

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž – případová studie Anděl

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Vojtěch Görög

Vedoucí práce: Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Görög

Inženýrská ekologie

Ochrana přírody

Název práce

Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž – případová studie Anděl

Název anglicky

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

Cíle práce

Tepelný ostrov má významný vliv na kvalitu života a zdraví obyvatel ve městech, a to především díky zvýšené tepelné zátěži v letních měsících. Míra tepelné zátěže lidského organismu je výsledkem celého souboru 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.

Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž v centru Prahy byl otestován v rámci případové studie Karlova náměstí. Jako protipól historické zástavby v okolí Karlova náměstí stojí areál zrenovované čtvrti v oblasti nákupního centra Nový Smíchov na protějším břehu Vltavy.

Metodika

Cílem práce je zpracovat základní přehled procesů a faktorů, které ovlivňují tepelnou zátěž v městském prostředí a na základě rešerše aktuálních poznatků ze zahraniční literatury vytipovat 7–10 stanovišť s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi (zastoupení zeleně, vodních prvků, umělých povrchů apod.) v oblasti mezi levým břehem Vltavy a Andělem.

Na vybraných stanovištích bude provedeno měření meteorologických podmínek pomocí přenosného přístroje (Kestrel 5400) v 10 dnech během léta 2021. Z naměřených dat budou pomocí softwaru RayMan Pro spočítány pokročilé indexy tepelné zátěže (PET a UTCI) a budou kvantifikovány rozdíly v biometeorologických podmínkách na vybraných stanovištích.

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

sky view factor, tepelná pohoda, stres z horka

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

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž – případová studie Anděl 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 diplomovou 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 diplomové 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 2023

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce za užitečné rady k mé práci a zapůjčení různých knih a prací pro inspiraci. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu.

V Praze 2023

.....

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na městský tepelný ostrov v Praze, v městské části Smíchov – Anděl. Práce se zabývá důsledky tepelného ostrova a možnostmi snížení jeho dopadu na lidské zdraví. Cílem práce je zjistit s pomocí několika indexů tepelné zátěže rozdíly mezi několika mikroklimaty ve vybraném území.

Sběr dat proběhl v terénu v létě 2021. K zaznamenání údajů meteorologických prvků, podle kterých jsou následně vypočítány indexy PET a UTCI, je použit přenosný přístroj Kestrel 5400. Výzkumný soubor dat obsahuje devět naměřených dnů, které obsahují pět různých stanovišť, na kterých je prováděno měření v hodinových a dvouhodinových intervalech. Výpočet indexů je prováděn v softwaru Rayman Pro. Mimo jiné byly na každém měřeném místě zaznamenány snímky z rybiho oka, aby se do analýzy zahrnul Sky View Factor.

Výsledky této práce ukazují, že Sky View Factor má významný vliv na výpočet pokročilých indexů tepelné zátěže PET a UTCI. V případě malého zastínění jsou hodnoty PET a UTCI daleko vyšší než teplota. Naopak při velkém zastínění není rozdíl mezi teplotou a indexy PET a UTCI příliš výrazná. Vliv na tepelnou pohodu ve městě má městská zeleň, morfologie města a volba povrchů v ulicích.

Práce může sloužit k lepšímu pochopení městského tepelného ostrova a zároveň ukazuje výpočty tepelného komfortu či stresu dle různých indexů tepelné zátěže na různých stanovištích. Dále by mohla být práce využita při navrhování opatření pro snížení tepelné zátěže v městské části Smíchov.

Klíčová slova: Sky View Factor, tepelná pohoda, městský tepelný ostrov, Physiologically Equivalent Temperature, Universal Thermal Climate Index

Abstract

This thesis focuses on the urban heat island in Prague, in the Smíchov – Anděl district. The work deals with the consequences of the heat island and the possibilities of reducing its impact on human health. The goal of the work is to determine the differences between several microclimates in the selected area with the help of several heat indices.

The field data collection took place in the summer of 2021. A Kestrel 5400 portable device was used to record the data of meteorological elements, according to which the PET and UTCI indices were subsequently calculated. The research data set contained nine measurement days, which include five different sites where measurements were made at one and two hours intervals. The indices were calculated in the RayMan Pro software. In addition, fish eye images of each measurement site were collected in order to include the Sky View Factor into the analysis.

The results of this work show that the Sky View Factor has a significant effect on the calculation of advanced PET and UTCI heat load indices. In the case of low shading, the PET and UTCI values are much higher than the temperature. On the contrary, in case of heavy shading, the difference between the temperature and the PET and UTCI indices is not very significant. Urban greenery, the morphology of the city and the choice of surfaces in the streets have an influence on heat well-being in the city.

The work can be used for a better understanding of the urban heat island and at the same time shows calculations of thermal comfort or stress according to different indices of heat load at different locations. Furthermore, results of this work can be used when planning measures to mitigate heat stress levels in the Smíchov district.

