

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



**Vliv městského prostředí na tepelný komfort - případová studie
Praha - Vršovice**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zpracovatel: Ondřej Peč
Vedoucí práce: Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Peč

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv městského prostředí na tepelný komfort – případová studie Praha – Vršovice

Název anglicky

Effects of urban environment on thermal comfort – case study Prague – Vršovice

Cíle práce

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 souborů faktorů. Kromě teploty vzduchu mají významný vliv další meteorologické prvky jako jsou vlhkost vzduchu, rychlost větru a sluneční záření, které se mohou výrazně lišit během dne a v závislosti na fyzikálních vlastnostech konkrétní lokality.

Metodika

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 naším cílem kvantifikovat vliv vybraných typů městského prostředí (zeleně, vodních ploch) na tepelný komfort na základě měření tzv. pocitové teploty pomocí přenosného přístroje (Kestrel 5400). Měření budou provedena v lokalitě Praha – Vršovice.

Doporučený rozsah práce

30-50 stran

Klíčová slova

tepelný komfort

Doporučené zdroje informací

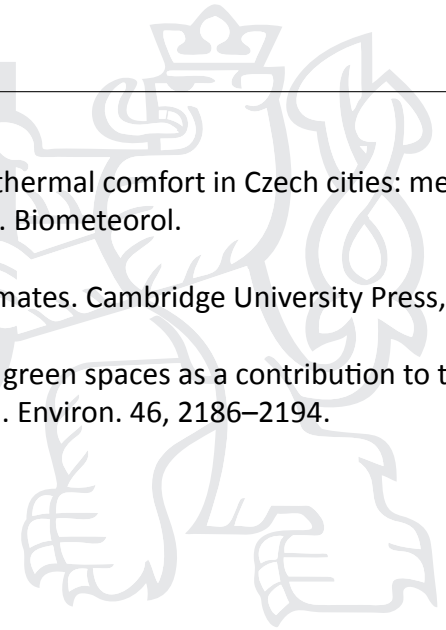
Lehnert, M., Tokar, V., Jurek, M., Geletič, J., 2020. Summer thermal comfort in Czech cities: measured effects of blue and green features in city centres. Int. J. Biometeorol.

doi:10.1007/s00484-020-02010-y

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

Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T., 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat : A case study in Lisbon. Build. Environ. 46, 2186–2194.

doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.034



Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 3. 12. 2020

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv městského prostředí na tepelný komfort vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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 14. 3. 2021

.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Mgr. Aleši Urbanovi, Ph.D. za trpělivý a vstřícný přístup, poskytnuté rady a odborné konzultace při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu a zázemí, které mi během psaní a měření poskytli.

Abstrakt

Cílem této práce je sepsat poznatky vztahující se k vlivu městského prostředí na tepelný komfort člověka. V rešeršní části práce jsou vypsány jednotlivé meteorologické prvky ovlivňující klima měst, je zde vysvětlena problematika efektu tepelných ostrovů a možnosti jeho zmírnění.

Praktická část se zabývá vyhodnocením dat, která byla naměřena během 5 letních dnů (od června do srpna 2020) za pomoci přístroje Kestrel 5400. Zvláštní důraz je kladen na vyhodnocení rozdílů mezi 8 stanovišti, které byly vybrány na základě svých rozdílných prostorových vlastností a odlišného městského prostředí v okolí. Porovnávají se zde například rozdíly mezi zastavěnými a nezastavěnými lokalitami či místy s vyšším a nižším zastoupením zeleně.

Porovnávání stanovišť bylo provedeno na základě několika fyzikálních veličin a tepelných indexů, z nichž nejpodstatnějším je WBGT, díky kterému lze porovnat jednotlivá stanoviště na základě tepelné zátěže. Díky tomu lze určit vztah tepelné zátěže a zdravotního rizika člověka v závislosti na městském prostředí.

Největší vliv na tepelnou zátěž mezi stanovišti byl pozorován na základě druhu povrchu (přírodní nebo umělý povrch) či rychlosti větru.

Klíčová slova: WBGT, městský tepelný ostrov, tepelná zátěž, městské klima

Abstract

The objective of this bachelor thesis is to write up the knowledge related to the influence of the urban environment on human thermal comfort. In the theoretical part of the work individual meteorological elements influencing the climate of the cities are listed and the issue of the heat islands effect and the possibilities of the mitigation are explained.

The practical part deals with the evaluation of data, which were measured during 5 summer days (June to August 2020) using the Kestrel 5400 device. Special emphasis is placed on evaluating the differences among eight locations which were chosen on the basis of their different spatial characteristics and different urban environment around these locations. For example, the differences between built-up and undeveloped localities or places with higher and lower representation of greenery are compared here.

The comparison of locations was performed on the basis of several physical quantities and thermal indices, the most important of which is the WBGT and due to which I was able to compare individual locations on the basis of heat load. Thanks to this, it is possible to determine the relationship between heat load and human health risk in depending on the urban environment.

The biggest effect on the heat load among the locations was observed based on the kind of surface (natural or artificial surface) and wind speed.

Key words: WBGT, urban heath island, heath load, urban climate

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Literární rešerše.....	3
3.1 Základní meteorologické prvky	3
3.2 Klima.....	6
3.3 Tepelný ostrov města	6
3.3.1 Typy tepelných ostrovů.....	8
3.4 Tepelný komfort.....	10
3.5 Indexy tepelné zátěže	10
3.5.1 Heat Index (index horka)	10
3.5.2 Wind – chill index (index ochlazujícího účinku větru).....	11
3.5.3 Globe temperature (teplota kulového teploměru)	11
3.5.4 Wet-bulb temperature (teplota vlhkého teploměru).....	12
3.5.5 WBGT (teplota vlhkého kulového teploměru)	12
3.6 Faktory snižující efekt tepelného ostrova	12
3.6.1 Aplikace městské zeleně	13
3.6.2 Aplikace vodních ploch.....	20
3.6.3 Aplikace odvodňovacích a zadržovacích systémů.....	21
4. Metodika	23
4.1 Přístroj.....	23
4.2 Stanoviště a jejich charakteristika	23
4.3 Měření a výpočty.....	33
5. Výsledky	34
5.1 Základní charakteristika	34
5.2 Vývoj teploty během dne	35
5.2.1 Průměrný vývoj teploty všech měřených dnů	35
5.2.2 Vývoj teploty v chladné a horké dny	36
5.3 Průměrná teplota dle stanovišť.....	37
5.3.1 Průměrné teploty všech měřených dnů.....	37
5.4 Relativní vlhkost dle stanovišť.....	39
5.5 Průměrný Heat Index dle stanovišť.....	41

5.6 Průměrná rychlost větru dle stanovišť	42
5.7 WBGT Index dle stanovišť	43
5.7.1 Průměrný WBGT všech měřených dnů	43
5.7.2 Průměrný WBGT v chladné a horké dny	44
5.7.3 Limitní hodnoty WBGT	45
6. Diskuze	48
6.1 Stanoviště na travnatém povrchu (č. 2 a 7)	48
6.2 Stanoviště z Vršovické ulice (č. 4 a 8)	49
6.3 Stanoviště se zelení v okolí (č. 1 a 5)	49
6.4 Stanoviště v zástavbě (č. 3 a 6)	50
6.5 Opatření pro zlepšení mikroklimatu měst	50
7. Závěr	52
8. Seznam literatury	53
9. Seznam použitých obrázků a tabulek	58

1. ÚVOD

S rostoucím počtem obyvatelstva se neustále zvyšují nároky na intenzifikaci a zahuštění intravilánu obcí, zejména měst. Díky většímu zahuštění budov, umělých povrchů a obyvatel se pomalu zmenšují plochy pro plnění přírodních funkcí. Travnaté povrchy, stromy či křoviska jsou čím dál častěji nahrazovány asfaltovými plochami či betonovými a cihlovými budovami, které jsou primárně v kombinaci se zvyšující se teplotou v atmosféře příčinou efektu známého jako městský tepelný ostrov (Gartland, 2008).

Teplota ve městech, zejména v letních měsících, se stává čím dál častěji skloňovaným politickým a rozvojovým tématem. Energie, naakumulovaná ve formě tepla, je v umělé zástavbě zadržována a v kombinaci s dalšími meteorologickými faktory výrazně ovlivňuje mikroklima měst. To vede ke zvýšení tzv. tepelné zátěže, která negativně ovlivňuje život obyvatel a bytí v takovém prostředí se pomalu stává neúnosným či dokonce nebezpečným (Tolasz a kol., 2007).

Tato práce se zabývá problematikou vlivu městského prostředí na tepelný komfort člověka. To znamená, jak se liší pocitová teplota v závislosti na materiálové skladbě okolí, ventilovanosti, hustotě zastavění atd. Cílem práce je porovnání osmi stanovišť, lišících se svými vlastnostmi a určit, jak jsou z hlediska tepelné zátěže nebezpečné, co naměřené hodnoty ovlivňuje a jak by šlo efektu tepelného ostrova předcházet.

Zvláštní důraz je v práci kladen na aplikace, umožňující lepší plnění přírodních funkcí území a zlepšení tepelného komfortu ve městech.

Toho lze poměrně jednoduše, efektivně a mnohdy i nepříliš nákladně docílit za pomoci přírodních prvků, jakými jsou zeleň, vodní plochy či umělé systémy na zadržování, případně odvodňování zastavěných ploch.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je vypracovat přehled poznatků vztahujících se k vlivu městského prostředí na tepelný komfort člověka. V rešeršní části práce je pozornost soustředěna zejména na meteorologické prvky ovlivňující tepelný komfort, problematiku městských tepelných ostrovů a aplikaci základních opatření snižující jeho negativní dopady.

Cílem praktické části je porovnat klimatické vlastnosti vybraných stanovišť, lišících se navzájem svým okolím, jako např. plochou zeleně a umělých povrchů či hustotou zástavby. Zvláštní důraz je kladen na porovnání stanovišť na základě WBGT (teploty vlhkého kulového teploměru), který v práci zastává hodnotu tepelné zátěže. Díky tomu lze zhodnotit vliv jednotlivých stanovišť na tepelný komfort člověka a určit případná zdravotní rizika, vztahující se k okolí. Dalším cílem je porovnat a popsat vývoj denní teploty během měřicích dní a zhodnotit klimatickou situaci daného území s případným navržením pozitivně mikroklima stimulačních aplikací.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Základní meteorologické prvky

Meteorologické prvky jsou základem hodnocení a výpočtu jednotlivých indexů tepelné zátěže a lze díky nim sledovat stav klimatu (Hartmann, 1994).

Teplota vzduchu

Základní veličinou a nejčastěji měřeným meteorologickým prvkem je teplota vzduchu. Teplota charakterizuje stav tělesa při tepelné výměně či ději. V kontextu meteorologie udává tepelný stav ovzduší. Nejčastěji používanými jednotkami pro stanovení teploty vzduchu jsou stupně Celsia (°C) anebo stupně Fahrenheita (°F).

Měření teploty vzduchu probíhá ve výšce 2 metry nad zemí, přízemní minimální teplota je měřena 5 centimetrů nad zemí. Přístroj pro určení teploty se nazývá teploměr (Lepil a kol., 1993).

Atmosférický tlak

Atmosféra je poutána k zemskému povrchu díky působení tíhového pole Země. Tíhová síla tak působí na molekuly plynů, z kterých se atmosféra skládá a přitahuje je k zemskému povrchu. Atmosférický tlak je tudíž síla, působící kolmo na povrch Země na určitém místě v určitém čase. Faktory ovlivňující tlak vzduchu jsou především nadmořská výška (s rostoucí výškou se tlak snižuje a naopak) a dále teplota a hustota vzduchu (Rao, 2013).

Základní SI jednotkou tlaku vzduchu jsou Pascaly (Pa). K měření se používají různé typy tlakoměrů, z nichž nejpoužívanější jsou barometry, sloužící k měření atmosférického tlaku, podle nichž se předpovídá počasí a aneroidy ukazující současný tlak vzduchu (Giles, 2005).

Vlhkost vzduchu

Vlhkostí vzduchu se rozumí obsah vodní páry obsažené ve vzduchu. Vlhkost vzduchu lze vyjádřit dvojnásobným způsobem, a to absolutní vlhkostí nebo relativní vlhkostí.

Absolutní vlhkost je určena hmotností vodních par obsažených v 1m^3 vzduchu. Jednotkou je kg/m^3 .

Relativní vlhkost je určena podílem absolutní vlhkosti vzduchu a maximální vlhkosti, při níž je vzduch za dané teploty nasycen vodní parou (100% vlhkost znamená dokonalé nasycení vzduchu vodními parami). Relativní vlhkost se vyjadřuje v procentech (%).

Relativní vlhkost se měří vlhkoměry, případně přesnějšími psychrometry (Lepil a kol., 1993).

Teplota rosného bodu

Teplota rosného bodu je teplota, při které relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %. To znamená, že dojde k maximálnímu nasycení vzduchu vodními parami. Jednotkou teploty rosného bodu jsou stupně Celsia (°C) (ČMeS, 1993).

Oblačnost

Oblačností se rozumí podíl oblohy zakryté oblaky k podílu jasné oblohy. Udává trvání slunečního svitu na daném místě za daných podmínek.

Určení oblačnosti se liší dle jednotlivých vědeckých disciplín. Meteorologie využívá osminový systém, klimatologie desetinný systém.

- 0/8 – jasno
- 1/8 až 2/8 – skorojasno
- 3/8 až 4/8 – polojasno
- 5/8 až 6/8 – oblačno
- 7/8 – skorozataženo
- 8/8 – zataženo

Oblaky lze dělit do několika skupin dle výškového výskytu. V nejnižší nadmořské výšce se nachází straty a stratocumuly, ve střední altostraty a altocumuly, ve vysoké cirry, cirrostraty a cirrocumuly. Napříč několika výškovými patry zasahují cumuly a cumulonimby.

Straty a altostraty jsou oblaky připomínající mlhovité struktury. Vytváří na obloze dlouhé vláknovité struktury, mnohdy ani nedokážou zastínit sluneční paprsky. Stratocumuly a altocumuly tvoří kupy. Nejpodstatnějšími jsou z hlediska meteorologie zřejmě cumuly a cumulonimby, které prostupují několik výškových pater, zakrývají oblohu a jsou nejčastějším zdrojem letních vertikálních srážek.

Oblaky se mohou v závislosti na teplotě atmosféry lišit i fyzikálním složením. V létě se nejčastěji vyskytují vodní oblaky, tvořená z vodních kapek, které mohou dopadnout na zem v kapalném skupenství. V zimním období se naopak častěji vyskytují ledové oblaky tvořené ledovými částicemi. Na zem tak dopadají vertikální srážky v pevném skupenství. Třetím typem jsou smíšené oblaky tvořící směs kapalných a pevných částic (Meteocentrum, 2020).

Rychlost a směr větru

Rychlost větru je nahodilý pohyb, opisující částici vzduchu zvolenou v určitý čas v daném místě. Směr větru znázorňuje geografický směr, kam se daná částice větru otáčí, respektive kudy vítr vane.

Rychlost větru se udává v m/s či km/h. Měřicím přístrojem rychlosti větru je anemometr. S rychlostí větru souvisí i síla větru, která se odhaduje pomocí

tzv. Beaufortovy stupnice, obsahující 12 stupňů dle průměrných rychlostí. Každý stupeň má charakteristické rozpoznávací znaky, dle kterých lze určit a předpovědět nebezpečné a ničivé účinky větru.

Směr větru je znázorňován směrovkou s doplňkem zeměpisných stran či stupňů. Směrovka ukazuje směr, odkud vítr vane (Simiu, Yeo, 2019).

Atmosférické srážky

Atmosférické srážky jsou vodní částice vyskytující se v atmosféře v pevné nebo kapalně fázi. Vznikají kondenzací vodních par v ovzduší.

Atmosférické srážky lze dělit na vertikální, jako je déšť, sníh či kroupy a horizontální, jako jsou mlha, rosa nebo námraza.

Vertikální srážky se měří zpravidla v mm/m^2 nebo v objemových jednotkách, jako jsou l/m^3 . Statisticky jsou tyto na povrch dopadlé srážky zaznamenávány jako úhrny (denní, měsíční a roční), ze kterých je možno vypočítat dlouhodobý roční průměrný srážkový úhrn, používající se k územnímu plánování a hospodaření s vodními zdroji. Pro meteorologické potřeby jsou zaznamenávány i veličiny jako intenzita deště (mm/min), vydatnost deště (l/s/ha) nebo doba trvání srážek (minuty).

Pro měření atmosférických srážek se nejčastěji používá srážkoměr se záchytnou plochou 500 cm^2 , vysunutou ve výšce 1 m nad vzrostným povrchem země. Dalšími, leč složitějšími zařízeními na zachycení srážek jsou ombrografy, měřící intenzitu srážek. Tou se rozumí množství srážek spadlých na určitou plochu za určitý sledovaný čas (Horská služba, 2013).

Sluneční záření a svit

Sluneční záření je energie prostupující atmosférou a dopadající na zemský povrch. Vzniká reakcemi uvnitř Slunce. Vlastností slunečního záření je přirozené zahřívání atmosféry i zemského povrchu. Jedná se o nezbytný prvek života na Zemi, který podmiňuje zejména fotosyntézu, jež je zdrojem kyslíku v atmosféře (Mölders, Kramm, 2014).

Sluneční svit je počet časových jednotek, po které sluneční záření dopadne na zemský povrch. Nejčastěji se udává v hodinách za den, či měsíc. Na sluneční svit má roli oblačnost, délka dne či mlha. Měří se pomocí heliografů, nejčastěji umístěných ve výšce 1,5 m na nezastíněném místě (Králová, 2020).

Albedo

Pojem albedo uvádí poměr odraženého elektromagnetického záření k množství celkového dopadajícího záření. Je vyjadřováno procentuelní řadou, kdy 0 % značí nejnižší odrazivost a 100 % nejvyšší. V běžných podmínkách se lze nejčastěji setkat s vysokým albedem u sněhu (až 90 %) a nízkým albedem u vody (10 %). Městské povrchy mívají odrazivost v průměru mezi 10–12 % (Goward, 2005).

3.2 Klima

Pojmem klima (též podnebí) se rozumí dlouhodobý stav počasí ovlivněný cirkulací atmosféry, energetickou bilancí a charakterem povrchu, který může přímo souviset s činností člověka (Oke a kol., 2017).

Cirkulace atmosféry je dána zejména tzv. všeobecnou cirkulací. Jedná se o ustálené pohyby vzduchových mas, postupně kolujících po celé zemské kouli. Cirkulace atmosféry umožňuje mimo jiné přenos teplené energie ze slunečního záření od rovníku směrem k pólům. V důsledku toho dochází ke vzniku vzdušných mas o rozdílné teplotě a vzniku studených a teplých atmosférických front. Tyto procesy určují počasí na daném místě v určitý čas. (Mölders, Kramm, 2014).

Jako druhý hlavní způsob přenosu tepla může být vnímáno mořské proudění, které vytváří specifický teplotní rozdíl nad povrchem moří a oceánů a tím klimaticky ovlivňuje rozsáhlé pobřežní oblasti (Hartmann, 1994).

Energetickou bilanci lze chápat jako proces využití a cyklus dopadající energie, kterou přijímá Země od Slunce. Z celkového množství sluneční energie se 34 % odrazí od povrchu zpět do vesmíru. 19 % energie pohltí atmosféra, která ji přemění v teplo. Zbylých 47 % energie pohltí zemský povrch, který se následně výraznou měrou podílí na oteplení atmosféry (Reichl, 2009).

