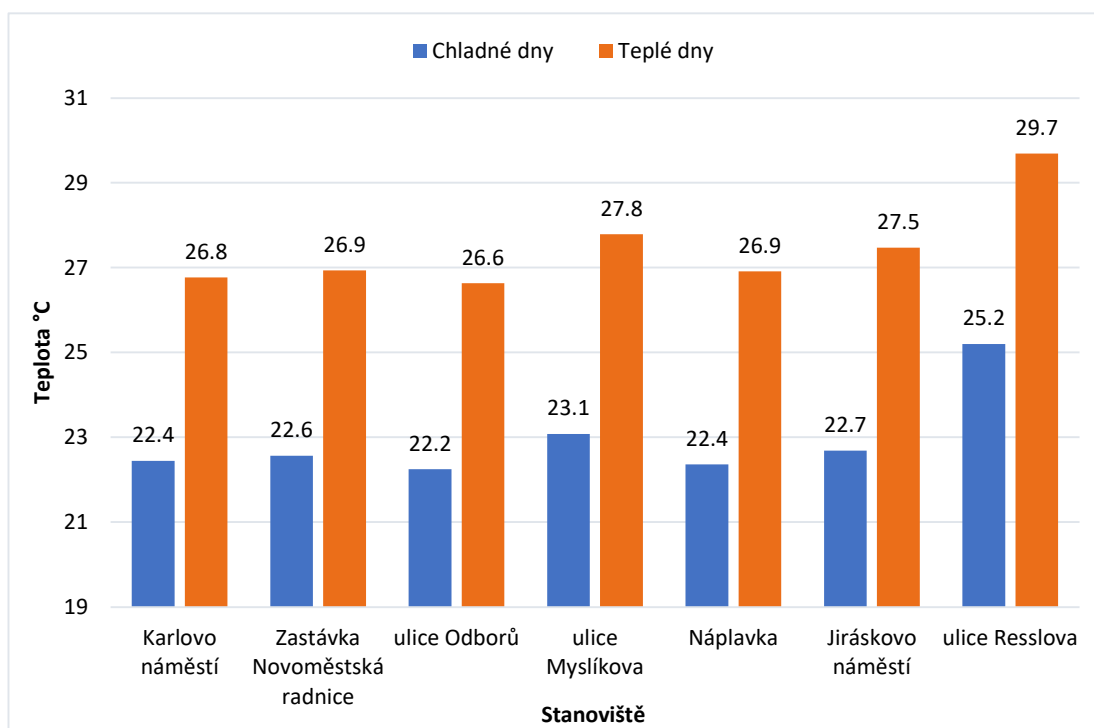
Pokud jde o Heat index, nejvyšší hodnota v tento den byla zaznamenána v ulici Resslerova ve 13:15 hod., a to 23,6 °C. Nejnižší hodnota Heat indexu byla na Náplavce v 8:45 hod., a to 16,0 °C.

Z hlediska WBGT byla nejnižší hodnota (14,1 °C) naměřena v 8:50 hod. na Náplavce. Nejvyšší hodnota WBGT byla 23,0 °C, a to v ulici Resslerova v 9:15 hod. Hodnota WBGT během půl hodiny vzrostla téměř o 9 °C. Domnívám se, že to souvisí s tím, že na stanovišti Náplavka byl přístroj po celou dobu měření ve stínu. V blízkosti je navíc řeka Vltava, která mohla mít na tuto nízkou hodnotu také vliv, protože bylo ráno, kdy jde od vody chlad. Na tomto stanovišti byla také vyšší vlhkost vzduchu. Naopak na stanoviště ulice Resslerova už v 9:15 hod. dopadalo přímé sluneční záření a bylo téměř bezvětří. Přístroj byl postavený blízko vytížené silnice, kde už v tuto dobu jezdilo hodně aut, což mohlo mít na tuto vyšší hodnotu také vliv, kvůli vzniku antropogenního tepla. Poměrně vysokou hodnotu WBGT mohl také ovlivnit už vyhřátý povrch a budova, která byla blízko přístroje.

## **5.2 Zhodnocení rozdílů stanovišť**

Pro zpracování dat byly dny rozděleny na teplé a chladné. Za každý měřicí den byla stanovena průměrná denní teplota na každém stanovišti. Na základě průměrných teplot na všech stanovištích byly označeny čtyři dny s nejvyššími teplotami za teplé a ostatní za chladné. U teplých a chladných dnů byly dále porovnány průměrné hodnoty Heat indexu (index horka) a WBGT (index tepelného stresu).

### 5.2.1 Porovnání stanovišť na základě průměrné teploty



Obr. 17: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska průměrné teploty.

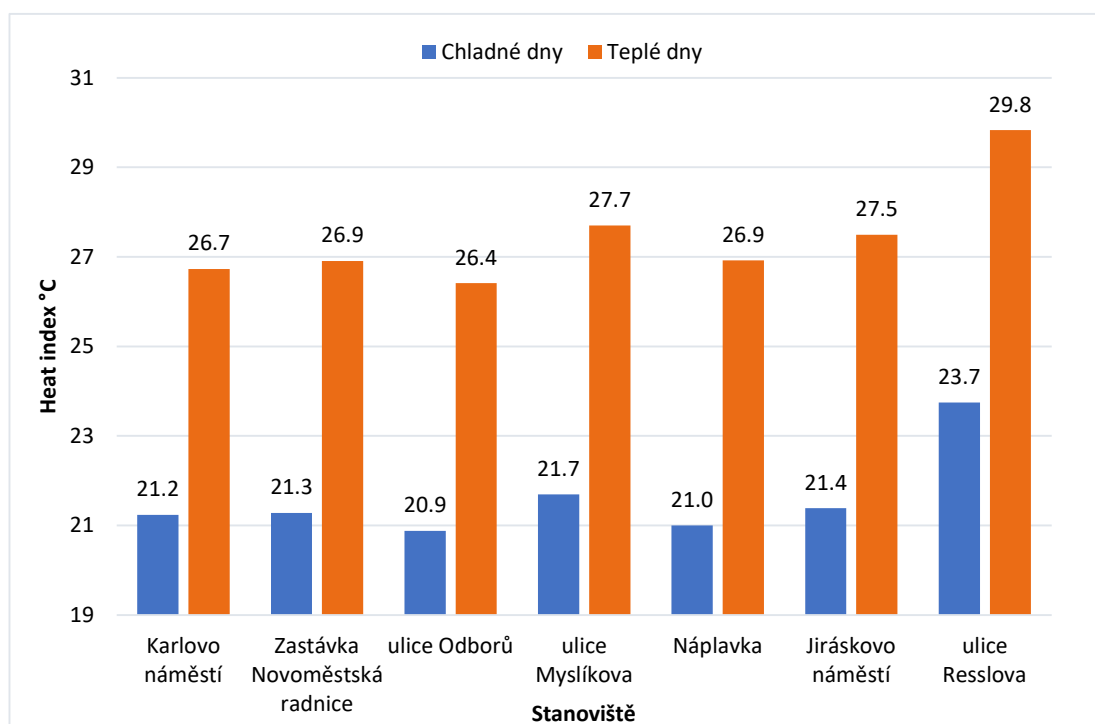
Na obr. 17 jsou zaneseny průměry naměřených teplot v teplých a chladných dnech. Z naměřených teplot vychází nejvyšší průměr na stanovišti ulice Resslova, což se dalo předpokládat z hlediska charakteru stanoviště. Rozdíl oproti druhému nejteplejšímu stanovišti (ulice Myslíkova) byl v teplých i chladných dnech zhruba 2 °C. Teploty na stanovišti ulice Resslova byly ovlivněny vysokou zástavbou a materiálem povrchu – dlažební kostky, asphalt. Na toto stanoviště celé dopoledne a většinu odpoledne dopadá přímé sluneční záření, což může mít také vliv na vyšší teploty. Nejnižší teploty byly předpokládány na stanovištích Karlovo náměstí a ulice Odborů, protože na obou stanovištích je přítomna zeleň a vodní prvek. Na Karlově náměstí bylo díky vysoké a husté zeleni stanoviště při prvním a posledním okruhu ve stínu. Stanoviště ulice Odborů bylo ve stínu celý den díky vysoké okolní zástavbě. Ukázalo se, že nižší průměrné teploty byly zjištěny i na stanovišti Náplavka. Domnívám se, že k tomu přispěla bezprostřední blízkost řeky Vltavy.