Key words: Sky View Factor, thermal comfort, urban heat island, Physiologically Equivalent Temperature, Universal Thermal Climate Index

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Rešeršní část.....	2
3.1. Městský tepelný ostrov.....	2
3.1.1 Zvýšená spotřeba energie.....	3
3.1.2 Vliv teploty na koncentraci troposférického ozonu v městském prostředí	3
3.1.3 Důsledek tepelného ostrova na lidské zdraví	4
3.1.4 Opatření ke snížení intenzity tepelného ostrova	5
3.2. Indexy tepelné zátěže	9
3.2.1 Heat Index	9
3.2.2 PET.....	11
3.2.3 UTCI	11
3.3. Sky View Factor (SVF).....	14
3.3.1 Metoda 3D modelu.....	15
3.3.2 Metoda GPS	15
3.3.3 Metoda rybiho oka	15
3.3.4 Metoda Google Street View.....	16
4. Metodika	16
4.1. Využitý hardware a software.....	17
4.1.1 Kestrel 5400	17
4.1.2 RayMan	18
4.2. Stanoviště	23
5. Výsledky	34
6. Diskuse.....	46
7. Závěr	49
8. Seznam použitých grafů, obrázků a tabulek	51

9. Přehled literatury a použitých zdrojů	53
--	----

1. Úvod

S narůstající teplotou roste riziko výskytu horkých vln, které mají významný dopad na zdraví a kvalitu života zejména ve městech v důsledku existence městského tepelného ostrova. Negativní vliv tepelného ostrova se projevuje především v letních měsících, kdy se ve městech nahřívají umělé povrchy budov a další infrastruktury. S poklesem okolní teploty začnou nahřáté umělé povrchy uvolňovat přebytečné teplo. Tento jev může způsobit určitý např. spánkový diskomfort, protože ve městě bude i přes noc vysoká teplota.

Rozdílu mezi městským prostředím a okolní krajinou si lze velmi jednoduše všimnout. Mezi centrem města, venkovem a čistě přírodním prostředím může být nejen v tropických dnech významně rozdílná teplota. I proto na problematiku městského tepelného ostrova vzniká v poslední době mnoho studií, které se zabývají faktory jeho vzniku. Zároveň se studie pokoušejí nalézt řešení, které by dopady tepelného ostrova zmírnily a lidem by se zpříjemnil život v rozpálených městech.

Tato diplomová práce tematicky navazuje na moji bakalářskou práci, ve které jsem se zabýval městským tepelným ostrovem středně velkého města ve Středočeském kraji. Cílem bakalářské práce bylo porovnat několik stanovišť v zástavbě a určit, kde mají lidé největší tepelný komfort. Oproti bakalářské práci se tato práce zaměřuje na pokročilejší indexy tepelné zátěže, které se počítají přes software a do výpočtu se zahrnuje i Sky View Factor (kapitola 3.3.), který byl v bakalářské práci opomenut.

K dosažení cílů práce jsem použil speciální přenosný přístroj na měření meteorologických prvků, který jsem využil i pro svou bakalářskou práci. Přístroj jsem umisťoval na předem vybrané lokality, kde jsem zaznamenal všechna potřebná data. V rešeršní části je zpracována problematika městského tepelného ostrova, možná opatření pro jeho zmírnění a přehled vybraných tepelných indexů. V praktické části jsem provedl sběr dat v okolí Anděla na pražském Smíchově, které jsem následně analyzoval a provedl výpočet pokročilých indexů tepelné zátěže. Následně jsem porovnal jednotlivá stanoviště mezi sebou.

2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je zhodnotit tepelnou zátěž v průběhu léta 2021 ve vybraných lokalitách mezi Andělem a levým břehem Vltavy pomocí dvou indexů tepelné zátěže: indexu fyziologické ekvivalentní teploty (PET) a indexu univerzálního tepelného klimatu (UTCI), teplotou a Heat indexem. Cílem je porovnat rozdíly mezi stanovišti a posoudit jejich vliv na tepelnou pohodu.

Výběr dvou indexů tepelné zátěže poskytuje komplexní přístup k hodnocení tepelné zátěže. Tyto PET a UTCI posuzují aktuální tepelnou zátěž na základě údajů o komplexních meteorologických podmínkách (teplota vzduchu, relativní vlhkost, rychlost větru, sluneční záření) a zároveň berou v úvahu vliv fyziologických procesů (teplota pokožky, rychlost metabolismu) na tepelný komfort. UTCI navíc oproti PET zohledňuje vliv izolace oděvů, aby poskytl úplnější obraz o tepelné zátěži ve venkovním prostředí.

Práce by měla přispět k pochopení městského tepelného ostrova.

3. Rešeršní část

Základní problematika městského tepelného ostrova je uvedena v mé bakalářské práci (Görög 2020). Tato rešeršní část se zabývá jinými aspekty v této problematice.

3.1. Městský tepelný ostrov

Městský tepelný ostrov je definován jako oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou aglomerací ve srovnání s venkovským okolím. Nejzřetelněji se tepelný ostrov vytváří za jasného počasí a bezvětří. Zastavěná oblast měst může mít výrazně jinou teplotu než jiný typ krajiny. Tento teplotní rozdíl má na svědomí několik faktorů (Dobrovolný et al. 2012).