Charakter povrchu definuje geografické a antropogenní faktory. Mezi geografické faktory se řadí zeměpisná šířka a výška dále orografie, tedy rozložení a tvary hor a pohoří a rozložení pevninských a oceánských litosférických desek Země.

Klima tak lze v základu rozdělit dle vlivu oceánů na:

- Pevninské (kontinentální), vyznačující se velkými rozdíly teplot vzduchu mezi jednotlivými ročními obdobími a nižšími srážkovými úhrny.
- Oceánické, vyznačující se malými rozdíly teploty vzduchu mezi jednotlivými ročními obdobími s vyšším úhrnem srážek.

Antropogenní faktory jsou ty, kdy člověk výrazně ovlivňuje klima svojí činností. Typickým příkladem je klima měst, kdy kvůli bohaté zástavbě a přeměně přírodních ploch na plochy zpevněné roste teplota a vznikají tak tepelné městské ostrovy (Snow, 2005).

3.3 Tepelný ostrov města

Tepelný ostrov je část města, která má výrazně vyšší teplotu než okolí. Důvodem je větší podíl umělých povrchů, kterými jsou především asfalt a beton, na vrub přírodních povrchů, typu louky, lesa či vodních ploch. Části města s umělými povrchy zadržují daleko více tepla než povrchy přírodní,

kteře teplo absorbuji a díky biologickým procesům danou lokalitu ochlazují (například respirační cykly rostlin, při kterých se uvolňují molekuly vody) (Oke a kol., 2017).

Tepelný ostrov města tudíž vzniká rozdílným charakterem povrchu zastavěné části a jeho periferie. Díky tomu se v daném území mění srážková a radiační bilance (Oke a kol., 2017). Srážková bilance řeší přírůstky a úbytky vodních zásob v daném území. V neurbanizované krajině se část dešťové vody vsákne do půdy, část zůstane na povrchu v podobě povrchových vod a část odteče vodním tokem z povodí. V zastavěném území však dochází k tomu, že se dešťová voda vinou nepropustných povrchů nevsákne, díky absenci povrchových vod nezůstane na povrchu, ale veškerá odteče. Tím pádem nemůže být voda ze zastavěného území průběžně odpařována a nedochází tak k ochlazení vzduchu (Hartmann, 1994).

Radiační bilancí se rozumí rozložení a rozdělení sluneční energie, vstřebávající se v atmosféře a dopadající na zemský povrch. V případě dopadu slunečního záření na přírodní povrchy se část tepla pohltí a část odrazí, čímž oteplí vzduch nad zemským povrchem. Nutno podotknout, že i samotný povrch bez slunečního zahřívání vyzařuje do okolního prostředí teplo. V případě zastavěných ploch dopadne sluneční záření na umělé povrchy (beton, asfalt), ty se zahřejí daleko více než povrchy přírodní, teplo se nevstřebá do půdy, naakumuluje se v umělém materiálu a část energie se odrazí. Naakumulované teplo v umělých površích je dále uvolňováno, čímž otepluje vzduch výrazně více a po delší dobu, než je tomu u přírodních povrchů (Gartland, 2008).

Tyto dva faktory jsou hlavním strůjcem klimatických rozdílů zastavěné a nezastavěné plochy a jeho prostředí a tím pádem i hlavní příčinou vzniku městských tepelných ostrovů (Oke a kol., 2017).

První zmínky o efektu tepelného ostrova pochází z roku 1818, kdy meteorolog Luke Howard zveřejnil studii, ve které porovnává klima Londýna s jinými částmi Anglie. Na tento výzkum navázal v roce 1855 Emilien Renou, který publikoval studii klimatu Paříže a okolí. V roce 1917 aplikoval stejnou metodiku Wilhelm Schmidt na výzkum tepelného ostrova Vídně (Gartland, 2008).

Výsledky výzkumů byly ve všech případech stejné, tedy že v zastavěném centru města byla teplota vyšší než v periferních částech či přilehlých obcích. Všechny výzkumy se též shodly na dvou hlavních důvodech jevu:

- Nevhodné použití stavebních materiálů. Povrchy jsou nepropustné, vodotěsné a voda tak stéká do kanalizací či řek, což zabraňuje plošnému postupnému odparu vody.

- Nadměrné využívání tmavých materiálů v kombinaci s vysokými budovami v centrech měst. Vysoké budovy tvoří pomyslné kaňony s minimální možností cirkulace větru, která by ulice ochlazovala. Dle výše zmíněných výzkumů bylo zjištěno, že umělé materiály černé barvy mohou mít až čtyřikrát vyšší povrchovou teplotu, než materiály bílé barvy či materiály přírodní (Gartland, 2008).

Je třeba si uvědomit, že tepelné ostrovy nezpůsobují pouze nekomfortní život v centrech měst, ale způsobují i řadu zdravotních problémů, které mohou končit vážnými onemocněními či smrtí. Spolu se znečištěným ovzduším mohou podporovat zhoršení astmatických průběhů, vznik alergií a především srdečních problémů. Tyto problémy jsou často umocněny minimálním stínem ve městech a nedostatkem zeleně, která by vzduch i prostředí osvěžovala. S tím je spojeno i větší množství psychických problémů, charakteristických pro život ve velkoměstech, kdy nemají obyvatelé dostatečný kontakt s přírodou a musí se denně potýkat s jednotvárností umělých materiálů okolí (Gartland, 2008).

V příspěvku v Projektu UHI k poznání klimatu Prahy (Skalák a kol., 2015) se uvádí, že se v České republice nachází nejvýraznější městský tepelný ostrov v Praze. V letech 1991–2013 byla průměrná teplota vzduchu v některých měsících na pražských meteorologických stanicích vyšší o 1,5 °C než v letech 1961–1990.

Nejvyšší přírůstky teploty vzduchu jsou oproti starším měřením nejvyšší v centru Prahy. Na přelomu července a srpna dosahuje teplota vzduchu nejvyšších hodnot mezi 10–16 hodinou, kdy průměrná teplota za období 2005–2013 přesahuje 30 °C. Mezi lety 1961–1970 se průměr v tomto časovém období pohyboval okolo 28 °C. Teplota v centru Prahy může být v odpoledních hodinách letních měsíců až o 4 °C vyšší, než v periferních částech Prahy. V kombinaci s intenzivní zástavbou, nedostatkem přírodních ploch a využitím tmavých stavebních materiálů se může pocitová teplota (či tepelná zátěž) v centru zvýšit až o 7 °C vůči periférii, což je relativně vysoký a podstatný rozdíl co se týče lidského zdraví a správného fungování organismu (Tolasz a kol., 2007).

3.3.1 Typy tepelných ostrovů

Povrchový tepelný ostrov

Povrchový tepelný ostrov značí zvýšenou teplotu aktivního umělého povrchu, kterým jsou silnice či střechy, v porovnání s přírodními povrchy, jakými jsou například travnaté porosty. Jak bylo uvedeno výše, umělý povrch může mít až 4x vyšší povrchovou teplotu než povrch přírodní, zejména u kovových a tmavých materiálů (Berdahl, Bretz, 1997).

Teplotní rozdíly povrchů materiálů se v létě mohou pohybovat mezi 10 až 50 °C ve dne a 5 až 10 °C v noci. Nejvyšších tepelných hodnot dosahuje

povrchový ostrov v odpoledních hodinách, kdy je tepla v zástavbě nakumulováno nejvíce a na povrch stále dopadají sluneční paprsky (Voogt, Oke, 2003).

K měření povrchů se nejčastěji používá dálkové termální snímání či kontaktní měření teploty pomocí infračervených teploměrů (Oke a kol., 2017).

Atmosférický tepelný ostrov

Atmosférický tepelný ostrov značí zvýšenou teplotu vzduchu v zastavěných oblastech oproti periferním a venkovským oblastem s menším podílem zástavby, umělých povrchů a větším podílem přírodních povrchů. Na atmosférický tepelný ostrov může mít vliv intenzita dopravy a průmyslu, počet obyvatel, geografická poloha či velikost zastavěného centra (Akbari, 2008). Atmosférický tepelný ostrov lze rozdělit na dva podtypy, a to tepelný ostrov v přízemní vrstvě atmosféry a tepelný ostrov v mezní vrstvě atmosféry. Tepelný ostrov v přízemní vrstvě atmosféry je definován oblastí mezi povrchem a vrcholy nadprůměrně vysokých objektů, kterými jsou stromy, věže či střechy budov. Měření tohoto podtypu ostrova probíhá na meteorologické stanici 2 m nad povrchem. Tento podtyp tepelného ostrova je pro zkoumání teplotního komfortu na člověka podstatnější, vzhledem k přímému kontaktu s okolím a důsledky tepelného působení ostrova (Slabá, 1972).

Tepelný ostrov v mezní vrstvě atmosféry je definován jako oblast teplejšího vzduchu nad intenzivní zástavbou, v porovnání se vzduchem nad periferií či venkovem. Oblast, jež ostrov v mezní vrstvě vymezuje, je od vrcholů nejvyšších objektů (tj. od konce tepelného ostrova v přízemní vrstvě atmosféry) po vrstvu, kde atmosférický tepelný ostrov ztrácí svůj vliv na teplotu atmosféry. Tato hraniční vrstva bývá u velkoměst v rozmezí 1,5 a 2 km (Oke, 1982).

Nejvyšších teplotních hodnot dosahuje tepelný ostrov v mezní vrstvě atmosféry několik hodin po setmění, kdy se uvolní teplo z povrchu a z přízemní vrstvy atmosféry, a začne stoupat výš (Akbari, 2008).

Tepelný ostrov v mezní vrstvě atmosféry je spíše než pro přímé působení na organismus, nebezpečný z environmentálního hlediska, kdy způsobuje postupné oteplování atmosféry jako celku a podporuje tak celosvětové problémy s rostoucí teplotou v atmosféře. Velkoměsta jsou i díky efektu tepelného ostrova jedním z hlavních důvodů procesu, známém jako globální oteplování (Gartland, 2008).

K určení hodnot a analyzování atmosférického ostrova se používá termín intenzita tepelného ostrova, která udává průměrný teplotní rozdíl mezi intenzivně zastavěným centrem města a jeho okolím (Oke, 1982).

3.4 Tepelný komfort

V problematice tepelných ostrovů a oteplování měst se lze setkat s důležitým klimatologickým pojmem, kterým je tepelný komfort.

Tepelný komfort je pocit, který člověk vnímá za určitých podmínek v určitém prostředí. Tento pojem je též známý jako tepelná pohoda.

Tepelnou pohodu lze charakterizovat jako pocit, při kterém není člověku ani horko, ani zima. Aby se člověk cítil v tepelné pohodě, musí být jeho pocitová teplota (v práci uvažována jako hodnota WBGT indexu) neutrální, tzn. aby docházelo k nízké stresové zátěži (viz. kapitola 3.5.5). Hlavním faktorem, který ovlivňuje tepelný komfort člověka, je teplota vzduchu. Dále jimi jsou rychlost větru a vlhkost vzduchu. V městském prostředí je třeba zkoumat také vliv odraženého slunečního záření od umělých povrchů, které teplotu dané lokality výrazně zvyšují (Centnerová, 2000).

Při zvýšené pocitové teplotě začne tělo uvolňovat teplo a dochází tak ke vzniku potu, který organismus ochlazuje. Faktor uvolňování tepla může být ovlivněn oblečením či fyzickou aktivitou, při které dochází k přirozeně vyššímu teplotnímu stresu a organismus se tak otepluje rychleji než za normálních podmínek.

Zatímco vysoká rychlost větru tepelnou zátěž snižuje, vysoká vlhkost vzduchu tepelnou zátěž zvyšuje. Čím větší je vlhkost vzduchu, tím hůře dochází k uvolňování tepla z organismu, proces pocení se zpomalí a člověk pociťuje vyšší teplotu okolí, než ve skutečnosti je. Tento jev je známý především v rovníkových oblastech, kde je vlhkost vzduchu výrazně vyšší než v subtropických či mírných podnebných pásích (Gartland, 2008).

3.5 Indexy tepelné zátěže

3.5.1 Heat Index (index horka)

Heat Index (HI) je index, kombinující teplotu a vlhkost vzduchu, případně teplotu rosného bodu vzduchu. Jak bylo napsáno výše, vysoký obsah vlhkosti vzduchu zvyšuje tepelnou zátěž, tedy i tepelný komfort, a tím i lidské nepohodlí. Toto však platí především u vyšších hodnot teploty vzduchu (viz tab. 1). Zatímco u teplot pod 27 °C dochází s vysokou vlhkostí k menším nárůstům, u teplot nad 28 °C se skoky v indexu horka začínají zvětšovat. Je to důsledek malého vlivu pocení. Při teplotách nad 28 °C se organismus zahřívá rychleji, produkuje více potu a okolní teplota se zdá být se zvýšenou vlhkostí vyšší.

Pokud je teplota i vlhkost vzduchu vysoká, proces odpařování potu je výrazně omezen a proto není pocení tak efektivní, jako při nižší vlhkosti. Pociťovaná teplota se tak zdá být vyšší, než je reálná teplota vzduchu. Pokud dojde k situaci, kdy teplota zůstane nezměněna, ale dojde k poklesu vlhkosti, proces

pocení je efektivnější, ochlazování organismu funguje rychleji a teplota okolí se zdá být nižší než ve skutečnosti je (Schlatter, 2005).

Tab. 1: Tabulka zachycující kombinace teploty vzduchu a teploty rosného bodu vzduchu a výsledné hodnoty Heat indexu.

Zdroj: (Schlatter, 2005)

Air temperature (°C)	Dewpoint (°C)															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
20	18	18	18	19	19	19	20	20	21	21	21	–	–	–	–	–
22	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	24	–	–	–	–
24	22	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	–	–	–
26	24	25	25	25	25	25	26	26	26	27	27	28	29	30	–	–
28	26	27	27	27	27	27	28	28	29	29	30	31	32	33	36	–
30	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	32	33	35	36	38	45
32	30	30	30	31	31	31	31	32	33	33	34	36	37	39	41	50
34	32	32	32	33	33	33	33	34	35	36	37	38	40	42	45	–
36	33	33	34	34	34	35	35	36	37	38	39	41	43	45	48	–
38	35	35	35	36	36	37	37	38	39	41	42	44	46	49	52	–
40	36	37	37	38	38	39	39	40	41	43	45	47	49	52	–	–
42	38	38	39	39	40	40	41	42	43	45	47	49	52	–	–	–
44	40	40	41	41	42	42	43	44	45	47	49	52	–	–	–	–
46	42	42	42	43	44	44	45	46	47	49	51	–	–	–	–	–
48	43	44	44	45	45	45	46	48	49	51	–	–	–	–	–	–
50	45	45	46	46	47	47	48	50	52	–	–	–	–	–	–	–

3.5.2 Wind-chill index (index ochlazujícího účinku větru)

Wind-chill index je využíván k určení pocitové teploty za pomoci teploty vzduchu a rychlosti větru.

Lidské tělo vytváří při nižších teplotách kolem svého povrchu tenkou vrstvu teplejšího vzduchu. Díky této vrstvě dochází k zahřívání organismu a člověk může lépe snášet chladné teplotní podmínky. Pokud však vane vítr, vrstvu teplého vzduchu naruší a začne pokožku ochlazovat. Výsledkem je pocit větší zimy než za stejné teploty s nulovou rychlostí větru.

Wind-chill index je v praxi měřen a využíván při teplotách nižších než 10 °C a rychlosti větru vyšší než 1,3 m/s. Při těchto hodnotách dochází k tvorbě tepelné vrstvy kolem pokožky a jejímu následnému ochlazení a rozptýlu (Schlatter, 2005).

3.5.3 Globe temperature (teplota kulového teploměru)

Teplota kulového teploměru je teplota, která je měřená uvnitř černé měděné koule s průměrem 15 mm. Jedná se o teplotu, která je složena z teploty vzduchu a sálavé teploty, uvolňované z okolních povrchů. Dalším faktorem, který se v rámci globe temperature hodnotí, je rychlost větru. Teplota kulového teploměru je základem pro výpočet Wet-bulb globe temperature (WBGT) (Lehocká, Jiráček, 2005).

Přístroj Kestrel 5400, který byl v rámci této bakalářské práce využíván, má měděnou kouli s průměrem 25 mm. Na výsledky indexů však průměr nemá žádný zásadní vliv (Kestrel Ins., 2016).

3.5.4 Wet-bulb temperature (teplota vlhkého teploměru)

Teplota vlhkého teploměru je minimální teplota, na kterou může být vzduch ochlazen při maximálním možném vypařování. Jedná se o kombinaci teploty a vlhkosti vzduchu. Wet-bulb temperature je díky působení vlhkosti vzduchu vždy nižší, než je reálná teplota prostředí. Výjimku tvoří vzduch se 100 % relativní vlhkostí, kdy dojde ke srovnání teploty vlhkého teploměru a teploty vzduchu (ALMECO, 2008).

3.5.5 Wet-bulb globe temperature–WBGT (teplota vlhkého kulového teploměru)

Teplota vlhkého kulového teploměru je neobjektivnější ukazatel teplotního stresu, který člověk za daných podmínek v daném prostředí pocítuje při působení teploty vzduchu, sálavé teploty, rychlosti větru a vlhkosti vzduchu.

Wet-bulb globe temperature (dále jen WBGT) je v praxi skládán z výsledných teplot kulového teploměru a vlhkého teploměru.

V této práci je WBGT uvažován za pocitovou teplotu, tzn. nejreálnější teplotu, kterou člověk za daných podmínek skutečně cítí.

V polovině 20. století jej začala využívat americká námořní pěchota pro hodnocení podmínek práce při venkovních aktivitách. Od té doby se index rozšířil i mezi veřejnost, sportovce a děti, pro které vypsala Americká konference hygieniků přípustné zdravotně nezávadné limity (Belval, 2015). Limity WBGT se dělí do 4 kategorií:

- **Low (nízké riziko)** – Nízká stresová zátěž, bez zdravotních komplikací.
- **Moderate (střední riziko)** – Stresová zátěž přes den kolísá, zdravotní komplikace by neměli hrozit.
- **High (vysoké riziko)** – Vysoká stresová zátěž, zvýšené zdravotní riziko pro všechny věkové kategorie. Pro důchodce, děti či pacienty se srdečními problémy mohou být podmínky nebezpečné, ideálně se vyvarovat náročným fyzickým aktivitám.
- **Extreme (extrémní riziko)** – Extrémní stresová zátěž, při fyzické aktivitě hrozí vážné zdravotní komplikace. Sportovní události by za těchto podmínek měli být odloženy, důchodci, děti a pacienti se srdečními problémy by se měli vyvarovat jakémukoliv nadbytečně potřebnému pobytu venku (Belval, 2015).

3.6 Faktory snižující efekt tepelného ostrova

Součástí managementu moderních metropolí se postupně stávají opatření, která mají za úkol snížit efekt tepelného ostrova. Tato opatření by měla ochlazovat vzduch ve městě, zajišťovat pomalý vsak vody do půdy v zástavbě a její následující uvolňování do ovzduší. Dalšími funkcemi jsou stín a

estetický vzhled města, které jsou spojeny zejména s relaxací a trávením volného času v příjemnějším prostředí (Oke a kol., 2017). Základní aplikace snižující efekt tepelného ostrova, lze dle autora práce zjednodušeně dělit do tří kategorií: městské zeleně, vodních ploch a odvodňovacích a zadržovacích zařízení.