Porovnáme-li stanoviště Jiráskovo náměstí a stanoviště zastávka Novoměstská radnice, tak v chladných dnech jsou teploty téměř stejné a v teplých dnech jsou teploty na stanovišti Jiráskovo náměstí vyšší. Domnívám se, že je to způsobené tím, že

v teplých dnech zastávku Novoměstská radnice ovlivňoval stín zeleně a tím se teplota snížila na rozdíl od Jiráskova náměstí, kde není téměř žádná zeleň a ze západní strany není žádná překážka pro sluneční svit. V chladných dnech, kdy bylo spíše oblačno, tuto překážku tvořila oblaka a tím pádem se snížila teplota i na Jiráskově náměstí.

Seřadíme-li stanoviště podle hodnot průměrných teplot, zůstává pořadí stanovišť za teplých i chladných dnů stejné.

### 5.2.2 Porovnání stanovišť na základě Heat indexu

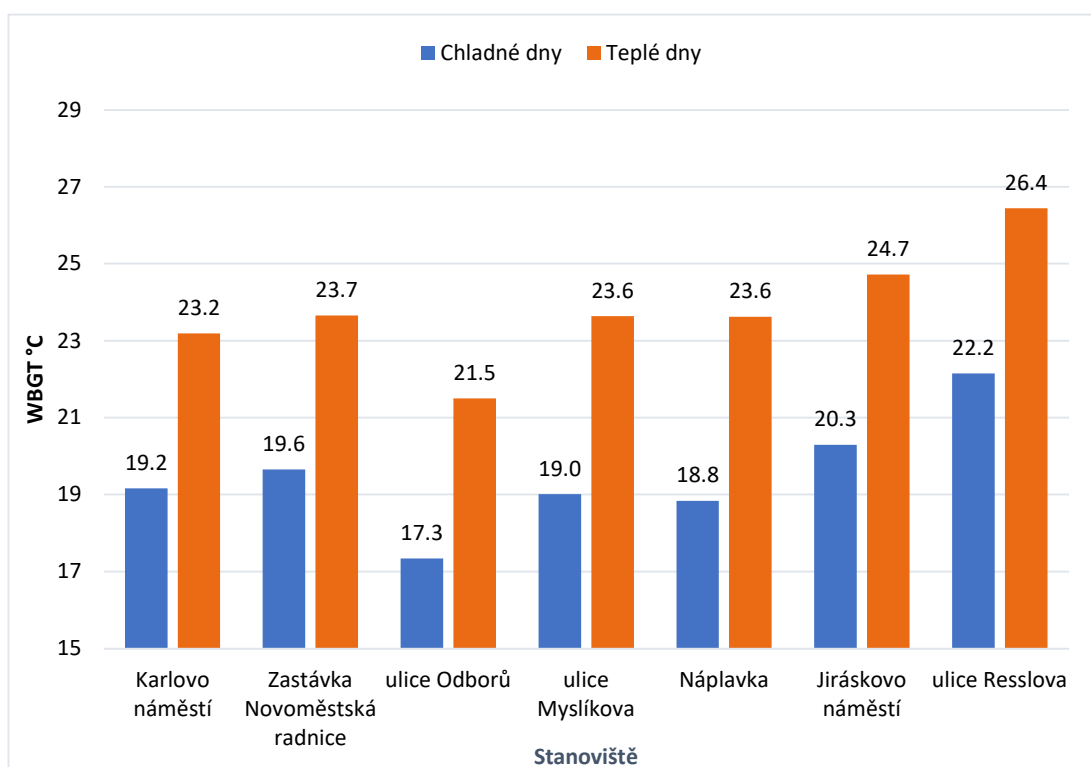


Obr. 18: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska Heat indexu.

Na obr. 18 jsou znázorněné průměrné hodnoty Heat indexu v teplých a chladných dnech. U jednotlivých stanovišť jsou vidět větší rozdíly mezi teplými a chladnými dny, než tomu bylo při porovnání hodnot průměrné teploty.

Při měření v ulici Resslerova mi bylo pocitově horko, zatímco v ulici Odborů pocitově mnohem chladněji. Předpokládala jsem tedy na stanovišti ulice Resslerova vysokou hodnotu Heat indexu a na stanovišti ulice Odborů nízkou, což se potvrdilo. Rozdíl mezi nejteplejší Resslerovou ulicí a druhým nejteplejším stanovištěm byl i v případě Heat indexu 2 °C.

### 5.2.3 Porovnání stanovišť na základě WBGT



Obr. 19: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska WBGT.