Vznik městského tepelného ostrova je způsoben různými faktory, kterými jsou: uspořádání a struktura městské zástavby/průmyslové zóny, využití druhů materiálů ke stavbě budov, silnic aj., klimatické a povětrnostní podmínky v oblasti a množství uvolněného antropogenního tepla (Oke et al. 1991).

Výše uvedené faktory přispívají k přehřívání měst. To následně způsobuje větší potřebu chlazení budov v létě, což přispívá k dalšímu zhoršení kvality ovzduší jednak uvolňováním dalšího tepla do okolí a zároveň produkcí polutantů, jako je troposférický

ozon. Se stoupajícím znečištěním ovzduší a horkem dochází k většímu riziku zdravotních komplikací a vyšší mírou úmrtnosti (Santamouris 2015).

Při zvýšení teploty způsobené tepelným ostrovem dochází i k dalším nežádoucím jevům, jako je např. změna městské hydrologie, přehřívání půdy, změna toku energie v městských ekosystémech aj. (Yang et al. 2016).

3.1.1 Zvýšená spotřeba energie

Globální oteplování a městské tepelné ostrovy zvyšují okolní teplotu a zintenzivňují spotřebu energie na chlazení budov a dalších staveb. Současně v klimatických oblastech, kde převažuje vytápění v zimních měsících nad chlazením v letním měsících, může zvýšení okolní teploty nabídnout příznivé a pozitivní energetické výsledky ve smyslu omezení potřeby na výtop budov. V celosvětovém měřítku se potenciální nárůst poptávky po elektřině na jeden stupeň zvýšení teploty pohybuje mezi 0,5 % a 8,5 %. Prahová průměrná denní teplota okolí, při jejímž překročení začíná spotřeba elektřiny stoupat, je ve většině případů (např. Los Angeles, Hong Kong či Carolina) kolem 18 °C, může však být i mnohem nižší a to kolem 12 °C (např. Maryland, USA 2001) nebo výrazně vyšší, 23 °C (Ontario East, Kanada 1995). Spotřeba elektřiny v energetické špičce se zvyšuje z 0,45 % na 4,6 % na jeden stupeň zvýšení okolní teploty. To odpovídá přibližně 30 W za stupeň zvýšení teploty na osobu (Santamouris et al. 2015).

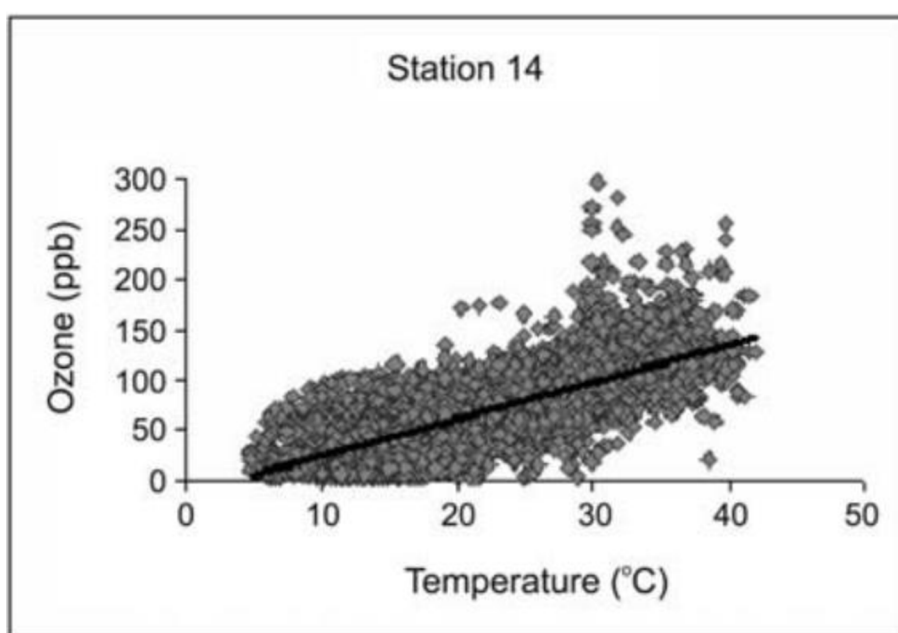
Aby se snížil efekt městského tepelného ostrova a globálního oteplování na spotřebu elektřiny, je zapotřebí, aby byly budovy a celé městské prostředí přizpůsobeny očekávaným klimatickým podmínkám. Výstavba nízkoenergetických budov nebo budov s téměř nulovou energetickou náročností může výrazně snížit spotřebu energie a tím se sníží i zatížení veřejných služeb. V kombinaci s použitím pokročilých městských adaptačních a zmírňovacích technik a technologií s potenciálem snížit okolní teploty ve městech se spotřeba energie může ve městech významně snížit (Hekkenberg et al. 2009).