3.6.1 Aplikace městské zeleně

Zeleň ve městech nemá pouze pozitivní vizuální vliv. Je důležitá k ochlazování okolí, zadržování vlhkosti, pohlcování nebezpečných látek a tvoření volně přístupného prostoru pro trávení volného času. Aby došlo k zamezení či omezení efektu tepelných městských ostrovů, je třeba udržovat stávající městskou zeleň, budovat nové parky a podílet se na aktivním rozvoji zelené infrastruktury v centrech měst (Brears, 2018).

Základními funkcemi městské zeleně jsou:

- **Zmírnění efektu tepelného ostrova** – Městská zeleň dokáže zadržet vláhu, která se může v průběhu dne vypařovat pomaleji než z umělých povrchů. Dochází tak k mírnému ochlazení vzduchu. K tomu slouží i koruny stromů v podobě stínu. V obou případech bude docházet k menšímu rozpalování umělého povrchu města a negativní efekt tepelného ostrova bude menší (Gartland, 2008).
- **Zadržování vláhy** – Travnaté prostory dokážou zadržet srážkovou vodu, která by jinak skončila v kanalizaci. Ta je následně vypařována a zachována v půdě, ze které může porost růst i několik dalších týdnů (Brears, 2018).
- **Přírodní filtrace ovzduší** – Obyvatelé velkých měst mají často řadu dýchacích problémů, způsobených spalováním paliv či tzv. suchým vzduchem. Rostliny dokážou absorbovat nejen oxid uhličitý, ale i oxid siřičitý, dusnaté oxidy a molekuly nebezpečných látek, jakými jsou benzeny či tolueny (Martinková, 2001).
- **Zlepšení fyzického a psychického zdraví** – Jak bylo zmíněno výše, kromě dýchacích problémů dochází ve městech k častějším srdečním a oběhovým poruchám vinou přehřátí organismu, či nemocem nervové soustavy. Na vině však není jen znečištěné ovzduší a horko, ale i vizuální vzhled okolí. Je dokázáno, že psychickými problémy trpí daleko více lidí ve městech, než na venkově, a vinou je právě nedostatek přírodních ploch. Psychicky negativní vjemy oslabují organismus, lidé se cítí více unaveni a dochází tak k vyššímu riziku onemocnění virovými onemocněními (Oke, 2017).

Základní členění městské zeleně

Městskou zeleň lze stratifikovat do tří kategorií, dle vertikálního členění vegetačních pater. Těmi jsou bylinné patro (travníky, zahrádky na sídlištích), keřové patro (živé ploty, neudržované porosty), stromové patro (solitérní stromy, stromořadí) (Jelínek, Zicháček, 2014).

Bylinné patro, lépe řečeno zelené travnaté plochy, jsou ideálním místem pro zadržení vláhy a následné ochlazování vzduchu vypařující se vodou. Tvoří ideální místo pro život půdních organismů, relaxaci a odpočinek. Mnohdy jsou travnaté plochy v zástavbě chladnější i díky rosení trávníků a otevřenému prostoru, kde lépe vane vítr a snižuje tak pocitovou teplotu. Lze říci, že si travnaté plochy, parky apod. tvoří uprostřed měst své vlastní mikroklima (Oke, 2017).

Rostliny keřového patra jsou důležité zejména pro život drobných živočichů. Nachází se především na neudržovaných hranicích pozemků, v okolí koryt malých vodních toků a v podobě udržovaného porostu na zahradách jako tzv. živé ploty. Ty jsou důležitou součástí vizuální stránky městské zeleně. Keřové porosty nejsou z hlediska městského klimatu tak podstatné jako travnaté porosty či stromy, jedná se však o nejbohatší ekosystémy z hlediska biodiverzity. Mnohdy tvoří jediné možné útočiště pro živočišné druhy, jejichž původní biotopy byly zničeny zástavbou a lidskou činností (Forman, 2008).

Stromové patro je považováno za nejdůležitější z výše uvedeného vertikálního členění zeleně z hlediska klimatu měst. Stromy dokážou navzdory malé vzrostné ploše vytvořit velký stín, který pozitivně působí na teplotu dané lokality. Díky stínu se neochlazuje pouze zastíněný povrch, ale i vrstva vzduchu, nacházející se pod korunou. Díky dýchacím procesům vstřebávají nežádoucí oxid uhličitý. Důležitým procesem je transpirace, kdy rostlina vypouští molekuly vody do okolí, což přispívá k ochlazení přilehlé lokality (Beatley, 2012).

Transpirace probíhá díky tzv. transpiračnímu sání, kdy je voda přepravována z kořenů cévními svazky až do listů, odkud se vypařuje do ovzduší. Ochlazuje tím nejen sebe, ale i své blízké okolí. (Jelínek, Zicháček, 2014).

Dobře vodou zásobený a zdravotně nepoškozený strom může za jeden letní den vyloučit až 400 litrů vody, které se v podobě vlhkosti přenesou do ovzduší a tím ochladí a osvěží jeho blízké okolí. Zároveň dokáže odčerpávat až 280 kWh tepelné energie, kterou v noci uvolňuje při kondenzaci, čímž vzniká rosa. I díky tomu je přes den v okolí stromů chladnější, zatímco v noci až o 3 °C tepleji než v širším okolí. Dle vědeckého týmu Davida J. Nowaka bylo zjištěno, že stromy ve městech Spojených států amerických odstraní ročně 71 000 tun škodlivých látek z ovzduší. Hodnota služeb městských stromů byla vypočtena na 3,8 miliard amerických dolarů (Pokorný, 2014).

Výhodou výsadby většiny stromů jsou malá prostorová náročnost a nízké nároky na zálivku. Díky hlubokým kořenům mnohých druhů se nemusí zásadně podsýpat zeminou, jako je tomu běžné u travnatých pozemků. Z hlediska porovnání finanční náročnosti lze říci, že se více vyplatí výsadba alejí a stromořadí, než tvorba a údržba travnatých zelených pásů a ploch. (Beatley, 2012).

Greenways

Ideálním způsobem výsadby stromů v městském prostředí je tvořit tzv. stromořadí. Stromořadí je souvislá řada stromů, blízcích se či plně propojující se jejich korunami. V tomto případě vytváří tzv. zápoj, který vytváří souvislý stín pod celou alejí. Pokud je stromořadí vysazeno na travnatém povrchu s keřovým patrem, dojde sice ke zmenšení zastíněné plochy využitelné pro obyvatelstvo, ale zlepši se biologická rozmanitost daného místa. V takovém případě mluvíme o tzv. biokoridoru. Ten je zásadní pro život mnoha druhů živočichů, jejich rozmnožování a zejména pohybu a migraci.

Pro biokoridory ve městě lze užít také anglický název Greenways. Jedná se o prostory, vytvořené podél určitého liniového koridoru, jakým jsou silnice, vodní toky, promenády apod. (Forman, 2008).

Greenways jsou v České republice realizovány pomocí tzv. Územního systému ekologické stability (ÚSES). Ten je definuje jako vzájemně propojené soubory přirozených i pozmeněných, přírodě blízkých ekosystémů (AOPK ČR, 2013).

Vzhledem k primární funkci biokoridorů, kterou je migrace živočichů, není systém Greenways ve městech příliš aplikován, na rozdíl od venkovských ploch. Ve velkých městech se mnohem častěji lze setkat s výše zmíněným stromořadím, které není z ekologického hlediska pro život a migraci drobných živočichů dostačující, avšak z klimatologického a biometeorologického ano (Forman, 2008).

Vhodné druhy do městské zástavby

Při projektování výsadby a umístění městské zeleně se musí počítat s faktem, že různé druhy stromů mají různé nároky pro správný růst a chemické fungování. Pokud bude výsadba prováděna v malém a v letních měsících horkém prostoru, není možné vysazovat druh s velkými nároky na kořenový prostor a vysokou zálivku. Stejně tak se do městského prostoru příliš nehodí druhy jedovaté, alergenní a invazivní. Právě ty jsou ale vzhledem ke zhoršujícím se klimatickým podmínkám čím dál častěji preferované, díky jejich odolnosti. Informace ohledně metod výsadby, podmínek a doporučené druhové skladby pro danou oblast lze nalézt v plánech Územního systému ekologické stability (Kolařík, 2018).

Dle reportáže redaktora internetového serveru Pražský deník, Richarda Šedého, činí průměrná jednorázová záливka v Praze 100 litrů vody pro solitérní strom, zasazený „na ulici“ a 50–100 litrů pro stromořadí či strom zasazený v parku. Ten je zaléván zpravidla do 5 let po výsadbě stromu. Z toho lze usuzovat, že při zalévání jednou týdně, je na jeden strom spotřebováno celkem 12 000–24 000 litrů vody (Šedý, 2018).

Při vysazení suchomilných stromů lze však spotřebu vody výrazně snížit. V případě zabudování umělých systémů na zachycení dešťové vody (viz kapitola 3.6.3) lze finanční náročnost „ozelenění“ města minimalizovat a především tím snížit čerpání užitkové a pitné vody, která by mohla nelézt uplatnění v jiném odvětví (Kolařík, 2018).

Níže je uveden seznam dřevin, které jsou zajímavé z hlediska nízkých nároků na záливku, snášení vysokých teplot a nízkých prostorových nároků, čímž mohou být využívány a sázeny i v zahuštěných zástavbách a klimaticky vytižených místech. Rostlinné druhy byly vybrány autorem práce dle jejich biologických nároků, široké klimatické variability a přizpůsobivosti a v neposlední řadě vzhledu, který může pozitivně stimulovat prostředí zástavby:

Jinan dvoulaločný (*Gingo biloba*) – Jinany jsou mimořádně odolné vůči klimatickým extrémům. Dokážou snést teploty hluboko pod bodem mrazu i letní horka. Jsou nenáročné na půdu a vodu, mají relativně tenký kmen, který by v zástavbě nezabíral příliš místa. I přesto, že se nejedná o původní českou dřevinu, ale je dovezena z Číny, stává se poslední dobou v městské výsadbě velmi populární. Nevýhodou je pomalý růst rostliny (Tomlinson, 1995).

Trnovník Akát (*Robinia pseudoacacia*) – Jedná se o rychlerostoucí dřevinu, původem ze severní Ameriky. Tvoří různorodé koruny, borka je na pohled atraktivní díky četnému vrásnění a kroucení. Ideálním stanovištěm je slunné místo s propustnou zeminou. Jedná se spíše o suchomilnou dřevinu. Trnovník Akát je silně invazivním druhem. Vysazování ve volné přírodě je zakázáno, v prostředí zástavby je však riziko nekontrolovatelného šíření eliminováno, díky čemuž je často výsadba tolerována (Horáček, 2019).

Jerlín japonský (*Styphnolobium japonicum*) – Jerlín je strom pocházející z Číny. Jedná se o rychle rostoucí dřevinu s bujnou korunou a hustě prorostlými větvemi, které se větví nízko nad povrchem. Je proto nevhodný do chodníků či uličních stromořadí, ale je ideální dřevinou do parků. Vyhovuje mu slunné stanoviště se suchými a kamenitými půdami, které se ve městech často nalézají (Pražská příroda, 2013).

Štědřelec odvislý (*Laburnum anagyroides*) – Štědřelec je dřevina, pocházející z jižní Evropy. Jedná se o nápadnou a v době kvetení, kdy tvoří žlutá hroznovitá květenství, velmi atraktivní rostlinu. Její plody v podobě lusků jsou však silně jedovaté, proto není ve městech často k vidění. Má ráda

suché půdy s dostatkem světla. Dorůstá výšky 6 metrů, je proto vhodná zejména pro dekorativní účely, spíše než pro účely stínu. Štědřenec je lidově nazýván „pravý zlatý déšť“ (Horáček, 2019).

Javor jasanolistý (*Acer negundo*) – Javor jasanolistý dorůstá výšky 20 metrů. Tvoří hustou pravidelnou korunu. Nároky na zálivku a půdu jsou nízké, proto je často vysazován ve městech. Jedná se o druh javoru s nejnižšími nároky na teplotu a zálivku (Horáček, 2019).

Dřezovec trojtrnný (*Gleditsia triacanthos*) – Dřevina s původním areálem ve Spojených státech amerických. Je vlhkomilná, avšak co se týče půdy velmi přizpůsobivá. Preferuje polostín. Na kmeni a větvích se vyskytují větvené trny. Rostlina je vhodná do parků, soliterních výsadeb nebo stromořadí. Koruna je větvená, tvoří tak široký stín. Lusky zůstávají na větvích až do zimy, je proto atraktivní i po opadání listů (Tomlinson, 1995).

Habr obecný (*Carpinus betulas*) – Habr je strom s původním výskytem v ČR. Roste na všech typech stanovišť, krom vlhkých. Ve stínu či omezeném kořenovém prostoru roste jako keř. Má velmi husté větve, proto je ideální k zastříhávání a tvarování. Koruna je hustá a objemná, dokáže tak vytvořit rozlehlý stín (Tomlinson, 1995).

Katalpa trubačovitá (*Catalpa bignonioides*) – Katalpa je rostlina původem z Mexického zálivu. Má ráda slunné stanoviště, na složení a vlhkost půd je nenáročná. Má atraktivní bílé květenství a dlouhé lusky. V poměru k tenkému kmenu má velmi objemnou korunu s velkými listy. Ty po opadání nepříjemně zapáchají, je proto nutné zajistit jejich včasný úklid (Horáček, 2019).

Bříza bělokorá (*Betula pendula*) – Bříza je rychlerostoucí dřevina odolná vůči teplotním extrémům. Důvodem je mimo jiné i bílá kůra, která odráží část dopadajícího slunečního záření. Kmen je tenký, samotný strom může růst až do výšky 30 metrů. Oproti dřevinám výše potřebuje více zálivky, díky bílé kůře je však vizuálně zajímavá a i v zimních měsících atraktivní (Horáček, 2019).

Borovice černá (*Pinus nigra*) – Jehličnatá dřevina, často se vyskytující ve městech a vesnicích. Původní areál rozšíření, kterým je jižní Evropa, se rychle rozšířil přes střední Evropu do severní. Jedná se o důsledek oteplování atmosféry. Preferuje slunné lokality s nízkou zálivkou, je však velmi přizpůsobivá extrémním klimatickým i geologickým podmínkám. Je často vysazována jako rekultivační dřevina do znečištěných oblastí (Pražská příroda, 2013).

Lípa malolistá (*Tilia cordata*) – Jedná se o často vysazovanou, původní dřevinu. Má nízké nároky na půdu a velmi dobře snáší přímý sluneční svit. Nároky na zálivku jsou vyšší, ale většinou vystačí pouze s dešťovými srážkami. V jarních měsících vykvétají medonosné květy, je proto atraktivní pro městská včelstva a další opylující hmyz. Další výhodou je vysoký vzrůst,

přizpůsobivý kořenový systém a bohatá koruna. Ve městech České republiky je k vidění jak ve stromořadích, tak v chodnicích jako solitér (Tomlinson, 1995).

Vertikální zahrady a zelené střechy

Vertikální zahrady jsou ideálním způsobem, jak vtěsnat zeleň do městského prostoru. Jedná se o svislé plochy, které jsou tvořeny několika patry nádob, které se osazují vybranými rostlinami. K osazení vertikálních zahrad se nejčastěji používají vlhkomilné byliny, mechy či sukulenty, v závislosti na umístění objektu.

Vertikální zahrady mají několik funkcí. Kromě dekorativní stránky se jedná o zlepšení mikroklimatu měst či o revoluční agrikulturní možnost, kdy je možné pěstovat plodiny bez nutnosti velkých pozemkových nároků. Dnes je již běžnou praxí pěstovat na vertikálních zahradách bylinky, zeleninu nebo ovoce (Coronado, 2015).

Za průkopníka vertikálních zahrad lze považovat Singapur, kde těmito „zelenými stěnami“ osazují celé obvody konferenčních a kancelářských budov. Kromě menších rostlin se zde nachází v několika patrech ovocné keře nebo okrasné stromy. Singapur se s konceptem zelených měst řadí k jedněm z nejnávštěvnějších zemí světa, co se týče udržitelného rozvoje. Kromě vertikálních zahrad se zde nachází spousta parků a biokoridorů, které fungují coby útočiště pro živočichy, ale také jako relaxační zóny pro obyvatele. Právě spojení každodenního lidského života a zajištění ekologické stability má být vzorem pro města budoucích generací. Podobné projekty a přírodní aplikace spustili v uplynulých letech i zastupitelé Miami v USA, japonské Fukuoky či v dánské Kodani (Schröpfer, 2016).

V pražských podmínkách lze na vertikální zahrady nahlížet spíše coby osvěžovače vzduchu a estetický doplněk, než na produkční potravinové zahrady. Jak bylo nastíněno výše, nejdůležitější složkou plánování a realizace zelených stěn je správné vegetační osazení. Vlhkomilné rostliny, preferující stín, nemohou růst na vertikální zahradě uprostřed slunečních paprsků nechráněného náměstí. Vlhkomilné rostliny se tudíž více hodí jako doplněk exteriérů, kdy se zelené stěny umísťují po obvodu budovy. Tehdy je dosaženo alespoň částečného zastínění a je mnohem jednodušší realizace kropení a zalévání přes vnitřní vodovodní systém (Coronado, 2015).

Naopak suchomilné rostliny, jakými jsou sukulenty apod. se hodí na otevřená stanoviště typu náměstí, zastávky či promenády (Coronado, 2015).

Ideálním řešením je instalace zahrady na místo, poblíž kterého se nachází připojení k vodovodní síti či podzemním zadržovacím nádržím (viz. kapitola 3.6.3). Takovým případem může být hydrantová přípojka. Po zapojení kropicích systémů na vodovodní řád, se mohou rostliny na vertikální zahradě

zavlažovat několikrát denně, čímž se navíc zvýší vlhkost prostředí (Schröpfer, 2016).

Podobným fenoménem, jako vertikální zahrady, jsou zelené střechy. Zelené střechy jsou vegetací osázené střechy objektů, tvořené samostatnou výsadbou a substrátem. Dle německé Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinie (Lösken, 2008) lze zelené střechy rozdělit do tří kategorií:

- intenzivní – výška substrátu až 1 metr, porost tvoří byliny, keře a stromy, nutná intenzivní údržba,
- jednoduché intenzivní – výška substrátu do 25 cm, porost tvoří zejména traviny a byliny, rozsah potřebné lidské péče je menší než u intenzivní kat.,
- extenzivní – výška substrátu do 20 cm, porost tvořen převážně sukulenty, mechy a travinami s doplněním cibulových a hlíznatých bylin, vytváření porostu je ponecháno sukcesivním procesům, pouze nutno dodávat uměle živiny.

Jak je z rozdělení kategorií patrné, intenzivní a jednoduché intenzivní zelené střechy jsou mimo jiné vhodné pro pěstování zeleniny či ovoce, extenzivní střechy mají spíše environmentálně klimatický charakter (Lösken, 2008).

Zelené střechy mohou plnit dvě funkce, ekonomickou a ekologickou.

Ekonomickou funkcí se rozumí energetická úspora dotyčných budov. Porosty (ať už střechy či stěny) tvoří výbornou tepelnou izolaci, a to jak v létě, kdy budovu ochlazují, tak v zimě, kdy ji zateplují (Oke, 2017).

Příkladem mohou být zelené střechy na domech na Faerských ostrovech, které jsou pod neustálým nápoem studených mořských větrů. Z tepelné izolace v podobě travnatých a mechových porostů se stala národní památka a oblíbený turistický cíl (Smith, 2016).