Na obr. 19 jsou znázorněny průměrné hodnoty WBGT v teplých a chladných dnech. Největší tepelná zátěž byla opět na stanovišti Resslova ulice. Výrazně nejmenší hodnoty WBGT v ulici Odborů souvisí s tím, že přístroj byl na tomto stanovišti celý den ve stínu, na rozdíl od ostatních stanovišť, kde vždy alespoň nějakou část dne sluneční záření na přístroj dopadalo. Další vliv na tyto nízké hodnoty mohla mít zeď, která byla blízko přístroje.

Existují různé limity rizika tepelného stresu např. pro vojáky, atlety, pro školy a pro pracovní prostředí. Pro tuto práci byly vybrány limity pro atlety (viz. tab. 2).

Tab. 2: Tabulka znázorňující riziko tepelného stresu pro člověka při zvýšené fyzické námaze (např. u sportovců); (podle [www.kestrelinstruments.com](http://www.kestrelinstruments.com)).

	RIZIKO	WBGT °C
	malé	< 18,0
	střední	18,1 - 23,0
	vysoké	23,1 - 28,0
	extrémní	> 28,0

Z obr. 19 je vidět, že nejnižší průměrná hodnota WBGT byla naměřena v ulici Odborů, kde mi při měření bylo příjemně. Průměrná hodnota WBGT na tomto stanovišti během chladných dnů byla nižší než 18 °C (malé riziko). V teplých dnech, kdy naměřené teploty dosahovaly vysokých hodnot, zde bylo stále příjemněji než na ostatních stanovištích – průměrná hodnota WBGT byla 21,5 °C (střední riziko). Avšak během teplých dnů došlo i v ulici Odborů k překročení vysokého rizika, nejvyšší hodnota WBGT byla 25,6 °C.

Nejvyšší průměrná hodnota WBGT byla zjištěna v ulici Resslerova. Z mé zkušenosti byl již 7minutový pobyt při měření na tomto místě velmi náročný, což bylo zapříčiněno zejména intenzivním slunečním zářením v průběhu dne. Průměrná hodnota WBGT na tomto stanovišti během chladných dnů byla 22,2 °C (střední riziko). Během teplých dnů byla průměrná hodnota WBGT 26,4 °C (vysoké riziko). Nejnižší naměřená hodnota byla 16,8 °C a nejvyšší 30,4 °C. Nejnižší hodnota byla naměřena 5. 7. v 9:15 hod. v prvním okruhu, kdy bylo zataženo. Tato nízká hodnota mohla být zapříčiněna také tím, že bylo ráno a budova, vedle které byl přístroj postavený, ještě nevyzařovala teplo, protože bylo od rána zataženo. Nejvyšší hodnota WBGT nebyla naměřena v den, který byl nejteplejší podle průměrných hodnot (28. 8.), ale už 27. 8. ve 13:15. V té době bylo skoro jasno a povrch stanoviště i budova, která byla hned vedle přístroje, už byly rozpálené, což mohlo tuto hodnotu ovlivňovat.

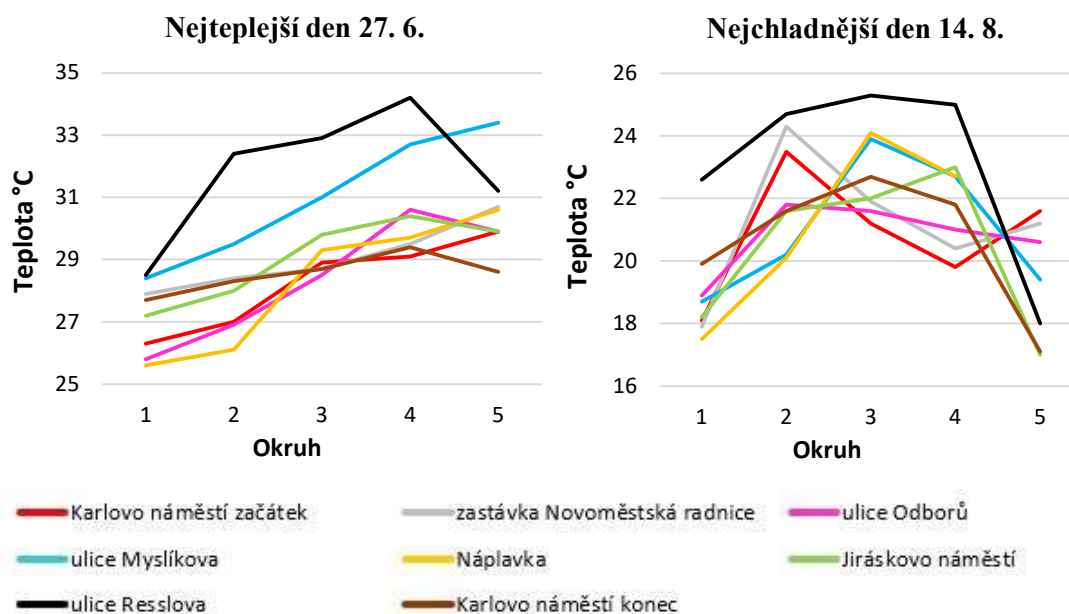
Během teplých dnů byly u šesti stanovišť průměrné hodnoty WBGT 23,1 °C a vyšší, což představuje vysoké riziko přehřátí organismu. V každý teplý den byla také překročena hodnota WBGT, která představuje extrémní riziko. Tato hodnota byla nejčastěji překročena na stanovišti ulice Resslerova, ale k překročení docházelo i na stanovišti Náplavka a Jiráskovo náměstí (viz tab. 3).

*Tab. 3: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty WBGT na stanovišti Resslerova ulice, počet překročení hodnoty WBGT představující extrémní riziko (28 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.*

	max. hodnota WBGT [°C]	hodnota překročena v okruhu	hodnota byla překročena za den	překročeno zároveň na stanovišti
27. 6.	30,3	2.,3.,4.	3x	
2. 7.	28,5	3.,4.	2x	
27. 8.	30,4	3.,4.,5.	5x	Náplavka, Jiráskovo náměstí
28. 8.	28,8	2.,5.	2x	Jiráskovo náměstí



## 5.2.4 Průběh teploty během nejteplejšího a nejchladnějšího dne



Obr. 20: Průběh teploty na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (27. 6.) a nejchladnějšího dne (14. 8.).