3.1.2 Vliv teploty na koncentraci troposférického ozonu v městském prostředí

Ozon má velký význam, jak ve stratosféře při ochraně Země před škodlivým ultrafialovým zářením Slunce, tak v troposféře jako skleníkový plyn účastnící se fyzikálně-chemických procesů. Troposférický ozon pochází ze dvou zdrojů, z přerušovaného pohlcování stratosférického ozonu v troposféře nebo je tvořen

z chemických procesů mezi troposférickými plyny. Ozon má silné oxidační vlastnosti, které mohou škodit lidem, zvířatům, vegetaci, ale i materiálům (Crutzen 1998).

Dle studie (Stathopoulou et al. 2008) má teplota a dlouhodobé oteplování ve městech vážný dopad na znečištění měst, což má za následek vyšší koncentrace ozonu, protože teplo urychluje chemické reakce v atmosféře. Vyšší koncentrace ozonu v městském prostředí jsou způsobeny především slunečním zářením a polutanty v atmosféře. Samotná teplota vzduchu funguje jako pomocný parametr, který představuje denní změny slunečního záření. Koncentrace ozonu roste společně s vyšší intenzitou slunečního záření a tím související rostoucí teplotou viz. graf. 1.



Graf 1: Graf pochází z měřicího zařízení v Aténách. Měřicí bod byl v oblasti univerzitního kampusu. V okolí byla vegetace, slabý provoz, nízká hustota zástavby, ale vysoká průmyslová činnost. Je patrné, že se zvyšující se teplotou dochází k rychlejším reakcím v atmosféře a za pomoci polutantů dochází k nárůstu ozonu, který je následně škodlivý pro člověka (Stathopoulou et al. 2008).

3.1.3 Důsledek tepelného ostrova na lidské zdraví

Dopady změn klimatu a globálního oteplování na půdní zdroje, vodní zdroje a biologickou rozmanitost jsou již nyní patrné. Studie ukazují, že změna klimatu nepříznivě ovlivňuje lidské zdraví přímo i nepřímo. Okamžitým účinkem je fyzické zranění, nemocnost či úmrtnost během nebo po extrémní jevu jako je vlna veder, povodeň nebo jiná událost. Změny životního prostředí vyvolané oteplováním pak přináší dlouhodobý problém, kdy se mohou šířit nové infekční nemoci do vyšších zeměpisných šířek (Costello et al. 2009).

Horké prostředí nemusí mít nutně nepříznivý vliv na lidské zdraví, protože lidské tělo má schopnost reagovat na okolní teplo a aklimatizovat se na něj. Při delším vystavení extrémnímu teplu (např. při vlně veder) však roste riziko překonání hranice odporu lidského těla, které se nebude efektivně bránit. Dle studie z řeckých Athén Pantavou (2011) došlo během vlny veder v roce 2007 k výraznému nárůstu hospitalizací/příjmů pacientů s kardiovaskulárním onemocněním. Většina přijatých pacientů byla mužského pohlaví a z toho 30,7 % bylo starších 64 let. Tepelný stres může způsobit vyrážky, křeče, vyčerpání z horka, úpal nebo dojde ke zhoršení celkového zdravotní stavu, který se může projevit onemocněním srdce či plic a v extrémních případech může skončit předčasným úmrtím (Pantavou 2011). Nová studie od Vésier (2022), která proběhla na území ČR, prokázala, že vyšší úmrtnost postihuje v souvislosti s tepelnou zátěží ženy nežli muže. Čím vyšší je teplota nebo čím delší je vlna veder, tím více práce vyžaduje kardiovaskulární systém k udržení normální teploty, a proto intenzivnější nebo delší vlny veder budou mít pravděpodobně větší zdravotní dopady na populaci (Anderson & Bell 2011).

3.1.4 Opatření ke snížení intenzity tepelného ostrova

Koncepce na zmírnění tepelného stresu ve městech se zaměřují na použití tzv. chladných materiálů ke snížení absorpce slunečního záření a využívání městské zeleně (Synnefa et al. 2007). Ke snížení tepelného diskomfortu a stresu ve městech pomáhají i další opatření, která jsou uvedena v této kapitole.

Strategií na snižování intenzity tepelného ostrova měst je celá řada. Nejvyšší míru podpory a zároveň implementace do reálného života dostali dvě strategie. První strategií je zvýšení odrazivosti různých povrchů ve městech. Druhá strategie se zabývá navýšením ploch s vegetací neboli městskou zelení (Mackey 2012).

Odrzivost materiálů ve městech

Městské materiály mívají vlastnosti vedoucí k vyšším povrchovým teplotám nežli přírodní materiály/prostředí. Mezi faktory, které přispívají k efektu tepelného ostrova, patří zejména druhy zvolených materiálů a jejich zbarvení. Používání tmavě zbarvených povrchů, zejména střech a chodníků, způsobuje větší absorpci slunečního záření během dne, které je v noci ve formě pocitového tepla vyzařováno do okolí. Proto je použití povrchů s vysokou odrazivostí nenákladným, ale dobrým řešením ke snížení letní teploty (Synnefa et al. 2006). Vyšší odrazivostí povrchů lze dosáhnout

použitím reflexních materiálů, které se vyznačují vysokou odrazivostí slunečního záření a nízkými hodnotami vyzařování infračerveného záření. Použití těchto reflexních materiálů přispívá ke snížení povrchové teploty (Berdahl & BRETZ 1997). Synnefa et al. 2006 rozděluje použitelné reflexní materiály do dvou kategorií: Reflexní materiály pro budovy a reflexní dlažební materiály.