Druhou funkcí je funkce ekologická. Zelené střechy a stěny kromě výdeje vlhkosti do okolí a zlepšení klimatických funkcí města, poskytují úkryt mnoha druhům živočichů. Tím nejdůležitějším je hmyz, kterého na území měst rychlým tempem ubývá. Zelené střechy jdou navíc kombinovat i s další produkční činností, a to včelařstvím (Margolis a kol., 2017).

Světovým hitem se pomalu stávají zelené střechy na zastávkách hromadné dopravy. Ty mají zlepšovat klimatické podmínky zastávky v letních horkých dnech. Po Singapuru, Sheffieldu, Utrechtu či Paříži vznikla první zelená zastávka i v Praze, na tramvajové stanici Hradčanská. Společnost JCDecaux ji na střechu umístila v roce 2019 a nachází se v ní zejména netřesky, rozchodníky a jiné skalničky (Ekonomický deník, 2019).

3.6.2 Aplikace vodních ploch

Kromě zeleně mohou pozitivně ovlivňovat městské klima i vodní plochy. Ve městech se zpravidla jedná zejména o řeky, v jejichž okolí byla města budována, avšak mnohem důležitější bývají umělá, přírodě blízká jezírka, rybníky či retenční nádrže. Díky zvětšené vodní ploše může docházet k většímu odparu, který snižuje teplotu prostředí, což se může pozitivně podílet na snížení teploty městských tepelných ostrovů. Kromě toho vodní plochy slouží jako zásobárna dešťové vody a mohou být účinnou protipovodňovou ochranou. Ta je zajištěna možností regulace povrchového odtoku, v případě tzv. přelití říčního koryta.

Neméně důležitou součástí je zvýšení biodiverzity v zástavbě, kdy díky vodním plochám vzniknou zajímavé mikro ekosystémy. Ty do města přilákají větší množství ptactva, obojživelníci a hmyz zde naleznou vhodné útočiště.

V neposlední řadě je třeba zmínit opět estetickou funkci vodních ploch. V kombinaci se stromořadím či parkem mohou zajistit atraktivitu lokality a místo může být hojně využíváno k relaxaci a odpočinku (CzechGlobe, 2017).

Dle odborníků z CzechGlobe, ústavu Akademie věd ČR, se investiční náklady na vytvoření malé vodní nádrže do 1000 m³ pohybují od 1850 Kč/ m³, což není, vzhledem k rozpočtům větších měst, žádná závratná či nerealizovatelná částka. Při růstu objemu nádrže se tato částka snižuje.

Příkladem využití vodních ploch může být jezírko v Parku pod Plachtami v Novém Lískovci v Brně. Jezírko je umístěno na slunném místě uprostřed parku a je napájeno výhradně dešťovou vodou, svedenou z blízkých střech o ploše 1600 m². Běžná provozní hloubka vodní nádrže je 1,2 m a objem 630 m³. Maximální objem je však 890 m³, což znamená, že je zde ponechaná tzv. retenční schopnost v podobě objemu 260 m³. V případě vyšších srážkových úhrnů tak dojde k naplnění nádrže a nedochází ke zbytečnému odtoku dešťové vody do kanalizace. Přebytná voda může být následně čerpána a využívána k zalévání vegetace parku. Především je ale odpařována a ochlazuje tak okolí jezírka, které se stalo populárním pro trávení volného času. Celková pořizovací částka jezírka, včetně svodů ze střech, činila 6,1 mil. Kč. Společenská návratnost investice byla odhadnuta na 3 roky po dokončení, což je z ekonomicko-sociálního hlediska velmi výhodné řešení (CzechGlobe, 2017).

Samotná jezírka nejsou výsadou parků a náplavek. Lze je zakomponovat i do husté zástavby, kterou jsou sídliště. Ve vnitrobloku panelových budov lze často nalézt areály s dětskými atrakcemi, hřišti apod. Aplikace malého jezírka může mít opět klimaticky zajímavý přínos. Krom toho lze investici odůvodnit i edukační funkcí, kdy se mohou děti za asistence rodičů vzdělávat v základních hydrobiologických procesech a pozorovat dění uvnitř ekosystému.

V blízkosti jezírek lze vysadit vlhkomilnější druhy křovin a dřevin, než je ve městech běžné. Ty mají dostatek podzemní vody, mohou proto naplno využívat transpiračního procesu a vypouštět do ovzduší daleko více molekul vody, než je u jiných stromů v zástavbě možné. Tím mohou v kombinaci s vodní hladinou daleko efektivněji ochlazovat ovzduší (Brears, 2018).

Ideálním stavebním řešením jezírek, potoků či mokřadů je využití hydrosilových a jílových den. Hydrosil je přírodní jílovitá látka, se schopností bobtnat, čímž částečně utěsní dno nádrže a není nutné celkové vybetonování. V tomto případě se může voda v omezeném množství vsakovat do půdy, čímž zvýší vlhkost okolní zeminy. Vegetace v blízkosti nádrže (v případě rozlehlejší nádrže až do vzdálenosti několika desítek metrů) tak může čerpat vodu bez nutnosti zálivky. U nádrží s betonovým dnem se voda do podzemních prostorů nedostane, čímž je nutno vegetaci zalévat. Zbytečně tak vyrostou provozní náklady na údržbu zeleně, zvýší se spotřeba vody a investice do tohoto klimaticky výhodného řešení přestane být efektivní (Helberg, 1999).

3.6.3 Aplikace odvodňovacích a zadržovacích systémů

V městské zástavbě značně převyšují umělé povrchy nad těmi přírodními. Většina umělých povrchů je nepropustná, což znamená, že se skrz ně voda nemůže vsakovat do půdy a končí tak v jednotné nebo oddílné stokové soustavě. Aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám vody, lze využít odvodňovacích či zadržovacích systémů.

Jednotná stoková soustava je kanalizační síť, kdy splaškové, průmyslové a dešťové vody končí v jedné stoce. Oddílná soustava je kanalizační síť, kdy má každý z druhů odpadních vod svojí vlastní stoku, což znamená, že lze oddělit dešťové vody od ostatních znečištěných vod a lze je dále využít. K tomu je však potřeba dalších speciálních opatření. (TS-25.07, 2008)

Propustné povrchy, díky vsaku dešťové vody a jejímu následnému výparu, snižují teplotu okolí, odlehčují kanalizační soustavě a zpomalují případný odtok vody při vyšších srážkových úhrnech. Zelené propustné povrchy (travní porosty) výrazně snižují prašnost ve městech (Počítáme s vodou, 2016).

Odvodňovací systémy, jejichž účelem je odvodnit dané nepropustné území od dešťové vody, se dělí na liniové a bodové. Liniové systémy jsou několik desítek centimetrů široké žlaby překryté kovovou, či plastovou mřížkou. Ty jsou umístěny napříč celou vozovkou, eventuálně chodníkem tak, aby jimi voda, stékající ulicí, byla zachycena a dopravena do zadržovacích systémů. Bodovým odvodňovacím systémem se rozumí především vpusti. Vpust je otvor v níže položeném bodu ulice, překrytý kovovou mřížkou, navazující na podpovrchovou odtokovou síť ústící do zadržovacího systému či recipientu (řeka, potok atd.) (Butler a kol., 2018).

Voda, odváděná odvodňovací sítí, může být vyústěna v tzv. vsakovací galerii. Jedná se o podzemní konstrukce sloužící k rozvodu a rozptýlu dešťové vody do půdy. Vsakovací galerie jsou složeny z plastových krychlí či kvádrů mřížkové konstrukce a mohou být uloženy až do hloubky 3,6 m. Nezbytným předpokladem pro aplikaci vsakovací galerie je stabilní půdní podloží, jelikož se na samotné konstrukci galerie často nachází zatěžované umělé povrchy, jakými jsou chodníky, vozovky či parkoviště (MEA, 2020).

Vsakovací zařízení mohou být efektivní i uložení pod přírodní povrchy, například pod zelené pásy u chodníku či parčíky. Konstrukce galerií je navržena tak, aby se voda do půdy vsakovala postupně, díky čemuž může travnatý porost nad galerií déle čerpat dešťovou vodu z jedné přeháňky. Tím se sníží spotřeba závlivky, vegetace může samovolně čerpat vlhkost z galerií a tím ochlazovat okolí po delší časové období (Butler a kol., 2018).

Hlavním zadržovacím systémem jsou podzemní či nadzemní nádrže. Ty mohou být umístěny dle prostorových možností tak, aby byly přímo napojeny na odvodňovací síť. Tím dojde k zadržení dešťové vody, která může být využita v horkých dnech. Zadržovací nádrže mohou být pod zem aplikovány až do objemu 200 000 litrů, proto je ideální svádět do nádrže dešťovou vodu z několika odvodňovacích soustav (MEA, 2020).

Zajímavým řešením z hlediska klimatu ve městech může být využití podzemních retenčních nádrží na zalévání zelených střech, vertikálních zahrad či jako zdroj vody pro zvlhčovače vzduchu. Nemusí tudíž docházet k čerpání pitné vody, dešťová voda se dostane díky rosení zpět do vzduchu, čímž ochladí okolí. Podobný systém na využívání podzemních nádrží se nachází na autobusovém nádraží v Šumperku, kdy je dešťová voda z nepropustných ploch zachycena a v době veder opět využita (zalévání a zvlhčování vzduchu rosením). Jedná se tak o udržitelný cyklus, který přispívá k tepelné pohodě cestujících a ke zlepšení mikroklimatu nádraží (ZDopravy.cz, 2021).

4. METODIKA

4.1 Příklad

Měření probíhala za pomoci přístroje Kestrel 5400. Jedná se o kompaktní zařízení pro měření meteorologických dat s možností jejich ukládání. Hlavními měřicími prvky jsou černá měděná koule s 25mm průměrem, pro zaznamenávání teploty kulového teploměru, malý anemometr pro určení rychlosti větru, čidlo pro zaznamenání vlhkosti a teplotní senzor pro měření aktuální teploty vzduchu.

Neméně důležitou součástí jsou externí pomůcky, jako stativ pro statické držení pozice a minimalizaci nechtěných vlivů způsobených pohybem při měření dat, či korouhev pro otáčení a přesnější zaznamenání větrných podmínek.

Z jednotlivých základních prvků přístroj automaticky počítá tepelné indexy, které jsou po připojení k počítači čitelné v souboru *.csv, jež lze otevřít skrz program Microsoft Excel.

Přístroj měří tyto prvky: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, teplota rosného bodu, tlak vzduchu a rychlost větru. S těmi dále pracuje a automaticky je přepočítává na: Wet bulb temperature (teplota vlhkého teploměru), Globe temperature (teplota kulového teploměru), Wet bulb globe temperature (teplota vlhkého kulového teploměru, *dále jen WBGT*), Heat index (index horka), Wind chill index (index ochlazujícího účinku větru).

4.2 Stanoviště a jejich charakteristika

Zkoumaná lokalita se nachází 3 km vzdušnou čarou od centra Prahy v přibližně stejné nadmořské výšce, kolem 200 m n. m. Jednotlivá stanoviště byla situována do oblasti ohraničené ulicí Přípotoční z jihu, Čechovým náměstím ze severo-východu a stadionem Dolíček ze západu.

Měření probíhalo v uzavřeném okruhu o celkové délce 1,6 km. Na okruhu bylo zvoleno 8 stanovišť s vizuálně rozdílnou charakteristikou (obr. 1). Začátek měření byl vždy v 9:00, konec v 18:27. Jednotlivé okruhy začínaly v 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 a 17:00, přičemž první a poslední stanoviště bylo situováno na stejné místo z důvodu přesnější práce s daty (standardizace teplotních přírůstků, vysvětleno dále).

Během měření byly do tabulky zaznamenávány okolnosti, které mohou přímo či nepřímo ovlivňovat aktuální biometeorologické podmínky dané lokality. Jednalo se o pokrytí oblohy oblaky, druh oblačnosti, sluneční svit, charakter počasí a případně jiné zajímavé či speciální události.

Pokrytí oblohy bylo vyjadřováno osminovým systémem (0/8 jasno, 8/8 zataženo), charakter počasí byl zjednodušován pojmy jasno, polojasno a

zataženo. Mezi speciální události patřila například nadprůměrná hustota lidí v okolí stanoviště, či nezvyklé teplotní a větrné výkyvy.



Obr. 1: Plánek měřicího okruhu a jednotlivých stanovišť (zdroj: www.mapy.cz).

Následuje popis měřících stanovišť:

Stanoviště č. 1 a 9

Pro první a zároveň poslední stanoviště byla vybrána Makuchova lávka, vedoucí přes potok Botič (obr. 2). V jejím okolí se nachází mnoho vzrostlé vegetace, ať už se jedná o listnaté stromy (především hrušně a lípy), jehličnany či keře, jež jsou vysazeny do podoby alejí z obou stran potoka. Koryto Botiče je v těchto místech zarostlé travinami, stejně tak jako přírodní pásy mezi stromy. Lávka má ocelovo-betonovou konstrukci, která tvořila podklad měření. Stanoviště bylo krom tří měření na přímém slunci.



Obr. 2: Stanoviště č. 1 a 9 (Makuchova lávka).

Stanoviště č. 2

Pro druhé stanoviště bylo vybráno dětské hřiště v ulici Přípotoční (obr. 3). Z jedné strany hřiště vede příjezdová komunikace spolu se souvislou řadou několikapatrových domů, z druhé je neudržovaný zarostlý porost, tvořený především invazivními rostlinami, typu křídlatka, akát nebo pajasan a ovocnými stromy jako jsou třešně a hrušně. Samotné hřiště je tvořeno zejména travním povrchem, na kterém měření probíhalo, dále kačírskem, cihlovou cestou a dvěma většími pískovišti. Měření probíhalo téměř vždy na přímém slunečním svitu, s výjimkou 10. 7., kdy byla v dobu měření vždy zvýšená oblačnost.



Obr. 3: Stanoviště č. 2 (Dětské hřiště v ulici Přípotoční).

Stanoviště č. 3

Třetí stanoviště se nachází na křižovatce ulic Na Louži a K Louži (obr. 4). Jde o místo bez jakékoliv zeleně, s výjimkou několikametrového, zejména náletovým plevelem zarostlého záhonu u jednoho z domovních vstupů. Po všech stranách je souvislá zástavba starých několikapatrových domů. Silnice a chodník jsou vyrobeny z asfaltu, který je povrchem měření. Stanoviště bylo zpravidla osvětlené přímým slunečním svitem až na okruhy č. 4, kdy bylo zčásti schované za oblaky či za jedním ze střešních výklenků vyšších domů.



Obr. 4: Stanoviště č. 3 (křižovatka ulic Na Louži a K Louži).

Stanoviště č. 4

Čtvrté stanoviště se nachází v ulici Vršovická před hotelovou školou (obr. 5). Stanoviště je situováno přímo před několik vzrostlých dřevin, rostoucích před budovou. Samotnou ulici tvoří dva jednosměrné dopravní pásy a uprostřed široký travnatý tramvajový pás. Za zmínku stojí i parkovací zóna přímo před měřicím stanovištěm, která byla bez výjimky plná zaparkovaných automobilů. Taktéž se jedná o stanoviště s největším, téměř neustálým provozem. Slunce zde svítilo po celou dobu měření.



Obr. 5: Stanoviště č. 4 (ulice Vršovická před Střední školou gastronomickou).

Stanoviště č. 5

Pro páté stanoviště byla vybrána tramvajová zastávka Čechovo náměstí ve směru do centra (obr. 6). Na zastávce se nachází několik listnatých stromů (lípy) a zejména rozlehlé náměstí, tvořené trávou porostlým povrchem s okrasnými keři, tvořícími plůtky. Začátek travnatého povrchu byl 3,5 metrů od stanoviště, jehož podkladem byly dlažební kostky. Na druhou stranu od stanoviště se nachází silnice s vestavěnými tramvajovými pásy uvnitř vozovky a řada menších několikapatrových domů. Jedná se o nejméně dopravou zatížené místo ze stanovišť č. 4, 5 a 7, kde jsou předpoklady pro aktivní přepravu, nikoliv pro parkování a dopravu za účelem bydlení. Stanoviště bylo až na dvě výjimky při posledním kole a jednu výjimku při prvním kole pod přímým slunečním svitem.



Obr. 6: Stanoviště č. 5 (tramvajová zastávka na Čechově náměstí).

Stanoviště č. 6

Toto stanoviště bylo umístěno na křižovatku ulic Orelská a Na Spojce (obr. 7). Jedná se o místo bez jakékoliv zeleně s úzkými vozovkami a mnoha místy pro parkování z obou stran, obklopenými starou několikapatrovou zástavbou (nejvyšší ze všech měřených míst). Intenzita dopravy je v okolí nízká, avšak je zde nejvyšší počet zaparkovaných aut. Měřícím povrchem byly dlažební kostky. Jednalo se v průměru o nejtinnější stanoviště. Přímý svit zde nebyl při žádném z posledních okruhů, v dopoledních a brzkých odpoledních hodinách zde však svit ve velké intenzitě byl.



Obr. 7: Stanoviště č. 6 (křižovatka ulic Orelská a Na Spojce).

Stanoviště č. 7

Stanoviště bylo umístěno doprostřed Dannerova parku (obr. 8). Ten je tvořen kulatým náměstíčkem o průměru přibližně 10 metrů a okolní travnatou plochou s několika listnatými stromy. Za plochou vede užší komunikace, za níž se nachází fotbalové hřiště Bohemians Praha. Podkladem měření byla vyšší tráva, měřící místo pro stativ se nacházelo 1 metr od nově zasazeného stromu. Stanoviště bylo až na dvě výjimky vždy osluněné.



Obr. 8: Stanoviště č. 7 (Dannerův park u fotbalového stadionu Ďolíček).

Stanoviště č. 8

Měření probíhalo na tramvajové zastávce Bohemians směrem od centra v ulici Vršovická (obr. 9). Zastávka je tvořena betonem a dlažebními kostkami. Na obě strany od zastávky se nachází komunikace a na chodnících několik stromů v pravidelných, přibližně desetimetrových rozestupech. Tramvajový pás je vyroben z betonových bloků. Ulice je obklopena starými několikapatrovými budovami. Doprava je zde velmi hustá. Na rozdíl od stanoviště č. 4 v totožné ulici, však přímo u měřicího místa automobily neparkují. Stín byl na stanovišti často v posledních dvou měřicích okruzích.



Obr. 9: Stanoviště č. 8 (tramvajová zastávka Bohemians ve Vršovické ulici).

4.3 Měření a výpočty

Na každém stanovišti byl přístroj spolu se stativem uveden do vodorovné polohy ve výšce cca 1,2 m a následně bylo zapnuto ukládání dat. Data se do přístroje ukládala každých 5 sekund po dobu 6 minut. Následně bylo ukládání záznamů vypnuto a přešlo se na následující lokalitu. Zde se celý proces opakoval. Přesuny mezi jednotlivými stanovišti zabraly přibližně 3 minuty. Před začátkem každého měření byl přístroj ponechaný 1 minutu v klidové poloze pro aklimatizaci po přesunu.

Z jednoho měření na stanovišti se do přístroje zapsalo přibližně 72 záznamů. Ty byly následně zprůměrovány tak, aby vznikla pro jedno měření jedna hodnota záznamu. Výjimkou byl WBGT Index, kdy není jako reprezentativní hodnota za jedno měření uvažován šestiminutový průměr, ale poslední hodnota v tomto intervalu. Důvodem je výrazně pomalejší aklimatizace přístroje při zaznamenávání teploty kulového teploměru (globe temperature). Výsledkem bylo 45 hodnot pro každý meteorologický prvek za den, se kterými se pracuje ve výsledcích.