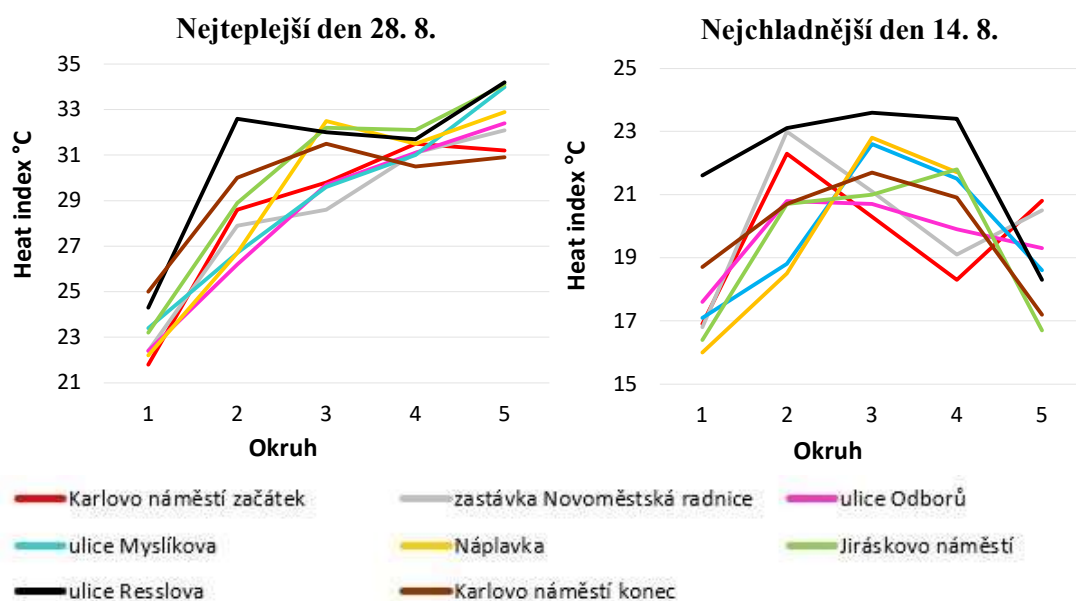
Na obr. 20 je zobrazen průběh teploty na každém stanovišti v nejteplejší a nejchladnější den. Na vodorovné ose je vyznačeno pořadí měření. Hodnoty naměřené v prvním okruhu jsou sice na vodorovné ose nad sebou, avšak reálně v čase probíhalo měření postupně (hodnoty zobrazené v grafu pro 1. okruh nebyly měřeny ve stejném čase). Z důvodu přehlednosti grafů bylo zvoleno toto znázornění. To samé platí i pro ostatní hodnoty na vodorovné ose.

Během nejteplejšího dne (27. 6.) teplota na všech stanovištích postupně rostla. Až při posledním okruhu došlo k poklesu teploty na některých stanovištích. Dle poznámek z měření se domnívám, že je to způsobeno zastíněním některých stanovišť – ulice Resslova, Karlovo náměstí konec, Jiráskovo náměstí, ulice Odborů. K nejvýraznějšímu poklesu došlo na stanovišti ulice Resslova. Domnívám se, že je to způsobeno intenzivním slunečním zářením během předchozích okruhů, tudíž po zastínění došlo k výraznějšímu poklesu. K nejvyšším nárůstům teploty během dne došlo na stanovišti ulice Myslíkova a na stanovišti ulice Resslova. Může to být způsobeno akumulací tepla mezi zástavbou.

V nejméně chladný den (14. 8.) teploty po první 3 okruhu rostly kromě stanovišť – Karlovo náměstí začátek, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, kde při 3. okruhu došlo k poklesu. Souvisí to s tím, že začalo poprchávat (krátká přeháňka). Na ostatních stanovištích bylo polojasno. Při čtvrtém okruhu se opět zatáhlo a teploty mírně klesly, kromě stanoviště Jiráskovo náměstí, kde po dobu měření bylo polojasno. V době mezi koncem 4. a začátkem 5. měření se množství oblačnosti snížilo, proto na stanovištích Karlovo náměstí začátek a zastávka Novoměstská radnice teploty vzrostly, avšak při měření na stanovišti ulice Odborů se opět zatáhlo a při měření na následujícím stanovišti ulice Myslíkova začalo opět pršet. Kvůli silnému dešti bylo měření na tomto stanovišti zkráceno a na stanovišti Náplavka vynecháno. Teploty na ostatních stanovištích také klesly.

Vyvozovala jsem, že při chladných dnech má na teplotu značný vliv oblačnost a srážky.

### 5.2.5 Průběh Heat indexu během nejteplejšího a nejméně chladného dne



Obr. 21: Průběh Heat indexu na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (28. 8.) a nejméně chladného dne (14. 8.).

Z hlediska Heat indexu vyšel nejteplejší den 28. 8. Jedná se o jiný den než z hlediska teploty, což bylo způsobené zvýšenou vlhkostí vzduchu (tab. 4).

Dne 27. 6. byla průměrná relativní vlhkost za celý den 32,8 % a dne 28. 8. byla 58,1 %. Vidíme tedy, že vlivem nízké relativní vlhkosti vzduchu se dne 27. 6. snížila hodnota Heat indexu oproti teplotě, proto tento den nebyl nejteplejším z hlediska Heat

indexu. I přesto, že byly v obou dnech teploty podobné, tak vlivem vysoké hodnoty relativní vlhkosti byl den 28. 8. z hlediska Heat indexu teplejší. Podobnosti a rozdíly jsou patrné z tab. 4.

Tab. 4: Tabulka porovnávající dva nejteplejší dny z hlediska průměrné teploty, Heat indexu, relativní vlhkosti a oblačnosti.