Reflexními materiály pro budovy se rozumí např. elastomerní a akrylové nátěry nebo reflexní tašky. Je známo, že reflexní nátěry budov mohou snížit tepelné zatížení budovy, což prokazují následující studie. Cheng et al. (2005) zkoumali vliv barev na malých budovách (buňkách) na jejich vnitřní teploty (Obr. 1). Zvýšení vnitřní teploty vzduchu bylo závislé na slunečním záření. Při slunečním záření o síle přibližně 800 W/m^2 bylo teplotní maximum vnitřního vzduchu v bílé testovací buňce asi tři stupně nad venkovním maximem, zatímco v černé testovací buňce to bylo asi $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Výsledky této studie potvrzují, že barva povrchu budovy ovlivňuje množství absorbovaného záření a zahřívání interiéru budov. To znamená, že čím má budova tmavší povrch, tím je více nahřívána. Studie Akbari et al. (1998) v Kalifornii došla k závěru, že použití vhodného reflexního nátěru dokáže snížit teplotu střechy v horkém dni až o $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Dle Santamourise et al. (2017) představují reflexní povrchy vyšší potenciál zmírňování než reflexní střechy. Reflexní povrchy jsou umístěny na úrovni terénu a snižují okolní teplotu na této úrovni prostřednictvím konvekčních procesů. Naopak reflexní střechy ochlazují pouze vzduch nad střechami budov a nemají tedy přímý vliv na teplotu v uličním kaňonu. Jejich chladicí potenciál na úrovni země závisí na kapacitě chladného vzduchu dosáhnout úrovně země. Čím vyšší je budova, tím menší je chladicí potenciál reflexních střech. Simulace provedené pro městské zóny zahrnující výškové budovy, jako je Hongkong a Tokio, ukázaly, že chladicí příspěvek reflexních střech je za těchto podmínek zanedbatelný.



Obrázek 1: Vlevo černá a vpravo bílá buňka ze studie, na kterých zkoumal Cheng et al. (2005) vnitřní teploty.

Reflexními dlažebními materiály se rozumí povrchy chodníků a silnic. Doulos et al. (2004) zjistil, že dlaždice vyrobené z mramoru, mozaiky či obyčejného kamene lépe odráží sluneční záření než betonové dlaždice či povrch z asfaltu. Kromě toho měly reflexní dlaždice s hladkým povrchem větší odrazivost než dlaždice s drsným povrchem.

Strategie na zmírnění povrchové teploty vozovek zahrnují využití reflexních a propustných materiálů, které mají obvykle nižší povrchovou teplotu ve srovnání s konvenčními materiály, jako je nepropustný asfalt (Asaeda et al. 1996).

Reflexní povrchy snižují povrchovou teplotu a teplotu vzduchu především zvýšením odraženého slunečního záření, které může ovlivnit tepelný komfort chodců, spotřebu energie budovy a emise uhlíku. Propustné povrchy, na rozdíl od nepropustných, zachycují vodu na svém povrchu a propouštějí infiltrace do vrstev pod nimi, které snižují teploty především odpařovacím chlazením (latentní tepelný tok), porézní struktury propustných povrchů také významně prospívají šetrnému hospodaření s dešťovou vodou ve městech (Wang et al. 2021).

Přírodní prvky ve městě

Vyšší zastoupení vegetace ve městech přispívá ke snižování intenzity městského tepelného ostrova prostřednictvím vyšší míry evapotranspirace, která spotřebovává energii ze slunečního záření a citelné teplo na ochlazování rostliny a vzduchu v jejím okolí (Bowler 2010). Kromě ochlazování odpařováním může stínění stromů působit na ochlazení atmosféry tím, že zachytí sluneční záření, které tak nemůže ohřát zemský povrch či umělé materiály. Zastínění míst a jeho vlivu na výpočet indexů tepelné zátěže se věnuje Sky View Faktor (viz. kapitola 3.3.) (Oke 1989). Vegetace navíc

zvyšuje drsnost povrchu země, což podporuje přenos tepla do vzduchu a jeho následné konvekci pryč od země (Bonan 1997). I přes tento fakt nemusí být vegetace tím ideálním řešením na ochlazení města, pokud není výsadba provedena správně. Takebayashi & Moriyama 2007 zjistili během třídenního srpnové výzkumu, že vysoce reflexní nepropustné bílé střechy byly v průměru o něco chladnější než střechy travnaté, což značí, že tyto střechy s bílým povrchem mohou konkurovat tzv. zeleným střechám. Umělé střechy na rozdíl od těch s vegetací jsou méně náročné na údržbu a mají vyšší albedo (odrazivost), které je znázorněno v tabulce 1.

Tabulka 1: Sluneční odrazivost (albedo) jednotlivých povrchů (Takebayashi & Moriyama 2007). Čím vyšší je hodnota albeda, tím lepší odrazivost slunečního záření povrch má.