Z důvodu přesnějšího porovnání rozdílů mezi stanovišti, bylo nezbytné eliminovat teplotní změny během měřeného okruhu. Bylo vypočítáno, o kolik se teplota během okruhu zvýšila, či snížila, jakožto teplotní rozdíl mezi hodnotami prvního a posledního měření v rámci okruhu. Zjištěný rozdíl byl vydělen počtem minut trvání okruhu. V případě, že se teplota přirozeně zvyšovala, byl výsledný koeficient odečten (přičten) od (k) průměrné teploty (ě) naměřené na stanovišti. Tímto přepočtem se standardizovaly reálně naměřené hodnoty teploty vzduchu pro celý okruh a jednotlivá stanoviště mohla být porovnáována na základě jejich specifických podmínek. Tento přepočet byl použit pro porovnání stanovišť u průměrné teploty, Heat indexu a části WBGT indexu. Výše zmíněný přepočet je v práci dále nazýván standardizace přirozených denních přírůstků.

Pro porovnání vývoje teploty během dnů nebyla tato metoda přepočtu aplikována. Jediným přepočtem zde bylo vypočtení průměru z prvního a posledního měření v okruhu (stejně stanoviště) a uvažování této hodnoty jako jednoho údaje za stanoviště č. 1. To stejné platí pro výpočet limitních hodnot WBGT indexu. U porovnávání stanovišť po eliminaci přirozených denních přírůstků nebylo třeba první a poslední stanoviště průměrovat, jelikož nám pro ně po přepočtu vyšly stejné hodnoty.

Měření probíhalo v osmi dnech během léta (červen–srpen) 2020. Pro samotnou analýzu bylo z důvodu úplnosti dat vybráno pět dnů, a to 22. 6., 10. 7., 27. 7., 28. 7. a 20. 8.

Ve výsledcích se pracuje pouze s některými z měřených ukazatelů, a to konkrétně s teplotou vzduchu, vlhkostí vzduchu, rychlostí větru, Heat indexem a WBGT indexem.

5. VÝSLEDKY

5.1 Základní charakteristika měřících dnů

Tabulka 2 ukazuje průměrné a maximální hodnoty jednotlivých zkoumaných meteorologických prvků během pěti dnů měření. Všechny měřené dny spadají do kategorie tropických dní, minimálně na jednom stanovišti byla pokaždé naměřena hodnota přesahující 30 °C.

Nejteplejším dnem dle průměrné teploty, Heat Indexu i WBGT indexu byl 28. červenec, nejchladnějším 22. červen.

Nejvíce oblačným dnem se stal paradoxně opět 28. červenec. Oblaky však byly většinou situovány do středních atmosférických výšek v podobě roztroušených cirrocumulů (4/8 – polojasno), skrz které sluneční svit v dostatečné míře prostupoval na zemský povrch. Tentýž den byl také dnem s nejvyšší průměrnou rychlostí větru. Nejméně oblačnosti bylo zaznamenáno 20. srpna, kdy bylo po celou dobu měření zcela jasno, zatáhlo se na chvíli až před posledním okruhem. Tento den byl rovněž nejméně větrným dnem.

Rozdíl průměrné teploty mezi nejteplejším a nejchladnějším dnem byl 6,1 °C, zatímco rozdíl maximální teploty byl u těchto dvou dnů pouze 4,5 °C. Z toho lze vysledovat, že se 28. 7. teplota dlouhodobě držela ve vysokých hodnotách a nejednalo se o nárazové výkyvy, zatímco maximální teplotu v chladnější den lze chápat jako krátkodobější stav spíše lokálního charakteru (na určitém stanovišti) (viz kapitola 5.2).

Tab. 2: Přehled základních měřených meteorologických prvků v pěti měřících dnech. Hodnoty jsou zprůměrovány za celý den, maximální hodnoty značí nejvyšší dosaženou denní hodnotu. Červeně zvýrazněn nejteplejší, největrnější a nejvíce oblačný den. Zeleně označen nejstudenější den.

datum	teplota (°C)	max. teplota (°C)	Heat Index (°C)	max. Heat Index (°C)	WBGT (°C)	max. WBGT (°C)	oblačnost	rychlost větru (m/s)	relativní vlhkost vzduchu (%)
22.6	26,4	30,9	25,3	30,0	23,3	27,2	3/8	1,2	40,1
10.7.	31,7	35,3	31,8	34,9	26,5	29,5	3/8	1,2	35,8
27.7.	27,9	30,8	26,9	29,8	24,0	27,3	2/8	0,7	38,1
28.7.	32,5	35,4	32,4	35,5	27,0	31,5	4/8	1,3	32,7
20.8.	28,9	34,7	28,4	34,6	25,0	28,7	1/8	0,6	39,1

Tabulka 3 zobrazuje průměrné hodnoty dle stanovišť. Hodnoty pro průměrnou teplotu, Heat Index a WBGT jsou zobrazeny po standardizaci přirozených denních přírůstků.

Výsledky průměrné teploty, relativní vlhkosti, rychlosti větru, Heat Indexu a WBGT dle stanovišť jsou rozepsány v samostatných kapitolách (viz níže).

Poslední sloupec v tabulce 2 znázorňuje, že nejvíce zastíněným stanovištěm bylo č. 6, na křižovatce ulic Orelská a Na Spojce, které bylo ve stínu celkem 7 z 25 měření. Ve většině případů se jednalo o měření během posledních dvou okruhů, kdy bývalo slunce v zákrytu vysoké zástavby. Druhým nejvíce zastíněným místem bylo stanoviště č. 3, na křižovatce ulic Na Louži a K Louži. Opět se jedná o stanoviště v zástavbě a stejně jako u výše zmíněného, zde hrály roli vysoké budovy, stínící slunečním paprskům v dopadu na měřicí přístroj, především během posledního okruhu.

Nejméně zastíněným stanovištěm bylo č. 4, u hotelové školy, s pouhým jedním zastíněním, které bylo navíc důsledkem přecházející oblačnosti a trvalo pouze 4 minuty z šesti minut měření na stanovišti.

Tab. 3: Přehled průměrných hodnot dle stanovišť. Průměry vypočítány z 25 měření, stejně tak počet zastínění. Průměrná teplota, Heat Index (HI) a WBGT zobrazeny po standardizaci přirozených denních přírůstků.

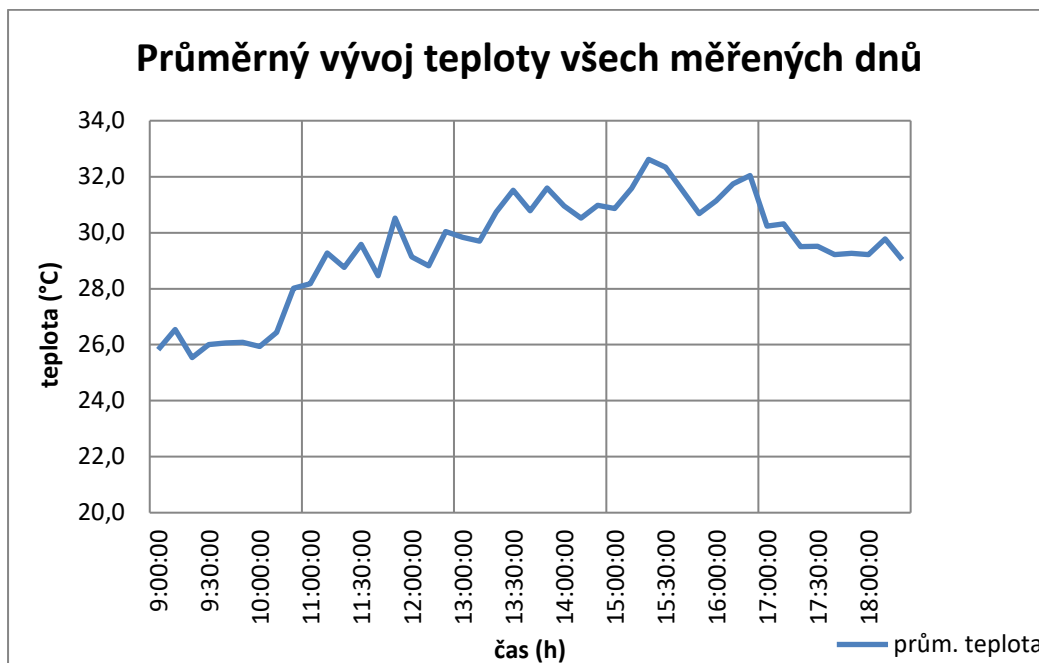
	prům. teplota (°C)	rel.vlhkost (%)	HI (°C)	rychlost větru (m/s)	WBGT (°C)	zastínění celkem
1 (Makuchova lávka)	29,0	37,3	28,5	0,8	24,7	3
2 (dětské hřiště)	28,4	38,4	29,0	0,8	25,5	4
3 (křižovatka ulic)	29,2	37,2	28,8	1,2	25,2	6
4 (hotelová škola)	29,4	26,4	28,9	0,9	24,8	1
5 (Čechovo náměstí)	28,7	37,2	28,0	1,1	24,2	3
6 (křižovatka ulic)	29,0	36,9	28,6	0,8	24,9	7
7 (Dannerův park)	28,5	37,7	28,0	1,4	24,9	2
8 (Bohemians)	28,6	36,4	27,9	1,4	24,0	5

5.2 Vývoj teploty během dne

5.2.1 Průměrný vývoj teploty všech měřených dnů

Ranní teploty se pohybovaly standardně mezi 23–27 °C a vyznačovaly se častými výkyvy. Kolem 11:00 začala teplota mírně růst až do svého maxima okolo 15:30. Od této doby teplota mírně klesala až do odpoledního minima koncem posledního okruhu, které bylo vyšší než ranní. Při posledním okruhu bylo vždy zastíněné stanoviště č. 6 (křižovatka Orelská a Na Spojce), stanoviště č. 5 (Čechovo náměstí) dvakrát z pěti měření. Mezi 11:00 a 16:00 bylo vždy nejméně oblačnosti, což znamenalo bezproblémový průchod

slunečních paprsků. V kombinaci s přirozeně nejvyšší denní teplotou to tvořilo ideální podmínky pro oslunění všech stanovišť a růst teploty.



Obr. 10: Vývoj teploty dosažené po zprůměrování všech tepelných naměřených hodnot ze všech dnů měření.

5.2.1 Vývoj teploty v chladné a horké dny

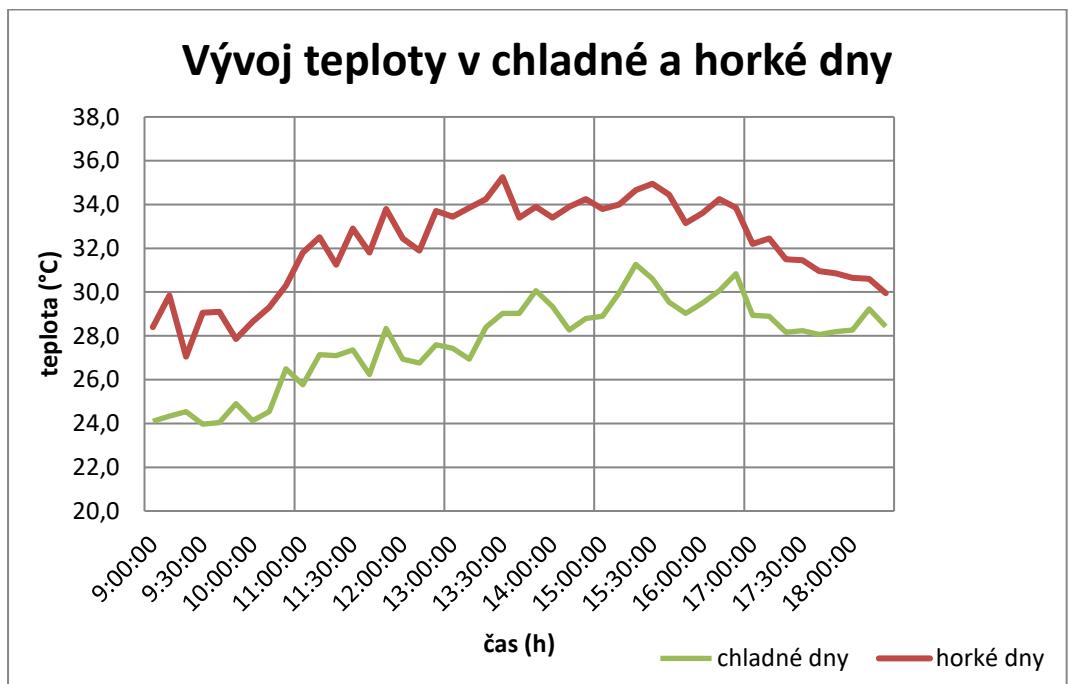
Na obrázku 11 jsou zachyceny křivky vývoje teploty během „chladných“ a „horkých“ dnů. Jako chladné dny byly uvažovány 22. 6., 27. 7. a 20. 8. Jedná se o dny, kdy byla průměrná teplota nižší než 30 °C. Jako horké dny byly uvažovány 10. 7. a 28. 7. Jsou to dny, kdy průměrná teplota překročila 30°C a zároveň dny, kdy maximální teplota překročila 35 °C.

U chladných dnů lze pozorovat pomalý, leč ustálený nárůst teploty až do svého maxima v 15:30. Tehdy teplota poklesne a v 16:45 opět vzroste. To je zaviněno především tím, že se některá stanoviště během čtvrtého okruhu začala zatahovat stínem vinou zákrytu níže položeného slunce vysokými budovami, a při přechodu na osluněná stanoviště (například stanoviště č. 4 u hotelové školy nebo na stanovišti č. 5 na Čechově náměstí) měřená teplota skokově vzrostla. Během posledního okruhu začala teplota klesat.

V horké dny je ranní situace odlišná. Místo pomalého růstu nastávají skokové změny teplot. Způsobeno to může být tím, že na některé ze stanovišť svítí slunce již delší čas, zatímco na některé (stanoviště v zástavbě) nikoliv a stanoviště jsou tím pádem méně prohřáté. Od 9:45 lze vysledovat strmý vzrůst teploty, doprovázený následnými skoky, které přerostou do teplotního maxima v 13:30. Od té chvíle má teplota přibližně vyrovnanou tendenci a v 16:15 začne klesat. Klesání teploty je v horké dny rychlejší než v chladné

dny. Může jít o důsledek rychlejší ztráty kumulovaného tepla. Při teplejších dnech bylo jasnější počasí, takže se teplo rychleji uvolňovalo zpět do atmosféry.

V chladné dny byla teplota 30 °C překročena jednou okolo 14:00, podruhé v 15:15 a potřetí v 16:10. Nejdelší konzistentní překročení 30 °C hodnoty bylo zaznamenáno mezi 15:15 a 15:50, jinak teplota vždy rychle klesla zpět pod 30 °C hranici. U horkých dnů byla 30 °C hranice překročena v 10:15 a vydržela po celou dobu měření, kromě posledního měření na zastávce Bohemians, které již bylo ve stínu. V 13:20 teplota dosáhla 34 °C a kolísavě se na tuto hodnotu vracela, či ji přerůstala až do 16:15, kdy nastal výše zmíněný teplotní pokles. Od 13:30 do 15:15 lze sledovat nejvyrovnanější teplotní vývoj. Teplota se neustále pohybovala okolo 34 °C s maximálním rozdílem 1 °C mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou. Podobný ustálený vývoj lze spatřit u chladných dnů mezi 17:20 a 18:10, kdy se teplota držela na hodnotě 28 °C s maximální odchylkou 0,4 °C. V tuto dobu byla však některá stanoviště ve stínu a nebyl zde předpoklad nárůstu teploty.



Obr. 11: Vývoj teploty během chladných (22. 6., 27. 7. a 20. 8.) a horkých (10. 7. a 28. 7.) dnů. Svislými čarami odděleny jednotlivé okruhy.

5.3 Průměrná teplota dle stanovišť

5.3.1 Průměrné teploty všech měřených dnů

Obrázek 12 zachycuje průměrné teploty jednotlivých stanovišť ze všech měření. Jedná se tudíž o 25 měření na každém stanovišti, jejichž hodnoty byly přepočítány a v kapitole se s nimi pracuje po standardizaci přirozených denních přírůstků.

Z výsledků měření vyplývá, že nejteplejším stanovištěm bylo č. 4 před hotelovou školou. Toto stanoviště mohla z teplotního hlediska negativně ovlivňovat intenzivní doprava, blízko parkující automobily či celodenní sluneční svit.

Naopak nejchladnějším místem se stalo stanoviště č. 7 v Dannerově parku, které bylo v průměru o 0,9 °C chladnější než č. 4. Stanoviště č. 7 bylo po celou dobu měření vystaveno, navzdory chladnějším výsledkům, přímému slunci. Pozitivní vliv na teplotu zde má travnatý povrch, na kterém se měřicí přístroj nacházel. Zároveň zde může mít příznivý vliv fotbalový stadion Ďolíček s několika set metrovým travnatým povrchem, nacházející se přibližně 30 metrů od stanoviště.

Třetím nejchladnějším stanovištěm bylo č. 5 (Čechovo náměstí), které bylo pouze o 0,2 °C teplejší než stanoviště č. 7. Na stanoviště má bezpochyby příznivý vliv svah, ve kterém se Čechovo náměstí i Dannerův park nachází. Studenější vzduch stéká z výše položených ulic do rozlehlého otevřeného prostranství, kde se i díky zeleni drží a pozitivně ovlivňuje teplotní podmínky dané lokality. To lze shledat jako jeden z hlavních faktorů nízké teploty. Jedna z nejnižších teplot byla na stanovišti č. 5 naměřena navzdory tomu, že zde zpravidla nebyl stín, který by způsoboval přirozené snižování teploty. Stanoviště bylo zastíněno pouze třikrát z 25 měření vinou přecházející oblačnosti.

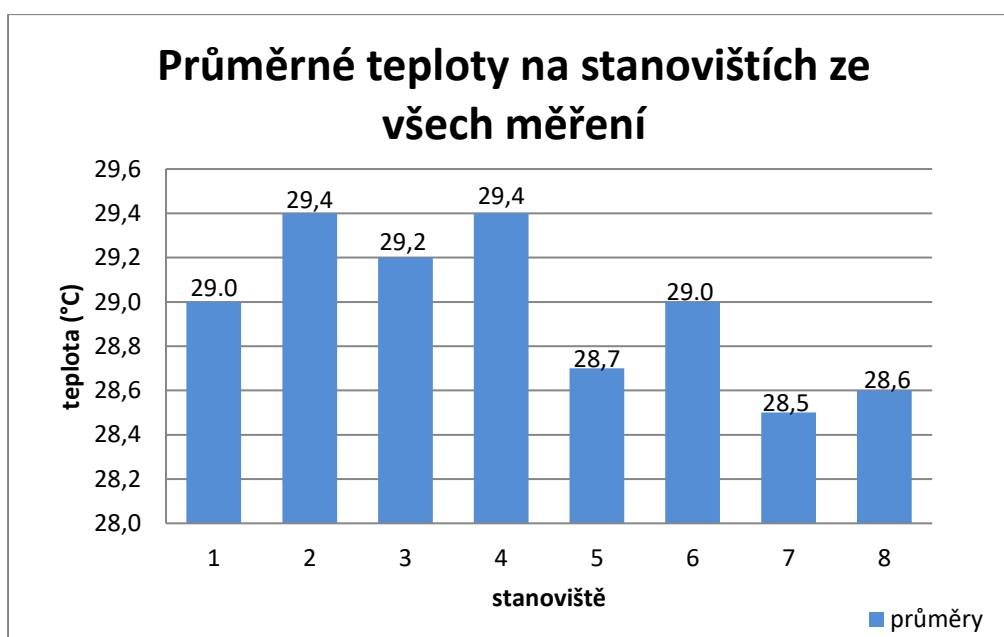
Proti očekávání nebyly naměřeny nejvyšší teploty uprostřed zástavby na stanovištích č. 3 a 6. Na rozdíl od stanoviště č. 4 u školy ve Vršovické ulici, zde nebyla taková dopravní vytíženost. Stanoviště č. 6 bylo navíc během posledních dvou okruhů většinou ve stínu (sedmkrát), což mělo vliv na výsledky celodenního měření. Stanoviště č. 3 se nacházelo ve stínu šestkrát.