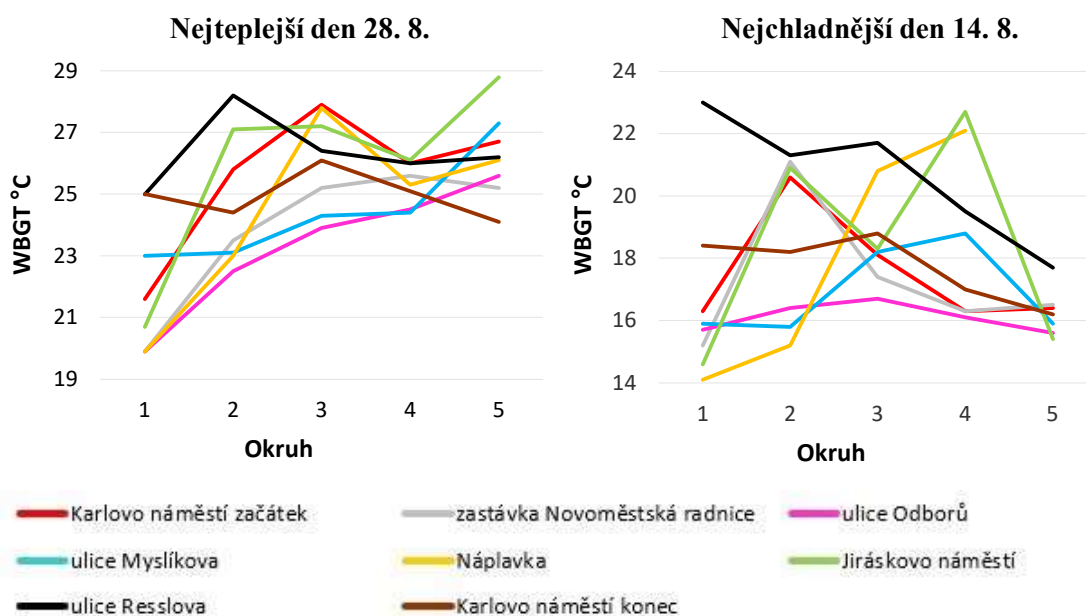
	Teplota [°C]		Heat index [°C]		Relativní vlhkost [%]		Oblačnost	
	27. 6.	28. 8.	27. 6.	28. 8.	27. 6.	28. 8.	27. 6.	28. 8.
<b>Karlovo náměstí začátek</b>	27,9	27,2	26,8	28,6	36,2	61,2	0/8	4/8
<b>Zastávka Novoměstská radnice</b>	29,0	27,1	27,8	28,4	33,0	60,8	0/8	4/8
<b>ulice Odborů</b>	28,3	27,2	27,0	28,4	34,2	59,0	0/8	5/8
<b>ulice Myslíkova</b>	31,0	27,7	29,9	28,9	30,8	58,2	0/8	5/8
<b>Náplavka</b>	28,3	27,7	27,0	29,2	35,4	58,0	1/8	5/8
<b>Jiráskovo náměstí</b>	29,1	28,6	27,7	30,1	32,4	55,6	0/8	6/8
<b>ulice Resslera</b>	31,8	29,3	30,6	31,0	27,8	53,8	0/8	5/8
<b>Karlovo náměstí konec</b>	28,7	28,1	27,5	29,7	32,6	57,8	0/8	5/8

Hodnoty Heat indexu v průběhu dne 28. 8. stále rostly. Zvýšení hodnot Heat indexu v posledním okruhu pravděpodobně nastalo vlivem vysoké vlhkosti. Zvýšení hodnot Heat indexu v posledním okruhu mohlo nastat vlivem vysoké vlhkosti. Cítala jsem dusno, což bylo zapříčiněno zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu, vyšší teplotou

a nízkou rychlostí větru. Tento den převládalo oblačné počasí, na rozdíl od 27. 6., kdy bylo jasno. Během prvních dvou okruhů bylo jasno až polojasno (0/8–4/8), avšak během třetího okruhu se zatáhlo a až do čtvrtého okruhu bylo zataženo (7/8–8/8), v pátém okruhu se na konci měření míra oblačnosti opět snížila ze 7/8 na 3/8.

Nejchladnější den z hlediska Heat indexu byl 14. 8. Jedná se o stejný den jako z hlediska teploty. Vlivem častých přeháněk kolísala hodnota relativní vlhkosti vzduchu v průběhu dne a na základě toho kolísaly i hodnoty Heat indexu. Výjimku tvoří stanoviště Jiráskovo náměstí, ulice Resslerova a Karlovo náměstí konec, kde padaly srážky při měření jen při pátém okruhu, relativní vlhkost se zvýšila, avšak teploty razantně klesly a s nimi i hodnota Heat indexu. Z toho lze vypožorovat, že při nižších teplotách je hodnota Heat indexu relativní vlhkostí vzduchu ovlivněna méně (příkladem může být 5. okruh, stanoviště v ulici Resslerova, kde byla naměřena teplota 18 °C a relativní vlhkost vzduchu 92 %, hodnota Heat indexu stoupla pouze na 18,3 °C). Na prvních čtyřech stanovištích ještě nepadaly srážky, relativní vlhkost vzduchu se postupně zvyšovala a teplota byla vyšší než na následujících stanovištích, proto hodnota Heat indexu v pátém okruhu rostla.

### 5.2.6 Průběh WBGT během nejteplejšího a nejchladnějšího dne



Obr. 22: Průběh WBGT na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (28. 8.) a nejchladnějšího dne (14. 8.).

Nejteplejší den z hlediska WBGT byl 28. 8. stejně jako z hlediska Heat indexu. Dle mých poznámek jsou nižší hodnoty WBGT v prvním okruhu u stanovišť Karlovo náměstí začátek, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, Náplavka a Jiráskovo náměstí dány zastíněním stanoviště během měření. Poklesy jsou způsobeny zejména zvýšením rychlosti větru a větší oblačností (7/8, 8/8). V posledním okruhu došlo na většině stanovišť opět k růstu, jelikož došlo ke zmenšení oblačnosti (4/8) a ke zvýšení teploty.

Zajímavostí během nejchladnějšího dne (14. 8.) byl vzrůst hodnot WBGT mezi druhým a čtvrtým okruhem na stanovištích ulice Myslíkova, Náplavka. Vysvětlují si to nižší oblačností (4/8) než při měření na ostatních stanovištích (7/8). Na stanovištích Karlovo náměstí začátek a zastávka Novoměstská radnice došlo naopak k poklesu hodnot WBGT, což si vysvětlují přeháňkami při měření (3. okruh) a zvětšenou oblačností (7/8). Výkyv v intervalu mezi druhým a čtvrtým měřením na stanovišti Jiráskovo náměstí je dle mého názoru způsobený zvětšením oblačnosti při měření ve třetím okruhu (6/8) a následným zmenšením při měření ve čtvrtém okruhu (3/8).

Hodnoty v posledním okruhu jsou ovlivněny deštěm a snížením teploty.

## 6 DISKUZE

Jednotlivá stanoviště lze rozdělit do dvou skupin: na stanoviště, kde se vyskytuje zeleň a vodní prvek, a na stanoviště, která jsou obklopena zástavbou a kde se zeleň ani vodní prvek nevyskytuje.

Do první skupiny můžeme zařadit stanoviště Karlovo náměstí, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, ulice Myslíkova a Náplavka. Do druhé skupiny patří stanoviště Jiráskovo náměstí a ulice Resslera.

Podle výsledků je nejchladnější stanoviště č. 3 (ulice Odborů). Podle mého názoru je to způsobeno výskytem zeleně a vodního prvku (malá fontána). Dalším důvodem je téměř celodenní zastínění tohoto stanoviště, což je způsobeno hustou vysokou okolní zástavbou. Vysoká zástavba zabraňuje průniku přímého slunečního záření, proto se na tomto stanoviště příliš neakumuluje teplo. Tyto podmínky pozitivně přispívají ke snížení hodnot WBGT (index tepelného stresu), proto se na tomto stanovišti člověk cítí příjemně.