Plocha	Holá půda	Půda s trávou	Beton	Reflexní šedý lak	Reflexní bílý lak
Albedo	0,17	0,15	0,37	0,36	0,74

Pokud má být vegetace ve městě účinná, je zapotřebí, aby byla hustá a zahrnovala keře a stromy, které vyvolávají velké chladicí efekty potřebné k ovlivnění větší části města. Jenže vysoká hustota vegetace má často vysoké náklady na výsadbu a údržbu. To může některé městské samosprávy demotivovat od vyšších investic do výsadby zeleně (Mackey 2012). Dodatečné ekosystémové prvky vysázené vegetace jako je minimalizovaný odtok dešťové vody, čištění vzduchu, menší prašnost, snížení hluku a zvýšení cen nemovitostí však stačí k tomu, aby se pro města stalo opatření výsadby zeleně investicí, která se vyplatí (McPherson 2011). Mimo jiné je prokázáno, že vegetace má pozitivní vliv na duševní pohodlí lidí, kteří pociťují méně stresu a jsou lépe soustředěni (Wolf 2005).

K ochlazení města nemusí sloužit jen městská zeleň. Přítomnost vodní plochy může snížit efekt městského tepelného ostrova vytvořením oblasti s chladným vzduchem (Chang 2007). Vodní plocha se vyznačuje vysokou tepelnou setrvačností a kapacitou a také nízkou tepelnou vodivostí a zářivostí. Vodní plocha absorbuje daleko méně tepla než jiné urbanizované oblasti, a tak ochlazuje nejen povrch nad samotnou hladinou, ale ochlazuje i okolní oblasti (Ghosh & Das 2018).

3.2. Indexy tepelné zátěže

V průběhu minulého století probíhalo mnoho výzkumů na definování a hodnocení tepelného komfortu. V průběhu těchto výzkumů bylo navrženo velké množství indexů. Epstein & Moran (2006) uvádí přes 40 používaných indexů, ale existuje jich více.

Indexy tepelné zátěže se dají rozdělit do několika skupin:

- ➔ Indexy založené na výpočtech zahrnujících rovnici tepelné bilance např. Physiologically Equivalent Temperature (PET) index, Universal Thermal Climate Index (UTCI) nebo index IREQ, který je určen pro chladné prostředí a řeší izolace oděvů (Blazejczyk et al. 2012).
- ➔ Indexy založené na objektivním a subjektivním namáhání (empirické indexy) např. Physiological strain index (PSI). PSI je založen na teplotě a srdeční frekvenci. Podle toho indikuje tepelnou zátěž (Moran et al. 1998).
- ➔ Indexy založené na přímém měření environmentálních proměnných např. zdánlivá teplota (AT), HI (heat index) pro teplé prostředí nebo WGBT.

Indexy PSI a IREQ jsou obtížné na implementaci pro každodenní používání. Třetí skupina je pro běžného uživatele přijatelnější (Blazejczyk et al. 2012).

Indexy jsou používány k předpovědi a odhadu prahové hodnoty tepelného nepohodlí a tepelného stresu (Epstein & Moran 2006).

3.2.1 Heat Index

Heat index (HI) v překladu index horka je kombinace aktuální teploty vzduchu a vlhkosti. Tento index se používá pouze v letních měsících, většinou při teplotách vyšších než 27 °C. Při nižších teplotách má vlhkost vzduchu zanedbatelný význam pro lidský organismus z důvodu malého vlivu pocení. Naopak při vyšších teplotách hraje vlhkost vzduchu významnou roli. Při kombinaci vysoké teploty s vysokou vlhkostí vzduchu, kdy se pocení stává výrazně méně efektivním, dosahuje heat index vyšších hodnot než v případě vysoké teploty a nízké vlhkosti vzduchu. V takovém případě se pot z pokožky rychle vypařuje a cítíme se daleko komfortněji (National Weather Service 2022).

Pro výpočet heat indexu ve stupních Fahrenheita (°F) existuje následující vzorec:

$$HI = -42,379 + (2,04901523 * T) + (10,14333127 * rh) - (0,22475541 * T * rh) - (6,83783 * 10^{-3} * T^2) - (5,481717 * 10^{-2} * rh^2) + (1,22874 * 10^{-3} * T^2 * rh) + (8,5282 * 10^{-4} * T * rh^2) - (1,99 * 10^{-6} * T^2 * rh^2)$$

HI = Heat index [°F]

T = aktuální teplota vzduchu [°F]

rh = relativní vlhkost [%]

Pro výpočet heat indexu ve stupních Celsia (°C) je třeba převést stupně Fahrenheitita pomocí následujícího vztahu:

$$T[°C] = \frac{5}{9} * (T[°F] - 32)$$

Pro rychlé určení heat indexu se dá využít tabulky uvedené na obr. 2.