Překvapením se stala vysoká teplota na stanovišti č. 2 na dětském hřišti v Přípotoční ulici. Přestože podklad měření tvořil travnatý povrch, stejně jako u nejchladnější lokality č. 7 v Dannerově parku, jedná se spolu se stanovištěm č. 4 o nejteplejší stanoviště. Na rozdíl od stanoviště č. 7 zde pravděpodobně hrály vliv faktory jako velká plocha kačírku, zadržujícího teplo, teplo uvolňované ze stěny protější budovy nebo malá ventilovanost stanoviště (viz rychlosti větru v tabulce 2 a kapitole 5.6).

Znatelný rozdíl teploty lze spatřit u stanovišť č. 4 a 8 ve Vršovické ulici. Hlavním faktorem nižší teploty u druhého jmenovaného stanoviště je stín, při posledních okruzích měření, zatímco stanoviště č. 4 bylo po celou dobu vystaveno slunečním paprskům. Výsledek je tak v rozporu s očekáváním, že bude stanoviště č. 4 chladnější díky travnatému tramvajovému pásu nebo vegetačně bohaté předzahrádce hotelové školy. Výsledky stanoviště č. 4 mohou být ovlivněny faktem, že v horké dny parkovaly poblíž stanoviště pouze černé automobily, z nichž teplo ztelně sálalo.

Určitou roli ve výsledcích hraje stín. Nejteplejší stanoviště (č. 2 a 4) byla prakticky celý den vystavena přímému slunečnímu svitu, na rozdíl od stanovišť v zástavbě (č. 3 a 6), která byla v posledních dvou okruzích často nebo zcela zastíněna.

Nezanedbatelný vliv na teplotní výsledky má podklad měření. U teplejších stanovišť č. 1, 3 a 4 byl měřicím podkladem asfalt. Podkladem u chladnějších stanovišť č. 5, 6 a 8 byly dlažební kostky. Může se tak jednat o jeden z důvodů, proč mají typově podobná stanoviště (č. 3 a 6, nebo č. 4 a 8) odlišné výsledky. Teplotní rozdíly mezi stanovišti č. 2 a 7 ovšem nelze vysvětlit pouze rozdílným podkladovým povrchem. Výsledky naznačují, že je třeba porovnat i další meteorologické prvky, které mohou ovlivňovat teplotní podmínky na stanovišti.



Obr 12: Průměrné teploty z dvaceti pěti měření na jednotlivých stanovištích ze dnů 22. 6., 10. 7., 27. 7., 28. 7. a 20. 8.

5.4 Relativní vlhkost dle stanovišť

Obrázek 14 ukazuje průměrné hodnoty relativní vlhkosti na jednotlivých stanovištích. Průměry jsou spočítány z 25 měření pro každé stanoviště.

Nejvyšší vlhkost byla naměřena na dětském hřišti na stanovišti č. 2. Druhá nejvyšší hodnota na stanovišti č. 7 v Dannerově parku. Obě hodnoty mohly být ovlivněny travnatým povrchem, na kterém měření probíhalo. Celé léto bylo relativně deštivé a několikrát se stalo, že byl porost vlhký po noční přehánce či dešti z předchozího dne. To pravděpodobně ovlivňovalo zejména ranní měření, kdy se dešťová voda odpařovala. Travnatý podklad vodu zadržoval déle než asfalt, tím mohl ovlivňovat vlhkost vzduchu výrazně delší dobu, než tomu bylo u jiných stanovišť. Na hodnoty na stanovišti č. 7 má

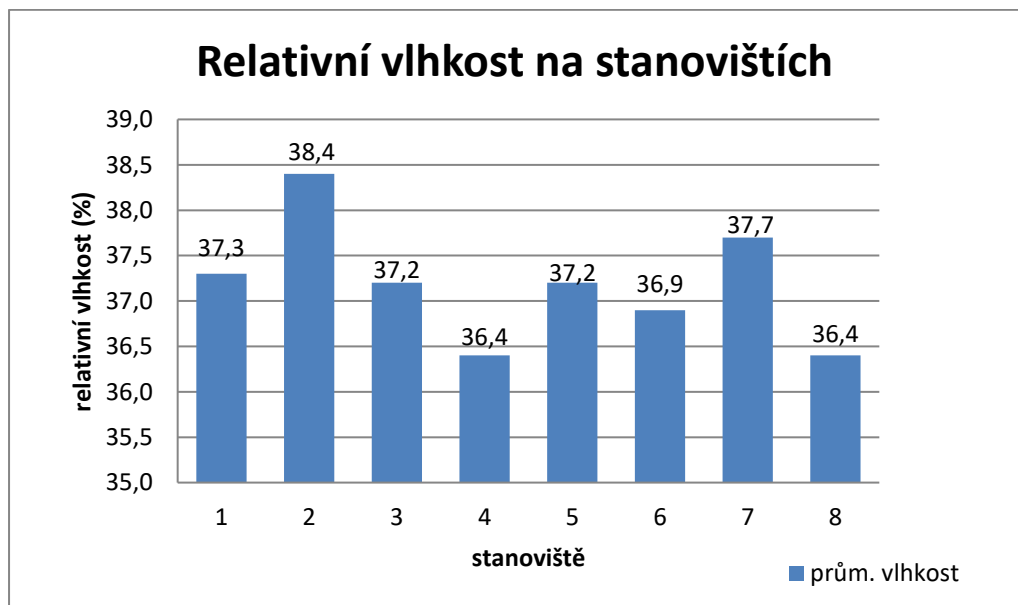
navíc zajisté veliký vliv závlahový systém na blízkém fotbalovém stadionu, jehož kapky dopadají při silnější síle větru až na hranici Dannerova parku.

Závlahový systém mohl ovlivnit hodnoty vlhkosti vzduchu i na stanovišti č. 5 (Čechovo náměstí), kde byl využíván pro kropení trávníku.

Měření na stanovišti č. 1 na Makuchově lávce, bylo pravděpodobně ovlivněno betonovým měřícím podkladem. Nevyplnil se tak předpoklad, že hodnoty vlhkosti budou na tomto stanovišti, umístěném tři metry nad potokem, nejvyšší.

Stanoviště č. 3 a 6, umístěná na křižovatkách uprostřed zástavby, měla mít dle předpokladu nejnižší vlhkost, vzhledem k nulové možnosti zadržení vody v podobě zelených ploch či jiných opatření. Jejich hodnoty jsou však průměrem hodnot ze všech stanovišť.

Nejnižší vlhkost byla zaznamenána na stanovištích č. 4 a 8, obě ve Vršovické ulici. Jedná se o stanoviště s nejvyšším dopravním provozem. U stanoviště č. 4 u hotelové školy, se nachází travnatý tramvajový pás, který je průběžně kropen a může mimo jiné zadržet určitý objem dešťové vody. Naproti tomu se na stanovišti č. 8 (zastávka Bohemians) nachází betonový tramvajový pás bez jakékoliv možnosti retence dešťových srážek. Předpoklad, že díky travnatému pásu bude na stanovišti č. 4 vyšší vlhkost než na stanovišti č. 8, se nepotvrdil.



Obr 14: Průměrná relativní vlhkost dle stanovišť ze všech dnů měření.

5.5 Průměrný Heat Index dle stanovišť

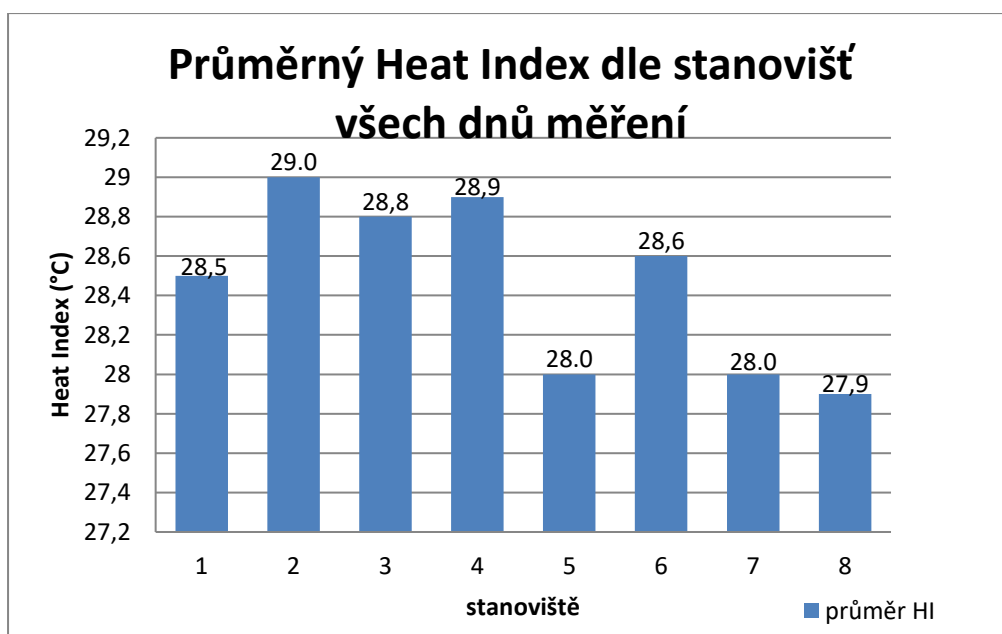
Obrázek 15 zachycuje průměrné hodnoty Heat Indexu stanovišť z 25 měření na každém z nich. Výsledky jsou uvedeny po standardizaci přirozených denních přírůstků.

Nejteplejším místem z hlediska Heat Indexu se stalo stanoviště č. 2 na dětském hřišti. Jedná se o stanoviště s druhou nejvyšší průměrnou teplotou a zároveň zde byla měřena nejvyšší hodnota relativní vlhkosti. Při vysoké teplotě a vyšším nasycení vzduchu vodními parami dochází ke zhoršení podmínek pro odpařování potu, člověk se tak nemůže ochlazovat a pocitová teplota (Heat Index) je vyšší.

Druhé nejteplejší stanoviště je č. 4 u hotelové školy, na kterém byly měřeny nejvyšší hodnoty teploty vzduchu, ale taktéž nejnižší hodnoty relativní vlhkosti. Z toho lze usuzovat, že teplota byla dominantním faktorem na tomto stanovišti z hlediska výsledného Heat Indexu.

Nížší hodnoty Heat Indexu byli zaznamenány na stanovištích č. 5, 7 a 8. Na těchto stanovištích byla měřena nejnižší teplota vzduchu. Stanoviště č. 5 na Čechově Náměstí a č. 7 v Dannerově parku byla naměřena vyšší průměrná vlhkost vzduchu a z toho důvodu je i Heat Index na těchto stanovištích vyšší než na stanovišti č. 8 (zastávka Bohemians).

Stanoviště č. 8 tak bylo vůbec nejchladnějším stanovištěm z hlediska Heat indexu, když rozdíl mezi stanovištěm č. 2 s nejvyšší hodnotou a stanovištěm č. 8 byl 1,1 °C.



Obr 15: Průměrné hodnoty Heat Indexu dle jednotlivých stanovišť ze všech dnů měření.

5.6 Průměrná rychlost větru dle stanovišť

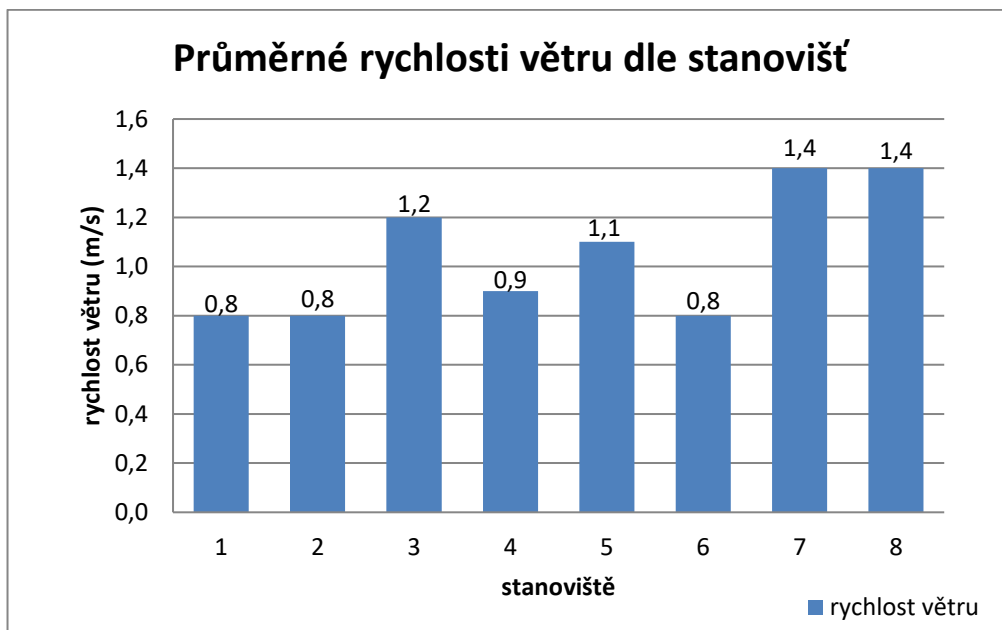
Obrázek 16 ukazuje, jaké průměrné rychlosti větru byly měřeny na jednotlivých stanovištích v rámci všech měření.

Nejméně větrným místem bylo stanoviště č. 6, umístěné uprostřed vysoké zástavby ulic Orelská a Na Spojce, která tvořila větrnou bariéru měřenému místu. Nejvíce větrným místem bylo stanoviště č. 8 na zastávce Bohemians ve Vršovické ulici, kde bylo naměřeno v průměru o pouhé 0,2 m/s rychlejší proudění větru než na stanovišti v Dannerově parku (č. 7). Větrné podmínky stanoviště č. 8 mohly ovlivňovat rychle projíždějící automobily, vedle kterých, takřka v bezprostřední blízkosti, měření probíhalo. Stanoviště č. 7 v Dannerově parku bylo umístěno na otevřené ploše, ze dvou stran takřka nechráněné, pouze dvoumetrovou dřevěnou zdí ze strany fotbalového stadionu a širokou komunikací vedoucí z kopce na stanoviště č. 8. Z dalších dvou stran bylo chráněno patrovými domy, které se ovšem nacházely více než dvacet metrů od měřícího místa.

Příčinu rozdílných hodnot na stanovištích ve Vršovické ulici (č. 4 a 8) lze hledat ve vysoké budově školy a řadě zaparkovaných aut, díky kterým bylo měřící stanoviště č. 4 u hotelové školy chráněno před větrem. Projíždějící automobily se nacházely za touto bariérou a na přístroj tak neměly z hlediska nárazového proudu vzduchu při projíždění žádný vliv. Zajímavým výsledkem je měření č. 3 na křižovatce ulic Na Louži a K Louži. Zde vítr proudil při každém měření, ovšem v menší intenzitě než u výše jmenovaných. Vítr vanul vždy ulicí K Louži ze severovýchodu na jihozápad. Pravděpodobně se jedná o větrný koridor, který může ve výsledku průběžně snižovat tepelnou zátěž (viz výsledky WBGT v kapitole 5.7) v daném území a zlepšovat místní biometeorologické podmínky. Zajímavým poznatkem je, že zatímco byly hodnoty větru vyšší u stanoviště č. 3, stanoviště č. 2 na dětském hřišti mělo hodnoty o poznání nižší. A to i přesto, že se nachází ve vedlejší ulici (Přípotoční), která je rovnoběžná s ulicí K Louži. Zde by se dalo očekávat, že vítr bude proudit stejným způsobem ulicí Přípotoční, jako ulicí K Louži, leč nikoliv.

Zde lze porovnat dvě podobná stanoviště, č. 2 na dětském hřišti a již zmíněné stanoviště č. 7. Obě stanoviště mají travnatý podklad měření a mohou mít podobné vlastnosti, co se týče ventilovanosti a otevřenosti daného území. Vyšší průměrná rychlost větru na stanovišti č. 7 (o 0.6 m/s) tak může být způsobena hlavně umístěním Dannerova parku ve svahu mezi širokými ulicemi, které mohou sloužit jako koridory pro chladnější vzduch z ulic umístěných výše. Naproti tomu je dětské hřiště v Přípotoční ulici (č. 2) z jedné strany chráněno vysokými řadovými budovami a z druhé vysokým neudržívaným porostem, který brání větší ventilaci stanoviště. Srovnání výsledků průměrné rychlosti větru (obr. 16) a průměrné teploty vzduchu

(obr. 12) naznačuje, že podmínky pro proudění vzduchu ulicemi měly významný vliv na teplotní podmínky na jednotlivých stanovištích.



Obr 16. Průměrná rychlost větru na stanovištích během všech dnů měření.

5.7 WBGT dle stanovišť

5.7.1 Průměrný WBGT všech měřených dnů

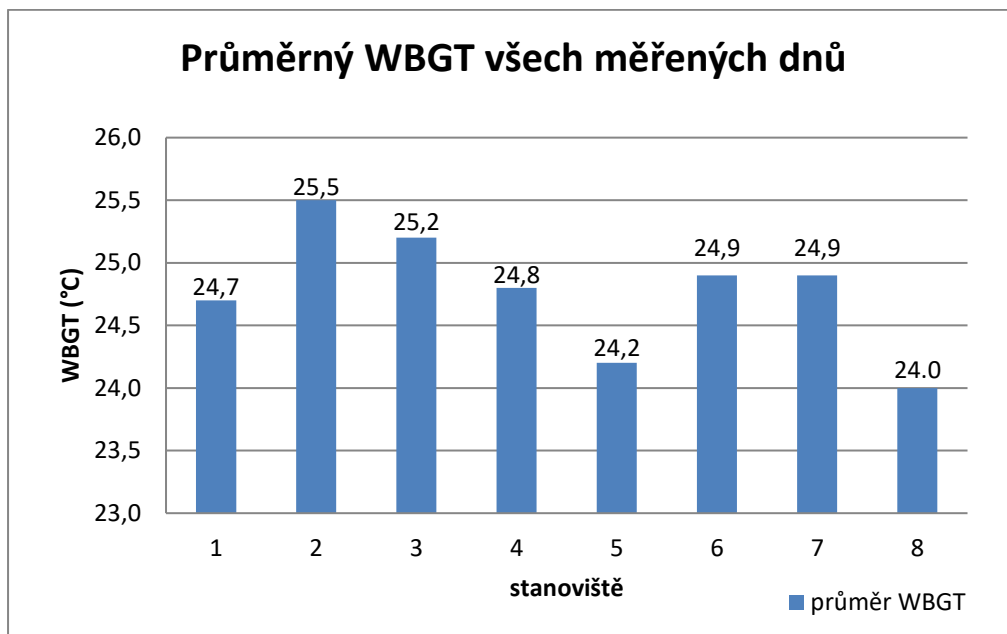
Obrázek 17 zachycuje průměrné hodnoty WBGT, spočítané ze všech dnů měření na jednotlivých stanovištích. Výsledky vycházejí z hodnot po standardizaci přirozených denních přírůstků.