Nejteplejší je stanoviště č. 7 (ulice Resslera). Ulice Resslera je z obou stran lemována vysokou zástavbou. Od rána do odpoledne (cca 16:00 hod.) je vystavena přímému slunečnímu záření. Nevyskytuje se zde zeleň ani vodní prvek. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami a vedle stanoviště vede vytižená silnice, která má asfaltový povrch. Teploty zde mohou být také ovlivněny vznikem antropogenního tepla právě z automobilů, které projíždějí nebo se zdržují na této vytižené silnici. Vysoká zástavba akumuluje během dne teplo, které ve večerních hodinách vyzařuje a tím tuto ulici otepluje. Na tomto stanovišti byla hodnota WBGT během teplých dnů vysoká, proto se zde člověk cítí nepříjemně. Během chladných dnů byl pobyt také méně příjemný i když hodnota WBGT byla vyhodnocena jako střední.

Z každého grafu (obr. 17–22) je viditelné, že extrémy zůstávají stejné. Minima na stanovišti v ulici Odborů a maxima na stanovišti v ulici Resslera.

Všechny teplé dny lze označit jako tropické, tj. maximální denní teplota byla vyšší nebo rovna 30 °C. První tropický den byl 27. 6., kdy maximální naměřená teplota byla 34,2 °C. Druhý tropický den byl 2. 7. s maximální naměřenou teplotou 32,6 °C. Třetím tropickým dnem byl 27. 8. s nejvyšší teplotou 32,7 °C a čtvrtý tropický den 28. 8. měl maximální teplotu 32,0 °C.

Na základě výsledků byly stanoveny dva dny jako nejteplejší: 27. 6. z hlediska teploty a 28. 8. z hlediska hodnot Heat indexu a WBGT. Dne 27. 6. bylo celý den jasno, na rozdíl od 28. 8., kdy bylo převážně polojasno až oblačno. Tím si vysvětlují, proč byl z hlediska teploty nejteplejším dnem právě 27. 6. Hodnoty relativní vlhkosti byly 28. 8. vyšší než 27. 6. Podle definice Heat indexu je relativní vlhkost meteorologický prvek, který tento index ovlivňuje. Pokud je relativní vlhkost vysoká, zvyšují se i hodnoty Heat indexu, a naopak. To vysvětluje, proč 28. 8. byly dosaženy vyšší hodnoty Heat indexu než 27. 6. Při vyšších hodnotách Heat indexu se člověk hůře zbavuje přebytečného tepla pocením, proto je mu pocitově větší horko. To také vysvětluje, proč mi 28. 8. bylo pocitově větší horko a cítila jsem dusno.

I z hlediska WBGT byl nejteplejším dnem na základě průměru stanoven 28. 8. Přitom nejvyšší hodnota WBGT byla naměřena 27. 8., dokonce i extrémní riziko (min. 28,0 °C) tepelného stresu bylo tento den překročeno 5x na rozdíl od 28. 8., kdy bylo překročeno pouze 2x. Zajímavé je, že hodnota WBGT, která představuje extrémní riziko, nebyla překročena pouze na nejteplejším stanovišti ulice Resslerova, ale i na stanovištích Jiráskovo náměstí a Náplavka. Překročení hodnoty na stanovištích Náplavka a Jiráskovo náměstí mohlo být způsobené tím, že na těchto stanovištích byly v době extrémního rizika podle WBGT naměřeny i vyšší teploty (30,6 °C, 31,2 °C, 31,8 °C), bylo skoro jasno a stanoviště byla vystavena přímému slunečnímu záření.

Za nejteplejší den z hlediska Heat indexu byl na základě průměrných hodnot stanoven den 28. 8., avšak nejvyšší hodnota 35,6 °C byla zjištěna v jiný den (27. 8.). Jak bylo výše zmíněno, Heat index kombinuje teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Domnívám se, že tato vysoká hodnota byla způsobena výkyvem teploty, protože nejvyšší hodnota byla naměřena v 15:15 hod., kdy byla naměřena i nejvyšší teplota (32,7 °C) tento den. V tento čas bylo také skoro jasno a vlhkost vzduchu byla 45 %. Průměrná teplota a průměrná hodnota Heat indexu 27. 8. byla ale nižší než 28. 8., i když tento den bylo převážně oblačno a maximální denní teplota byla 32,0 °C. Proto 27. 8. nebyl nejteplejším dnem z hlediska průměrné hodnoty Heat indexu.

Heat index, WBGT a další obdobné indexy tepelné zátěže mají smysl především ve dnech, které se vyznačují vyššími teplotami. Proto byly porovnávány hlavně výše zmiňované dva tropické dny (27. 6., 28. 8.).

Z výsledků je patrné, že podmínky na stanovišti Náplavka jsou srovnatelné se stanovištěm Karlovo náměstí. Domnívám se, že je to způsobené tím, že na těchto dvou stanovištích se nachází zeleň nebo vodní prvek.

Stanoviště Karlovo náměstí se nachází v parku, tudíž se zde vyskytuje zeleň (stromy) i vodní prvek (kašna). Stromy fungují jako klimatizační zařízení. Část sluneční energie dopadající na povrch se zachytí v koruně stromu, ve které je obsažena voda, a následně dochází k výparu a tímto jevem stromy ochlazují své okolí. Sluneční energie, která je vázaná ve vodní páře ve formě tepla se uvolňuje při kondenzaci vodní páry na vodu a uvolní se na chladných místech, na kterých se potom vodní pára sráží ve formě rosy nebo mlhy. Strom přetváří sluneční záření v chlad a vlhko a tím vytváří chladný stín. Pokorný a kol. (2018) uvádí, že jeden vzrostlý strom dobře zásobený vodou v horkém počasí chladí výkonem srovnatelným s několika klimatizačními jednotkami. Chlad v parcích se nejvíce projeví v nejteplejších částech dne při slunečném počasí (Žák a Zahradníček, 2017; Pokorný a kol., 2018).

Podobně jako stromy, tak i vodní plochy ochlazují své okolí. Ačkoliv se na stanovišti Náplavka nenacházejí žádné stromy a sluneční záření zde dopadá téměř celý den, tak jsou podmínky podobné jako na stanovišti Karlovo náměstí. Domnívám se, že je to tím, že se Náplavka nachází v blízkosti řeky Vltavy, která zde způsobuje příjemnější klima.