		Teplota (°C)															
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43
Vlhkost (%)	40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	41	43	46	48	51	54	58
	45	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58	
	50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	55	58		
	55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58			
	60	28	29	31	33	35	38	41	43	47	51	54	58				
	65	28	29	32	34	37	39	42	46	49	53	58					
	70	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57						
	75	29	31	33	36	39	43	47	51	56							
	80	29	32	34	38	41	45	49	54								
	85	29	32	36	39	43	47	52	57								
	90	30	33	37	41	45	50	55									
	95	30	34	38	42	47	53										
100	31	35	39	44	49	55											

Obrázek 2: Stupnice heat indexu. V levém sloupci tabulky je relativní vlhkost v %. Teplota ve °C je uvedena v prvním řádku. Kombinace těchto dvou proměnných ukazuje heat index (tepelnou zátěž), která je uvedena v podbarvené části tabulky. Žlutá a světle oranžová je mírná zátěž, naopak u teplot v červené části hrozí extrémní riziko zdravotních potíží. Zdroj: In-počasí (2013)

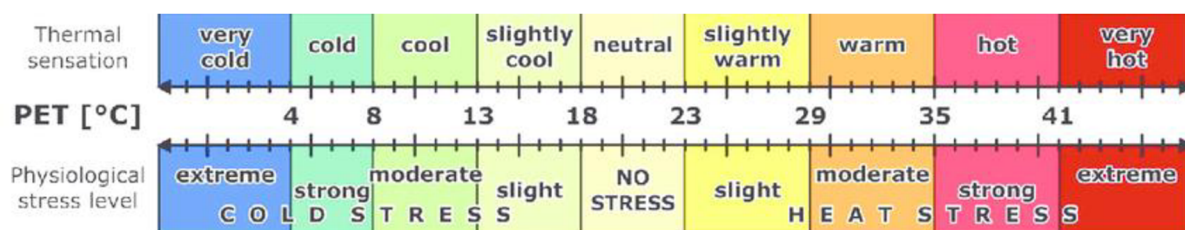
Vliv heat indexu na člověka je podle stupnice následující. Při hodnotách v intervalu 80–90 °F (tj. 26,5 až 32 °C), který spadá do kategorie „opatrnost“ (na obr. 2 žlutou barvou), se dlouhodobý pobyt na slunci nebo zvýšená fyzická aktivita projevuje zvýšenou únavou. Při intervalu 90–103 °F (tj. 32 až 39,5 °C), který spadá do kategorie „extrémní opatrnost“ (na obr.2 světle oranžovou barvou), může u vystaveného člověka dojít k úpalu, křečím nebo vyčerpání z tepla. Při delším pobytu na slunci v rozmezí heat indexu od 103 po 124 °F (tj. 39,5 až 51 °C), který spadá do kategorie „nebezpečí“

(na obr. 2 světle červenou barvou), může dojít k silným křečím, úpalu a vyčerpání z tepla a je ohrožen i život člověka. Kategorie extrémního nebezpečí (na obr. 2 tmavě červenou barvou) je od 125 °F (tj. od 51,5 °C). Takto vysoké hodnoty heat indexu představují vysoké riziko i pro zdravé jedince a NWS vůbec nedoporučuje delší pobyt na slunci a namáhavější fyzickou aktivitu. U všech kategorií nebezpečí se doporučuje konzumovat dostatečné množství nealkoholických nápojů, zdržovat se ve stínu a přizpůsobit své oblečení aktuální situaci (National Weather Service 2022).

3.2.2 PET

Physiologically Equivalent Temperature (fyziologicky ekvivalentní teplota) je index tepelného komfortu či pohodlí (Walther & Goestchel 2018).

PET je založen na Mnichovském modelu energetické bilance pro jednotlivce, který relevantním způsobem modeluje tepelné poměry lidského těla (Höppe 1999). PET je definován jako teplota vzduchu ve standardizovaném/referenčním vnitřním prostředí, který vyvolává stejné fyziologické reakce (vnitřní teplotu a teplotu kůže) jako aktuální venkovní podmínky. Tímto způsobem umožňuje PET i laikovi porovnat aktuální venkovní podmínky s „optimálními“ podmínkami. V horkých letních dnech tak může být například při přímém slunečním záření hodnota PET o více než 20 °C vyšší než teplota vzduchu, naopak při větrném dni v zimním období může být PET i o 15 °C menší než teplota vzduchu (Höppe 1999).



Obrázek 3: Teplotní stupnice PET indexu Kántor (2016).