Stanovištěm s nejvyšší tepelnou zátěží se stalo měřicí stanoviště č. 2 na dětském hřišti. Stanoviště č. 8 na zastávce Bohemians bylo naopak pocitově nejchladnější s hodnotou WBGT o 1,5 °C nižší než stanoviště č. 2. Jak je popsáno výše, stanoviště č. 2 ovlivňovala vysoká vlhkost spojená s vysokou průměrnou teplotou a nízkou rychlostí větru. Jednalo se o stanoviště s nejvyšším průměrným Heat Indexem. Pocitová teplota na stanovišti č. 8 byla naopak silněji ovlivněna činností větru, která zde byla v rámci měření nadprůměrná. WBGT je nízký taktéž u stanoviště č. 5 na tramvajové zastávce Čechovo Náměstí či na Makuchově lávce na stanovišti č. 1. Obě stanoviště může ovlivňovat nízká teplota, tramvajovou zastávku navíc silnější vítr.

Relativně vyšší hodnoty WBGT byly zjištěny pro obě stanoviště v zástavbě (č. 3 a 6, s vzájemným rozdílem 0,3 °C) a pro stanoviště č. 7 v Dannerově parku, které je rozlohou a travnatým podkladem podobné stanovišti č. 2.

Přestože stanoviště č. 4 (hotelová škola) bylo nejteplejší z hlediska teploty vzduchu a vítr zde dosahoval spíše podprůměrných hodnot, díky nejnižší

vlhkosti vzduchu zde byla zjištěna výrazně nižší tepelná zátěž WBGT než na stanovištích č. 2 a 3.



Obr 17: Průměrný WBGT dle stanovišť ze všech měřených dnů.

5.7.2 Průměrný WBGT v chladné a horké dny

Obrázek 18 zachycuje průměrné hodnoty WBGT dle jednotlivých stanovišť během chladných dnů (22. 6., 27. 7. a 20. 8.) a horkých dnů (10. 7. a 28. 7.). Výsledky vycházejí z hodnot po standardizaci přirozených denních přírůstků.

Jak již bylo zmíněno výše, nejchladnějším stanovištěm se dle WBGT stalo č. 8 (zastávka Bohemians) a to při chladných i horkých dnech. Toto stanoviště bylo při posledních okruzích chladných dnů ve stínu, což výrazně snížilo teplotu a WBGT. Nejchladnějším dle WBGT bylo stanoviště č. 5 na Čechově náměstí. Toto stanoviště bylo druhé nejchladnější dle analýzy Heat Indexu, výsledná teplota byla ještě snížena vlivem větru, který zde byl patrný při všech měření.

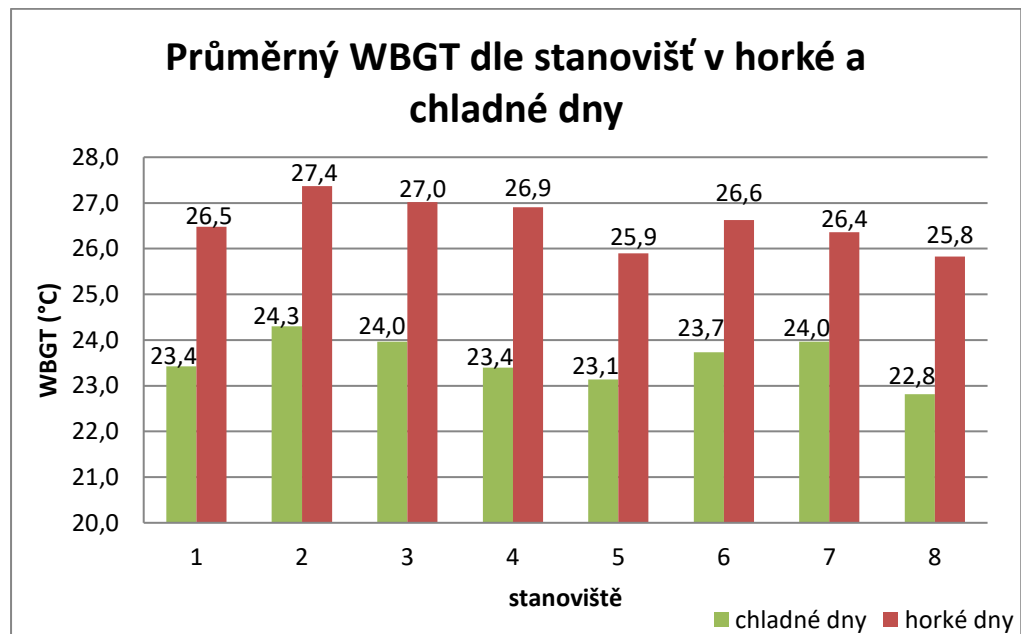
Nejvyšší hodnota pro chladné i horké dny vyšla u stanoviště č. 2 na dětském hřišti. Stanoviště nebylo zastíněno při žádném z měření v chladných dnech, v horkých dnech jednou. Vysoké hodnoty byly naměřeny v horké dny také na stanovištích č. 3 na křižovatce ulic Na Louži a K Louži, a č. 4 u hotelové školy. Obě stanoviště měly vysoké hodnoty i v analýze Heat Indexu, pro stanoviště č. 3 byl charakteristický pravidelný stejnosměrný vítr při všech měření.

Zajímavé je srovnání výsledků pro chladné a horké dny u stanoviště č. 7 (Dannerův park). Jedná se o stanoviště s druhou nejvyšší tepelnou zátěží během chladných dnů, zatímco v horkých dnech bylo stanoviště z hlediska

WBGT třetí nejchladnější. Stejně tak hodnoty pro průměrné teploty či Heat index za všechny dny byly na tomto stanovišti jedny z nejnižších. Tato nesrovnalost je způsobena větrnými podmínkami, které byly na tomto stanovišti příznivější během horkých dnů. Naopak relativní vlhkost vzduchu byla v průměru vyšší v chladnější dny. To jsou důvody, které vedly ke zvýšení průměrného WBGT v tyto tři dny v celkovém pořadí stanovišť.

Rozdíl v tepelné zátěži mezi nejteplejším a nechladnějším stanovištěm v chladných dnech byl 1,5 °C, v horkých dnech 1,6 °C.

Výsledky WBGT v chladných a horkých dnech spolu navzájem korespondují. Celkové pořadí stanovišť koresponduje s výsledky pro průměrné hodnoty teploty, Heat indexu i WBGT. Nelze tak prohlásit, že by teplotní rozdíly mezi chladnými a horkými dny výrazně ovlivňovaly rozdíly mezi stanovišti. Výjimkou je výše zmíněné stanoviště č. 7 (Dannerův park).



Obr 18: Průměrné hodnoty WBGT na jednotlivých stanovištích v chladné a horké dny.

5.7.3 Limitní hodnoty WBGT

Index WBGT je mezinárodně uznávaným ukazatelem pro hodnocení tepelné zátěže v různých prostředích. S pomocí tohoto indexu lze vyhodnotit rozdíly naměřené zátěže mezi stanovišti na základě limitních hodnot uvedených v tabulce 3. Tyto limitní hodnoty určují míru zdravotního rizika na základě aktuálních meteorologických podmínek na stanovišti. Pro určení míry zdravotního rizika z tepelné zátěže nebyl výpočet pro standardizaci

přirozených denních přírůstků použit, jelikož by snižoval naměřené hodnoty, což je v tomto případě nežádoucí.

Tabulka 4 představuje limitní hodnoty pro jednotlivé stupně zdravotního rizika při atletické zátěži.

Tab. 4: Limitní kategorie WBGT Indexu pro atletickou zátěž.

Zdroj: (Kestrel AU, 2021)

GUIDANCE FOR ATHLETIC TRAINERS			
WBGT	FLAG COLOR	LEVEL OF RISK	COMMENTS
<18°C (<65°F)	Green	Low	Risk low but still exists on the basis of risk factors.
18-23°C (65-73°F)	Yellow	Moderate	Risk level increases as event progresses through the day.
23-28°C (73-82°F)	Red	High	Everyone should be aware of injury potential; individuals at risk should not compete.
>28°C (82°F)	Black	Extreme or Hazardous	Consider rescheduling or delaying the event until safer conditions prevail; if the event must take place, be on high alert.

V tabulce 5 lze sledovat, jak si stála jednotlivá stanoviště v jednotlivých dnech měření z hlediska středního (vyznačeno žlutou barvou), vysokého (sloupec vyznačen červenou barvou) a extrémního rizika tepelné zátěže (sloupec vyznačen černou barvou) při zvýšené fyzické aktivitě.

Výsledky měření ukazují, že v nejteplejší den (28. července) bylo přístrojem zaznamenáno nejvíce hodnot odpovídajících extrémnímu riziku tepelné zátěže. Jako vysoce či extrémně riziková byla v tento den vyhodnocena všechna měření. Celkem 14 měření ze 40 (první a poslední hodnota na totožném stanovišti v rámci okruhu opět zprůměrovaná) bylo vyhodnoceno jako extrémně rizikové. Nejčastěji, celkem třikrát z pěti měření, bylo extrémní riziko zaznamenáno na stanovištích č. 3 (na křižovatce ulic Na Louži a K Louži) a č. 4 (u hotelové školy).

Druhým nejteplejším a tudíž nejrizikovějším dnem se stal 10. červenec, kdy byly hodnoty extrémního rizika naměřeny 11 krát a vysokého rizika 29 krát. Pět extrémně rizikových měření bylo zaznamenáno na čtyřech stanovištích 20. srpna. Naopak 22. červen a 27. červenec zůstal bez hodnot pro extrémní zdravotní riziko. V červnový den zůstalo 15 měření ve střední rizikové skupině, v červencové 11 měření. Do nízké rizikové skupiny nebylo zařazeno žádné měření z pěti sledovaných dnů.

Nejvíce hodnot (21) spadajících do vysokého rizika dle WBGT zaznamenalo stanoviště č. 8 na zastávce Bohemians. Extrémní riziko zde bylo překročeno pouze jednou. Většinou se jednalo o překročení hranice z dopoledních měření, kdy bylo stanoviště dostatečně osvětleno, a zástavba nebránila paprskům v dopadu na měřicí přístroj. Na stanovištích č. 1 (Makuchova

lávka) a č. 7 (Dannerův park) byla hodnota vysokého rizika naměřena 18 krát, hodnota extrémního rizika 3 krát. Jedná se o stanoviště, která byla po téměř celou dobu měření na přímém slunečním svitu.

Na stanovišti s nejvyšší pocitovou teplotou č. 2 na dětském hřišti, byla limitní hodnota pro vysoké riziko zaznamenána 16 krát a pro extrémní riziko 4 krát. Nejvíce teplotních překročení extrémního rizika bylo zaznamenáno na stanovišti č. 6 (křižovatka ulic Orelská a Na Spoje) s počtem 6 překročení. Přestože se jedná o nejstinnější stanoviště, roli zde bezpochyby hrála akumulace tepla a jeho uvolňování z blízkých budov, především během prvních 3 okruhů. Toto stanoviště mělo zároveň nejmenší počet hodnot spadajících do vysokého rizika a to 13. To je však způsobeno vysokým počtem překročení hodnoty pro extrémní riziko.

Tab. 5: Tabulka zachycující počty středně rizikových hodnot měření WBGT Indexu dle stanovišť ve žlutém sloupci, vysoce rizikových hodnot měření v červeném sloupci a extrémně rizikových hodnot měření v černém sloupci.

Stanoviště	22.6.		10.7.		27.7.		28.7.		20.8.		
	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	
1 (Makuchova lávka)	2	3	4	1	1	4	3	2	1	4	
2 (dětské hřiště)	2	3	3	2	1	4	4	1	2	2	1
3 (křižovatka ulic)	2	3	3	2	1	4	2	3	2	2	1
4 (hotelová škola)	1	4	3	2	2	3	2	3	3	2	
5 (Čechovo náměstí)	3	2	3	2	2	3	4	1	2	3	
6 (křižovatka ulic)	2	3	3	2	2	3	3	2	2	1	2
7 (Dannerův park)	3	2	5		1	4	3	2		4	1
8 (Bohemians)	1	4	5		1	4	4	1	1	4	

6. DISKUZE

Náplní práce bylo porovnat jednotlivá stanoviště na základě meteorologických prvků a tepelných indexů v závislosti na jejich okolí. Výsledky tak ovlivňovaly různé umělé a přírodní prvky městského prostředí, které teplotu ve městech ochlazují, čímž pomáhají k lepšímu životnímu komfortu, či naopak oteplují, čímž zhoršují životní podmínky v zástavbě. Z výsledků lze vyčíst několik zajímavých faktů, které by zasloužily dalšího zkoumání.

6.1 Stanoviště na travnatém povrchu (č. 2 a 7)

Nejchladnějším stanovištěm z hlediska teploty se dle mého očekávání stalo jedno ze stanovišť měřených na travnatém povrchu, a to stanoviště č. 7 (Dannerův park). Kromě podkladu měření se travnatá plocha nacházela i na blízkém fotbalovém stadionu Ďolíček, což znamená, že zde nedocházelo k takové akumulaci tepla, jako tomu bylo například u stanovišť uprostřed zástavby. Kromě toho se stanoviště nachází ve svahu, kudy mohl z výše postavených ulic stékat studenější vzduch a pozitivně ovlivňovat teplotní podmínky dané lokality.

Překvapením však byly výsledky pro druhé stanoviště na travnatém povrchu. Stanoviště č. 2 (dětské hřiště) se stalo nejteplejším, a to jak z hlediska teploty, tak Heat Indexu a WBGT v chladné i horké dny. Na vysokou tepelnou zátěž má vliv především fakt, že se stanoviště nachází po celý den na přímém slunečním svitu. Od 8:00 do 18:00 zde v létě nepřetržitě svítí slunce a několik málo stromů či travnatý podklad hřiště nemá dostatečný vliv na ochlazování lokality. Teplotu lokality pravděpodobně navyšuje kačírek, který teplo zadržuje a uvolňuje do okolí. Hodnota WBGT Indexu přesáhla během měření 16 krát hodnotu pro vysokou zdravotní zátěž a 4 krát hodnotu pro extrémní zátěž, což je v případě oblasti určené pro trávení volného času dětí znepokojující. Pro analýzu hodnot WBGT byly využity limity pro atlety, které zohledňují dobrý fyzický stav člověka a extrémní námahu při sportu. Překročení těchto limitů na dětském hřišti může být tudíž velmi nebezpečné, obzvláště pro děti, které fyzickou námahu taktéž vykonávají a jejichž organismus není odolný jako u dospělého fyzicky zdatného člověka.

Nepříznivým biometeorologickým podmínkám v horkých dnech zde (stanoviště č. 2) nahrává i průměrná rychlost větru, která byla výrazně nižší než například na prostorově podobném stanovišti č. 7 v Dannerově parku. Zmírnění nevyhovujících klimatických podmínek by se dalo řešit výsadbou více stromů či jiných zastíňujících umělých prvků. A to především v centrální části hřiště, kde se nachází pískoviště a houpačky s kačírkem, což jsou jednoznačně nejvytíženější dětské atrakce. Jako umělý zastíňující prvek by

mohly sloužit skládací slunečníky či jednoduché altány, které by nepříznivé biometeorologické poměry na hřišti částečně kompenzovaly.

Na druhou stranu nutno podotknout, že se jedná o ideální prostor k volnočasovému užití, co se týče hluku. Na několika stanovištích bylo slyšet hluk automobilů z dopravně vytížené ulice Vršovická, zde nikoliv.

6.2 Stanoviště z Vršovické ulice (č. 4 a 8)

Dalším výsledkem, na který je třeba se zaměřit, je porovnání stanovišť z ulice Vršovická. Rozdíl mezi stanovišti č. 4 (u hotelové školy) a č. 8 (zastávka Bohemians), byl znatelný. Dle průměrné teploty, Heat Indexu i WBGT bylo teplejší stanoviště č. 4. Nejvýraznější vliv má stín, který byl patrný při posledních dvou okruzích u stanoviště č. 8. Důvodem dřívějšího stínu na zastávce Bohemians je, že se stanoviště č. 4 nacházelo u severního okraje ulice, kdežto stanoviště č. 8 u jižního. Vzdušná vlhkost daných stanovišť byla stejná, nejnižší ze všech zkoumaných lokalit. Významným faktorem tak může být ventilace stanoviště, která je větší na posledním stanovišti (rychlost větru vyšší o 0,5 m/s). Nenaplnil se tak můj předpoklad, že díky zeleni v blízkosti měřicího přístroje a travnatého tramvajového pásu v této části ulice, budou klimatické podmínky stanoviště č. 4 u hotelové školy lepší než na stanovišti č. 8. Kromě stínu zde mohl hrát roli podklad měření, který byl na stanovišti č. 4 tvořen asfaltem, zatímco na stanovišti č. 8 dlažebními kostkami.

Otázkou, která se u dopravně vytížené Vršovické ulice nabízí, je vztah dopravního provozu vůči teplotě. Pokud bychom porovnávali stanoviště č. 4 a č. 8 z Vršovické ulice a například stanoviště č. 5 na Čechově náměstí, vyjde nám, že je teplota vyšší u vytížené ulice, zatímco u minimálně vytíženého Čechova náměstí, nižší. Jak bylo zmíněno ve výsledcích, na stanoviště č. 4 mohly mít v horké dny vliv zaparkované černé automobily v bezprostřední blízkosti přístroje. Podobný vliv by tak mohly mít automobily projíždějící, nebo by mohlo být zvýšení teploty důsledkem spalovacích procesů. Automobily mimo jiné vydávají teplo při používání klimatizace, která, opět zejména v horké dny, byla pravděpodobně nadměrně používána.

6.3 Stanoviště se zelení v okolí (č. 1 a 5)

Podobně nízké hodnoty WBGT Indexu a Heat Indexu, jako stanoviště č. 8, mělo stanoviště č. 5 na Čechově náměstí. U tohoto stanoviště je třeba podotknout, že zde neměl vliv na teplotu stín, který zde byl při měření zaznamenaný pouze třikrát. Jak bylo zmíněno ve výsledcích, velký vliv lze přisuzovat proudění chladnějšího vzduchu z výše položených ulic nad náměstím do otevřeného, leč ze stran krytého prostranství. Dalším důležitým prvkem ovlivňující klima této lokality je vlhkost, která je zde patrně zvyšována zaléváním keřových porostů a kropením travnatého prostoru. Dochází tak k výparu vody a pomalému ochlazení vzduchu. Pozitivní vliv lze také přisuzovat dostatečné ploše zeleně, která teplo nezadržuje a

neuvolňuje do okolí, jako je tomu u stanovišť uprostřed zástavby. U tohoto stanoviště lze také zmínit příznivý vliv měřicího podkladu na teplotu lokality. Stejně jako v případě stanoviště č. 8 zde byly použity světlé dlažební kostky.