Zvýšení teploty vlivem městského tepelného ostrova má vliv na zdraví člověka. S přibývajícím výskytem horkých vln roste počet úmrtí, proto je důležité řešit negativní vlivy tohoto jevu. Pro zmírnění negativních vlivů městského tepelného ostrova je důležitá obnova a uchování stromové zeleně, protože stromy ochlazují i své vzdálené okolí. Častým trendem je nahrazování vzrostlých stromů úpravami s převahou trvalých travních nebo keřových porostů. Travní porost má krátké kořeny a vysušuje se, protože vodní pára je unášena teplým vzduchem vzhůru do atmosféry a porost vodu ztrácí. Náhrada stromů travními nebo keřovými porosty nemůže být považována za vhodnou úpravu městského prostředí, protože tyto porosty nemohou nikdy dosáhnout chladícího efektu stromů. Dalším problémem jsou zvýšené noční teploty, proto je důležité také snížit ohřívání budov a ulic ve městech během dne. Tento problém lze řešit budováním zelených střech a fasád nebo použitím stavebních materiálů, které pohlcují méně slunečního záření (vápenec, světlé cihly, světlý beton) (Žák a Zahradníček, 2017; Pokorný a kol., 2018)



Vybírání měřících dnů bylo náročné. Kritériem pro ideální den byla předpověď teplého, jasného nebo polojasného počasí bez bouřek. Bylo těžké skloubit tato kritéria s časovými možnostmi (obdobná měření probíhala paralelně i v další lokalitě). Bylo nutné se na těchto ideálních dnech pro měření domluvit týden dopředu, což představovalo problém, že se mohla změnit předpověď počasí. Pro příští měření by stálo za úvahu optimalizovat postup tak, aby bylo možné naměřit více tropických dnů. Během měření by také bylo vhodné prodloužit dobu aklimatizace přístroje. Pokud byl přístroj postaven ve stínu a poté na přímé sluneční záření nebo naopak, trvala aklimatizace déle. Aklimatizace přístroje je důležitá hlavně kvůli měření indexu WBGT, u kterého se neuvažovalo s průměrnou hodnotou za šestiminutový interval, ale pouze s poslední hodnotou z daného intervalu. Z tohoto důvodu jsou hodnoty WBGT rozkolísanější než hodnoty Heat indexu nebo teploty.

## 7 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

Cílem práce bylo zhodnotit vliv městského prostředí na tepelný komfort. V rámci vybraného okruhu v okolí Karlova náměstí bylo na základě zpracování vlastních měření v devíti dnech od června do srpna 2019 zjištěno, že nejteplejším stanovištěm je ulice Resslerova a nejchladnějším ulice Odborů. Rozdíly mezi stanovišti byly výrazné jak z hlediska teploty, tak indexů tepelné zátěže, a projevovaly se v teplých i chladných dnech.

Tepelný komfort je definován jako subjektivní pocit, kdy se člověk cítí příjemně. Po ukončení měření v praktické části jsem došla k závěru, že příjemně mi bylo na stanovištích s výskytem zeleně či vodních prvků, nepříjemně naopak na stanovištích obklopených zástavbou a povrchy s vlastností dobré akumulace tepla. Toto se mi potvrdilo i ve výsledcích.

Na stanovišti ulice Resslerova bylo nejčastěji překročeno extrémní riziko tepelného stresu (WBGT) a byly zde naměřeny i nejvyšší teploty a hodnoty Heat indexu. Tyto aspekty ukazují na velkou míru tepelné zátěže na tomto stanovišti. Naopak na stanovišti v ulici Odborů byly teploty a hodnoty Heat indexu nejnižší a tepelný stres nepřekročil střední riziko.

K překročení hodnoty extrémního rizika tepelného stresu došlo minimálně 2x ve všech teplých dnech. Rozdíly sledovaných prvků a indexů se nejvíce projevíly během dvou tropických dnů (27. 6., 28. 8.), které se vyznačovaly odlišným charakterem počasí, zejména z hlediska vlhkosti vzduchu a oblačnosti.

Pro zlepšení tepelného komfortu ve městech a zmírnění dopadů městského tepelného ostrova je potřeba územního plánování, které vytyčí vhodné plochy v urbanizovaných oblastech pro výsadbu zeleně (stromů), ochrání parky a vodní plochy a toky. V projektové fázi nových staveb by bylo vhodné brát zřetel na volbu povrchových materiálů a jiných prvků (zelené fasády, střechy) vzhledem ke zmírňování dopadů městského tepelného ostrova a zvyšování tepelného komfortu.

## 8 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 8.1 Odborné publikace

Aguado, E., Burt, J.E. 2015: *Understanding Weather and Climate*. Boston: Pearson. ISBN 0321987306.

Blazejczyk, K., Epstein, M., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. 2010. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int J Biometeorol* 56. 515–535.

Dimiceli, V. E., Piltz, S.F., Amburn, S.A. 2011: Estimation of Black Globe Temperature for Calculation of the Wet Bulb Globe Temperature Index. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2011 2*. ISSN: 2078-0966.

Dobrovolný, P., Řezníčková, L., Brázdil, R., Krahula L., Zahradníček, P., Hradil, M., Doležalová M., Šálek, M., Štěpánek, P., Rožnovský, J., Valášek, H., Kirchner, K., Kolejka, J. 2012: *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Masarykova univerzita, Brno. ISBN: 9788021060296.

Epstein, Y., Moran, D. 2006: Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health* 44. 388–398.

Hakim, G.J., Patoux, J. 2018: *Weather: a Concise Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. ISBN: 978110840655.

Hejlová, V., Voženílek, V. 2015: Současný stav výzkumu klimatu městského prostředí ve světě. *Meteorologické zprávy* 68. 153–160.

Kalvová, J., Mikšovský, J., Raidl, A. 2009: Klima a jeho změny. In: Braniš, M., Hůnová, I: *Atmosféra a klima. Aktuální otázky znečištění ovzduší*. Karolinum, Praha. 280–322. ISBN 9788024615981.

Kershaw, T. 2017: *Climate Change Resilience in the Urban Environment*. IOP Publishing, Bristol, United Kingdom.

Krška, K., Munzar, J., Nedelka, M., Pejml, K. 1989: *Malý průvodce meteorologií*. Mladá fronta, Praha.

Kříž, V., Schneider, B., Tolasz, R. 1994. *Cvičení z meteorologie, klimatologie a hydrologie*. Ostravská univerzita, Ostrava. ISBN:8070427191.

Lishke, P., Frank, V. 1984: Hydrologie, meteorologie, pedologie I. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

Miller, F.P., Vandome, A.F., McBrewster, J. 2009: Solar Energy: Insolation, Sunlight, Passive Solar Building Design, Urban Heat Island, Agriculture, Greenhouse, Solar Thermal Energy, Solar Hot Water, Solar Combisystem, Solar Heating. Alphascript Publiication, Beau Bassin. ISBN: 6130004729.