Překvapením se staly relativně vysoké hodnoty teploty a indexů tepelné zátěže u stanoviště č. 1 na Makuchově lávce. Navzdory tomu, že se jednalo o stanoviště s nejvyšším množstvím zeleně a stromů ve svém okolí, a že měření probíhalo nad vodní hladinou, byly výsledné hodnoty spíše průměrné. Lze se domnívat, že zde byl důležitým faktorem opět podklad měření. Betonový povrch lávky a železné okrajové konstrukce byly, zejména v odpoledních hodinách, znatelně prohřáté. Otázkou je, jaký by byl výsledek, kdyby měření probíhalo blíže vodní hladině. Pokud by bylo stanoviště situováno přímo vedle Botiče, vodní pára a chladnější vzduch by se k přístroji dostávaly snáze. Měřicím povrchem by navíc nebyl beton, ale vysoká tráva, která by výsledky měření, soudě dle závěrů o měřicím podkladu, také ovlivnila.

6.4 Stanoviště v zástavbě (č. 3 a 6)

Stanoviště č. 3 a 6 na křižovatkách v zástavbě, měla vyjma rychlosti větru podobné výsledky ve všech zkoumaných kategoriích. Navzdory silnějšímu proudění větru se teplejším stalo stanoviště č. 3. Opět zde lze předpokládat vliv měřicího podkladu, který byl na chladnějším stanovišti (č. 6) tvořen dlažebními kostkami, zatímco na teplejším (č. 3) asfaltem. Vzhledem k několikanásobnému takovému výsledku lze prohlásit, že povrch lokality má přímý vliv na mikroklima stanoviště. Stejně jako při porovnání stanovišť č. 4 a 8, i zde lze přisuzovat vliv zastínění. Přístroj se při měření na stanovišti č. 3 nacházel ve stínu 6 krát, na stanovišti č. 6 celkem 7 krát z 25 měření. Rozdíl zde není takový, jako u stanovišť z Vršovické ulice, ale vliv to mít rozhodně může. U stanoviště č. 6 by šlo polemizovat o vlivu stékajícího chladného vzduchu z vyšších poloh, jako tomu může být u stanovišť č. 5 a 7. Ty jsou však, na rozdíl od tohoto, svoji plochou víceméně v rovině a nikoliv ve svahu. Určitou roli by chladný vzduch, stékající do nižších poloh, mohl mít i na nejchladnější stanoviště č. 8 (zastávka Bohemians), které se nachází pod Dannerovým parkem.

6.5 Opatření pro zlepšení mikroklimatu měst

Jak je vidno z výsledků, zeleň a další opatření mikroklima skutečně pozitivně ovlivňují. Pro zlepšení mikroklimatu měst je třeba podporovat výsadbu zeleně. Nejedná se jen o travnaté tramvajové pásy, ale zejména o stromy tvořící bujnou korunu. Na měřicích stanovištích se nacházely zpravidla lípy různé věkové skladby. Zatímco ty mladé měly bohatou korunu, ty starší byly proschlé a v evidentně horší kondici. Do budoucna by se tak město mělo zaměřit na výsadbu rychleji rostoucích suchomilných dřevin, které budou lépe snášet zhoršující se klimatické podmínky měst i za cenu, že se nejedná o původní české druhy (viz kapitola 3.6.1).

Travnatá stanoviště jsou dle výsledků bakalářské práce většinou chladnější. Na rozdíl od pevných umělých povrchů, jako asfalt či beton, nekumulují teplo a nevydávají ho následně do okolního prostředí, čímž nezhoršují tepelné podmínky dané lokality či pocitovou teplotu člověka. Tvorba travnatých pozemků by se tak měla podporovat především tam, kde se s nimi lidé dostanou do přímého kontaktu, jako například na chodnících či náměstíčkách. V kombinaci s listnatými stromy tvořícími rozměrnou korunu to může být ideální kombinace pro zlepšení klimatických podmínek měst za cenu relativně nízkých investičních nákladů.

Přítomnost vodního toku neměla ve výsledcích tak významnou roli. I díky tomu, že se podél vodního toku nachází dvě rozlehlé stromové aleje a velká plocha travnatého porostu, byly výsledky přesným opakem mého očekávání. Stanoviště č. 1 (Makuchova lávka) mělo dle WBGT dokonce třetí nejvyšší hodnotu tepelné zátěže. Jak je popsáno výše, je to zřejmě způsobeno betonovým měřícím podkladem a kovovým zábradlím, ze kterého znatelně sálalo teplo na vzdálenost několika centimetrů. Navzdory měření nad vodní hladinou nebyla hodnota relativní vlhkosti nikterak vysoká. Betonový podklad tak pravděpodobně měření a především některé prvky (relativní vlhkost, průměrná teplota) velmi ovlivnil.

Aplikace vodních ploch ve městech je nicméně velmi zajímavá, zejména z vizuálního a ekologického pohledu, protože vodní plochy tvoří útočiště pro nové rostlinné i živočišné druhy a místo pro rekreaci. Jejich aplikace je ovšem mírně limitovaná prostorovou náročností. Z řešení nabízených v literární rešerši (viz kapitoly 3.6.1, 3.6.2 a 3.6.3) se mi nejvíce zamlouvá kombinace podzemních akumulčních nádrží s přímým využitím u vertikálních zahrad, zelených stěn a střech. Došlo by tak k značné úspoře pitné, případně užitkové vody a zlepšila by se estetická stránka města. Výhodou daného řešení mohou být i investice, které budou v porovnání s vybudováním malé vodní nádrže, nižší. Voda, zachycená v akumulčním prostoru, může být dále využívána pro závlahu travních porostů a dřevin či pro čím dál častěji využívané zvlhčování vzduchu. Za zvážení stojí také vybudování podzemní galerie na vsakování dešťové vody. Toto opatření by bylo přínosné zejména v centru města, kde díky dominanci umělých povrchů dochází k minimálnímu vsaku do půdy.

7. ZÁVĚR

Cílem práce bylo porovnat biometeorologické podmínky tepelného komfortu na osmi rozdílných stanovištích. Ta se lišila polohou, zastíněním, měřicím povrchem či ventilovaností.

Z hlediska WBGT, která v práci zastupovala hodnoty pro tzv. pocitovou teplotu, se nejteplejším a tedy z hlediska tepelného komfortu nejhorším stalo stanoviště č. 2 na dětském hřišti. Vzhledem k travnatému měřicímu povrchu a dostatku vzrostlé zeleně se jednalo o velké překvapení. Studie zátěžových podmínek z hlediska WBGT by si zde jistě zasloužila větší pozornost, stejně jako navrnutí ochlazujících opatření. Nejpříjemnější podmínky z hlediska pocitové teploty byly zaznamenány na stanovišti č. 8 na tramvajové zastávce Bohemians. Byť se jednalo o stanoviště obklopené vysokými budovami a vozovkami, pozitivní roli z hlediska tepelné zátěže zde pravděpodobně sehrál měřicí podklad (světlejší dlažební kostky), stín a nejvyšší průměrná rychlost větru ze všech stanovišť.

Rozdíly teploty vzduchu, Heat Indexu a WBGT se pohybovaly v rozmezí 1–2 °C, což se může zdát jako zanedbatelný rozdíl. Znepokojujícím faktem je ovšem 31 případů překročení hranice extrémní zátěže z hlediska WBGT během měřicích dnů. Vzhledem k současnému klimatu se jednalo o horké dny s maximální teplotou nad 35 °C. Díky očekávanému oteplování atmosféry se dá předpokládat, že bude podobných dnů přibývat, což může představovat značná zdravotní rizika pro obyvatele měst.

Hlavními aspekty snižování tepelné zátěže jsou dle výsledků relativní vlhkost, povrch lokality, rychlost větru a zeleň. Ta by se měla stát hlavním atributem pro budoucí projektování zástavby a měl by na ni být kladen zvláštní důraz. Vzhledem ke zhoršujícím se biometeorologickým podmínkám v zastavěných částech Prahy, by se mělo dbát na efektivnější hospodaření s užitkovou vodou, zhuštění travnatých povrchů a na správný výběr dřevin.

Tato studie může posloužit jako výchozí materiál pro další mapování tepelného ostrova Prahy. Obzvláště zajímavé by mohlo být prostudování klimatických podmínek dětských hřišť, které se často vyznačují podobnými vlastnostmi - nedostatkem stínu a totožnou skladbou povrchů (travnaté porosty, písek, kačírek, příp. beton). Paradoxně by se mohlo stát, že prostory, které jsou tvořeny pro bezpečný a aktivní pohyb dětí, jsou zároveň prostory nejnebezpečnějšími. Alespoň co se týče zdravotních rizik plynoucích ze zvýšené tepelné zátěže.

8. SEZNAM LITERATURY

Tištěné zdroje

Akbari H. a kol, 2008: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. U. S. Environmental Protection Agency, Washington.

Beatley T., 2012: Green Cities of Europe I. Island Press, Washington. ISBN 978-1-59726-975-9.

Berdahl P., Bretz S., 1997: Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials. Energy and Buildings 25. S.149-158.

Brears R., 2018: Blue and Green Cities: The Role of Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources. Palgrave Macmillan, Londýn. ISBN 978-1-137-59257-6.

Butler D., Digman C., Makropoulos C., Davies J. W., 2018: Urban Drainage. CRC Press, Boca Raton. ISBN 978-1-4987-5058-5.

Coronado S., 2015: Grow a living wall. Cool Springs Press, Minneapolis. ISBN 978-1-59786-624-4.

Forman, R., 2008: Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City. Cambridge University Press, New York. ISBN 978-0-521-67076-0.

Gartland L., 2008: Heat Islands. Earthscan, Londýn. ISBN 978-1-84407-250-7.

Giles, B., 2005: Pressure, Upper Air. In: Oliver J. (ed.): Encyclopedia of world climatology. Springer, Dordrecht. S. 588-596. ISBN 978-1-4020-3264-6.

Goward S., 2005: Albedo and reflectivity. In: Oliver, J. (ed.): Encyclopedia of world climatology. Springer, Dordrecht. S. 32-35. ISBN 978-1-4020-3264-6.

Hartmann D., 1994: Global Physical Climatology. Academic Press, San Diego. ISBN 0-12-328530-5.

Helberg T., 1999: Voda v zahradě. Svojtka & Co, Praha. ISBN 80-723-7097-9.

Horáček P., 2019: Encyklopedie listnatých stromů a keřů. CPress, Brno. ISBN 978-80-264-2462-8.

Jelínek J., Zicháček V., 2014: Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc, Olomouc. ISBN 978-80-7182-338-4.

Kolařík J., 2018: Výsadba stromů: metodická příručka ke Standardu péče o přírodu a krajinu. Základní organizace Českého svazu ochránců přírody, Arboristická akademie, Kolín. ISBN 978-80-906984-1-3.

Lepil O., Bednařík M. a Hýblová R., 1993: Fyzika pro střední školy. Prometheus, Praha. ISBN 80-7196-184-1.

Lösken G., 2008: Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinie. FLL, Bonn. ISBN 978-3-940122-8-7.

Mölders N., Kramm G., 2014: Lectures in Meteorology. Springer, New York. ISBN 978-3-319-02143-0.

Oke T., 1982: The energetic basis of the urban heat island. Journal of the Royal Meteorological Society 108, S. 1-24.

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

Schlatter T., 2005: Wind chill. In: Oliver J. (ed.): Encyclopedia of world climatology. Springer, Dordrecht. S. 805-807. ISBN 978-1-4020-3264-6.

Schlatter T., 2005: Heat Index. In: Oliver J. (ed.): Encyclopedia of world climatology. Springer, Dordrecht. S. 403-404. ISBN 978-1-4020-3264-6.

Schröpfer T., 2016: Dense and Green Building Typologies. In: Schröpfer T. (ed.): Dense + Green: Innovative Building Types for Sustainable Urban Architecture. Birkhauser, Basilej. S. 84-97. ISBN 978-3-03821-579-0.

Simiu E., Yeo D., 2019: Wind Effects on Structures. John Wiley, Oxford. ISBN 978-1-1193-7588-3.

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

Slabá N., 1972: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Hydrometeorologický ústav v Praze, Praha.

Snow R., 2005: Continental climate and continentality. In: Oliver J. (ed.): Encyclopedia of world climatology. Springer, Dordrecht. S. 303-305. ISBN 978-1-4020-3264-6.

Tolasz R., Míková T., Valeriánová A, Voženílek V., 2007: Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha, Olomouc. ISBN 978-80-86690-26-1.

Tomlinson H., 1995: Bonsaje: velká kniha o pěstování bonsají. Cesty, Praha. ISBN 80-718-1020-7.

TS-25.07: Navrhování a konstrukční řešení stokových sítí. Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s., Ostrava, 2008. 8 s.

Voogt J., Oke T., 2003: Thermal Remote Sensing of Urban Areas. Remote Sensing of Environment 86. S. 370-384.

Elektronické zdroje

ALMECO, 2008: What is the wet bulb temperature? (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://almeco.eu/en/blog/what-wet-bulb-temperature>.

AOPK ČR, ©2013: ÚSES (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/obecna-ochrana-prirody-a-krajiny/uses/>.

Belval L., 2015: Wet bulb globe temperature monitoring (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://ksi.uconn.edu/prevention/wet-bulb-globe-temperature-monitoring/>.

Centnerová L., 2000: Tepelná pohoda a nepohoda (online) [cit. 2021-02-16], dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>).

ČMeS, ©1993: Teplota rosného bodu (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/3922>.

CzechGlobe, © 2017: Otevřené vodní plochy ve městě (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <http://www.opatreni-adaptace.cz/projects/otevrene-vodni-plochy-ve-meste/>.

Ekonomický deník, 2019: První zastávka se zelenou střechou v metropoli. Praha drží krok se světem (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/prvni-zastavka-se-zelenou-strechou-metropoli-praha-drzi-krok-se-svetem/>.

HORSKÁ SLUŽBA ČR, 2013: Srážky (online) [cit. 2021-02-21], dostupné z: <https://ucebnice.horskaslužba.cz/cz/odborna-cast/zaklady-meteorologie/zakladni-meteorologicke-prvky-a-jevysrazky>.

Kestrel AU, 2021: Kestrel 5400 Heat Stress WBGT Meter (online) [cit. 3.3.2021], dostupné z <https://kestrelmeters.com.au/products/kestrel-5400-heat-stress-tracker>.

Kestrel Ins., 2016.: Kestrel 5400 WBGT Heat Stress Tracker (HST) & Weather Meter (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://kestrelinstruments.com/kestrel-5400-heat-stress-tracker>.

Králová, M., 2020: Sluneční záření [online] [cit. 2021-02-16], dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/slunecni-zareni>.

Lehocká H., Jiráček Z., 2005.: Kulový teploměr a jeho vývoj z hlediska hodnocení tepelné pohody organismu (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2896-kulovy-teplomer-a-jeho-vyvoj-z-hlediska-hodnoceni-tepelne-pohody-organismu>.

Margolis L., Drake J., Howell C., 2017.: Bees in the city: Designing green roofs for pollinators (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://theconversation.com/bees-in-the-city-designing-green-roofs-for-pollinators-84688>.

Martinková V., 2001: Nejvýkonnější čističky vzduchu (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://www.floranazahrade.cz/nejvykonnejsi-cisticky-vzduchu/>.

MEA Water Management s. r. o., 2020: Zadržení dešťové vody pro zeleň ve městech (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/21005-zadrzeni-destove-vody-pro-zelen-ve-mestech>.

Meteocentrum, 2020: Oblačnost (online) [cit. 2021-02-16], dostupné z: <https://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/oblacnost>.

Počítáme s vodou, 2016: Jak správně hospodařit s dešťovou vodou? (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/jak-spravne-hospodarit-s-destovou-vodou/>.

Pokorný J., 2014: Co umí strom (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://arnika.org/co-umi-strom-45>.

Pražská příroda, 2013: Jerlín japonský (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/parky-a-zahrady/kralovska-obora-stromovka/vyznamne-dreviny/jerlin-japonsky/>.

Pražská příroda, 2013: Borovice černá (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/parky-a-zahrady/kralovska-obora-stromovka/vyznamne-dreviny/borovice-cerna/>.

Rao, J., 2013: Atmospheric Pressure: Definition & Facts (online) [cit. 2021-02-16], dostupné z: <https://www.livescience.com/39315-atmospheric-pressure.html>.

Reichl J., 2009: Energetická bilance Země (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1000-energeticka-bilance-zeme>.

Smith I., 2016: Faroe Island's Fairy Houses- The ancient Turf Roof Dwellings on the rainy island are just magic (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://www.thevintagenews.com/2016/01/15/45613/>.

Šedý R., 2018: Na údržbu každého stromu v Praze je potřeba jednorázově až sto litrů vody (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: https://prazsky.denik.cz/zpravy_region/na-udrzbu-kazdeho-stromu-v-praze-je-potreba-jednorazove-az-sto-litru-vody-20180824.html.

ZDopravy.cz, 2021: Šumperk se chlubí nejmodernějším autobusovým nádražím, má zelené střechy a rosení nástupišť (online) [cit. 2021-02-20], dostupné z: <https://zdopravy.cz/sumperk-se-chlubi-nejmodernejsim-autobusovym-nadrazim-ma-zelene-strechy-a-roseni-nastupist-71507/>.

9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Plánek měřicího okruhu a jednotlivých stanovišť (upraveno podle www.mapy.cz).

Obr. 2: Stanoviště č. 1 a 9 (Makuchova lávka).

Obr. 3: Stanoviště č. 2 (dětské hřiště v ulici Přípotoční).

Obr. 4: Stanoviště č. 3 (křižovatka ulic Na Louži a K Louži).

Obr. 5: Stanoviště č. 4 (ulice Vršovická před Střední školou gastronomickou).

Obr. 6: Stanoviště č. 5 (tramvajová zastávka na Čechově náměstí).

Obr. 7: Stanoviště č. 6 (křižovatka ulic Orelská a Na Spojce).

Obr. 8: Stanoviště č. 7 (Dannerův park u fotbalového stadionu Ďolíček).

Obr. 9: Stanoviště č. 8 (tramvajová zastávka Bohemians ve Vršovické ulici).

Obr. 10: Vývoj teploty dosažené po zprůměrování všech tepelných naměřených hodnot ze všech dnů měření.

Obr. 11: Vývoj teploty během chladných (22. 6., 27. 7. a 20. 8.) a horkých (10. 7. a 28. 7.) dnů.

Obr. 12: Průměrné teploty z dvaceti pěti měření na jednotlivých stanovištích ze dnů 22.6., 10.7., 27.7., 28.7. a 20.8.

Obr. 13: Průměrná relativní vlhkost dle stanovišť ze všech dnů měření.

Obr. 14: Průměrné hodnoty Heat Indexu dle jednotlivých stanovišť ze všech dnů měření.

Obr. 15: Průměrná rychlost větru na stanovištích během všech dnů měření.

Obr. 16: Průměrný WBGT dle stanovišť ze všech měřených dnů.

Obr. 17: Průměrné hodnoty WBGT na jednotlivých stanovištích v chladné a horké dny.

Tab. 1: Tabulka zachycující kombinace teploty vzduchu a teploty rosného bodu vzduchu a výsledné hodnoty Heat indexu (Schlatter, 2005).

Tab. 2: Přehled základních měřených meteorologických prvků v pěti měřících dnech.

Tab. 3: Přehled průměrných hodnot dle stanovišť.

Tab. 4: Limitní kategorie WBGT Indexu pro atletickou zátěž (Kestrel AU, 2021).

Tab. 5: Tabulka zachycující počty středně rizikových hodnot měření WBGT Indexu dle stanovišť ve žlutém sloupci, vysoce rizikových hodnot měření v červeném sloupci a extrémně rizikových hodnot měření v černém sloupci.