Moran, J.M., Morgan, M.D. 1989: Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather. Macmillan Publication Co, New York.

Mohan, M., Gupta, A., Bhati, S. 2014: A modified approach to analyze thermal comfort classification. Atmospheric and Climate Sciences 4. 7–19.

Novák, M. 2007: Problematika komplexních thw indexů a její řešení v biometeorologické předpovědi ČHMÚ. In: Střelcová, K., Škvarenina, J. & Blaženc, M. (eds.): Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovensko. ISBN 978-80-228-17-60-8.

Oke, T.R., 1997: Urban Climates and Global Environmental Change. In Applied Climatology (eds: Thompson, R. D. and Perry, A.). Routledge, London-New York.

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A. 2017: Urban Climates. Cambridge University Press, USA. ISBN 978-1-107-42953-6.

Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Huryna, H., Seják, J. 2018: Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. Urbanismus a územní rozvoj 21. 26–37.

Rohli, R.V., Vega, A.J. 2018: Climatology. Jones & Bartlett Learning, Burlington, Massachusetts. ISBN: 128411998X.

Roth, G.D. 2000: Malá encyklopedie počasí: jak porozumět počasí a meteorologickým předpovědím. Knižní klub, Praha. ISBN 8022420228X.

Rožnovský, J. 2003: Klimatologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. ISBN 80-7157-419-8.

Rožnovský, J: 2014: Změny podnebí. Univerzita J.E. Purkyně, Ústí nad Labem. ISBN 978-80-7414-884-2.

Ruda, A. 2014: Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Masarykova univerzita, Brno. ISBN: 1802128X.

Skalák, P., Žák, M., Zahradníček, P., Helman, K. 2015: Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy. Meteorologické zprávy 68. 18–23.

Stull, R. 2011: Wet-bulb temperature from relative humidity and air temperature. Journal of applied meteorology and climatology 50, 2267–2269.

Vacek, O., Kunt, M., Čechová, K. 2017: Městský tepelný ostrov. Nika 06/2018. 18–21.

Vysoudil, M. 1991: Klimatologie – základy bioklimatologie. Univerzita Palackého, Olomouc.

Vysoudil, M. 2013: Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého, Olomouc. ISBN 978-80-244-3893-1

Žák, M., Zahradníček, P., Skalák, P. 2015: Co víme o tepelném ostrovu Prahy? In: Vytápění, větrání, instalace. Společnost pro techniku prostředí, Praha. 10–15.

## 8. 2 Internetové zdroje

Centnerová, L. 13.12.2000: Tepelná pohoda a nepohoda (online) [cit. 2020.02.08], dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>

Česká meteorologická společnost (online): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) [cit. 2020.02.05], dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

Smolka, V. 12.09.2016: Sluneční svit a jeho měření (online) [cit. 2020.02.08], dostupné z <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/slunecni-svit/>.

UrbanAdapt, 2015: Praha (online) [cit. 2020.03.27], dostupné z <https://urbanadapt.cz/cs/praha>.

Žák, M., Zahradníček, P. 22. 06. 2017: Tepelný ostrov v Praze a možnosti zmírnění jeho negativních dopadů (online) [cit. 2020. 03. 20], dostupné z [http://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938\\_800079\\_Tepelny\\_ostrov\\_vPraze\\_MZak.pdf](http://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938_800079_Tepelny_ostrov_vPraze_MZak.pdf).

### **8. 3 Ostatní zdroje**

Kestrel, 1999: Kestrel 5000AG, 5400AG, 5500 AG – Návod k použití. Leading Farmers CZ, a.s., Praha 14, 15 s.

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Beaufortova stupnice větru (Elektronický meteorologický slovník).
- Obr. 2: Světové strany v mezinárodních zkratkách a ve stupních.
- Obr. 3: Vyjádření oblačnosti v osminách (Kříž a kol., 1994).
- Obr. 4: Insolace (Vysoudil, 1991).
- Obr. 5: Spektrum záření. Vlnová délka je uvedena v cm (Vysoudil, 1991).
- Obr. 6: Vliv vysokých budov na tepelný ostrov (Rohli a Vega, 2018).
- Obr. 7: Městský kaňon (Urban canyon) (Rohli a Vega, 2008).
- Obr. 8: Znázornění rozdílu průměrných minimálních teplot za období 2001–2010 a 1961–1971 (Žák a Zahradníček, 2017).
- Obr. 9: Schematický plán zkoumaného území s vyznačenými stanovišti (upraveno podle [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz)).
- Obr. 10: Stanoviště č. 1,8 (park na Karlově náměstí).
- Obr. 11: Stanoviště č. 2 (zastávka Novoměstská radnice).
- Obr. 12: Stanoviště č. 3 (ulice Odborů).
- Obr. 13: Stanoviště č. 4 (ulice Myslíkova).
- Obr. 14: Stanoviště č. 5 (Náplavka).
- Obr. 15: Stanoviště č. 6 (Jiráskovo náměstí).
- Obr. 16: Stanoviště č. 7 (ulice Resslera).
- Obr. 17: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska průměrné teploty.
- Obr. 18: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska Heat indexu.
- Obr. 19: Graf znázorňující rozdíly teplých a chladných dnů na stanovištích z hlediska WBGT.
- Obr. 20: Průběh teploty na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (27. 6.) a nejchladnějšího dne (14. 8.).

Obr. 21: Průběh Heat index na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (28. 8.) a nejchladnějšího dne (14. 8.).

Obr. 22: Průběh WBGT na jednotlivých stanovištích během nejteplejšího (28. 8.) a nejchladnějšího dne (14. 8.).

Tab. 1: Průměrné hodnoty meteorologických prvků v jednotlivých dnech měření pro vybrané stanoviště č. 7 – ulice Resslova. Modré zvýraznění řádků značí chladné dny a žluté zvýraznění značí teplé dny. Tučně jsou označeny nejvyšší naměřené hodnoty (u oblačnosti je označena nejnižší míra oblačnosti). Zkratka HI znamená Heat index.

Tab. 2: Tabulka znázorňující riziko tepelného stresu pro člověka při zvýšené fyzické námaze (např. u sportovců); (podle [www.kestrelinstruments.com](http://www.kestrelinstruments.com)).

Tab. 3: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty WBGT na stanovišti Resslova ulice, počet překročení hodnoty WBGT představující extrémní riziko (28 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

Tab. 4: Tabulka porovnávající dva nejteplejší dny z hlediska průměrné teploty, Heat indexu, relativní vlhkosti a oblačnosti.