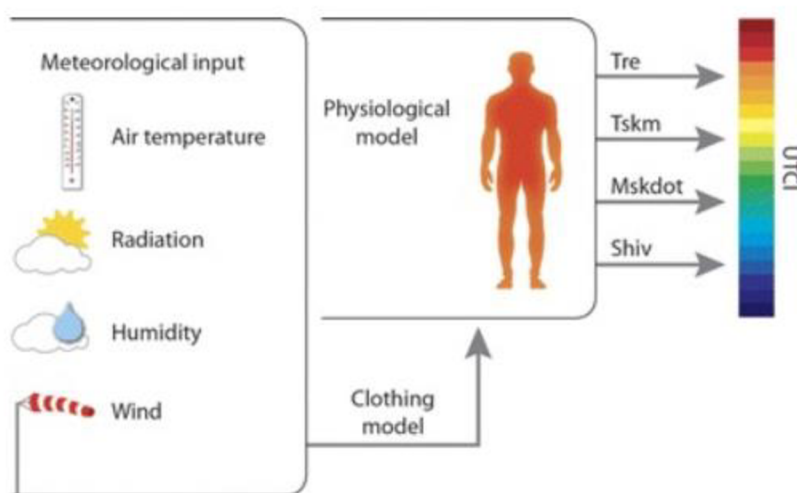
3.2.3 UTCI

Universal Thermal Climate Index neboli univerzální teplený klimatický index je v současnosti jeden z nejčastěji používaných indexů ve výzkumech tepelné pohody ve městech (Lehnert et al. 2021). Výpočet UTCI je založen na pokročilém víceuzlovém modelu termoregulace od Fialy et al. (2012). Termoregulace je schopnost organismu udržet si tělesnou teplotu v určitých mezích, i když je okolní teplota velmi rozdílná. Fialův model je propojen s nejmodernějším modelem oděvu od Havenith et al. (2012),

který zohledňuje izolace oděvů široké veřejnosti. Model oděvu je však zaměřen pouze na západní styl oblékání, kvůli nedostatku dat z rozvojových zemí.

Samotný vzorec výpočtu hodnot UTCI vychází z obecně stanoveného tepelného komfortu/diskomfortu člověka popsaného vnějšími faktory, ale také charakteristikami konkrétního člověka (jeho fyzické parametry, vykonávaná práce, oblečení apod.). Pro účely výpočtu podmínek pro větší geografickou oblast nebo pro delší časové období, ale nelze individuální faktory určit. Proto je použit „standardní“ jedinec, tedy v podstatě průměrné hodnoty individuálních parametrů (Rožnovský et al. 2019).

Schéma výpočtu UTCI je zobrazeno na obr. 4 (Pappenberger 2015).



Obrázek 4: Na levé straně jsou meteorologické vstupy. Následně je aplikován model od Fiala et al. 2012, který je doplněn modelem s oblečením od Havenith et al. 2012. Tre = rektální teplota; Tskm = střední teplota kůže; Mskdot = produkce potu; Shiv = teplo generované třesem (Pappenberger 2015).

Kategorie UTCI jsou shrnuty v tab. 2

Tabulka 2: Kategorie UTCI. Ideální hodnoty pro UTCI jsou mezi 18 až 26 °C (Bröde et al. 2012).

Rozsah UTCI v °C	>46	46-38	38-32	32-26	26-9	9 až -13	-13 až -40 >
Stresová kategorie	Extrémní tepelný stres	Velmi silný tepelný stres	Silný tepelný stres	Střední tepelný stres	Žádné tepelné namáhání	Mírný chladový stres	Mírný až extrémně silný chladový stres

Režimová doporučení dle stupňů zátěže podle Českého hydrometeorologického ústavu:

UTCI je mimo jiné používán Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) v operativním provozu pro předpověď pocitové teploty v Česku (Český hydrometeorologický ústav 2023). Pro udržení tepelné rovnováhy těla jsou doporučována režimová opatření uvedená na obrázku 5. Jak uvádí web ČHMÚ, doporučení se vztahují na zdravé lidi, kteří jsou během pobytu venku vhodně oblečení dle převládajících tepelných podmínek. V případě nemocných či citlivých jedinců mohou být nutná další ochranná opatření.

stupeň	kategorie zátěže	základní doporučení
-4	velmi silná až extrémní zátěž chladem	<ul style="list-style-type: none"> používat účinnou ochranu hlavy a končetin používat oděv se zvýšenou tepelnou izolací omezit pobyt venku na nezbytné minimum zvýšit fyzickou aktivitu k produkci metabolického tepla
-3	silná zátěž chladem	<ul style="list-style-type: none"> chránit pokožku obličeje (aplikovat krém, zakrýt) používat oděv se zvýšenou tepelnou izolací omezit pobyt venku na minimum, zejména děti, senioři a nemocní v případě delšího pobytu venku zvýšit pohybovou aktivitu
-2	mírná zátěž chladem	<ul style="list-style-type: none"> chránit pokožku obličeje (aplikovat krém) chránit končetiny před podchlazením v případě delšího pobytu venku zvýšit pohybovou aktivitu
-1	slabá zátěž chladem	<ul style="list-style-type: none"> nosit rukavice a pokrývky hlavy
0	bez zátěže	<ul style="list-style-type: none"> bez doporučení
+1	mírná zátěž teplem	<ul style="list-style-type: none"> dopíňovat tekutiny (min 0,25 l/h)
+2	silná zátěž teplem	<ul style="list-style-type: none"> snížit fyzickou aktivitu dopíňovat tekutiny (min 0,25 l/h) pobývat na stinných a vzdušných místech zvážit omezení pobytu dětí, seniorů a nemocných venku
+3	velmi silná zátěž teplem	<ul style="list-style-type: none"> snížit fyzickou aktivitu dopíňovat tekutiny (min 0,5 l/h) pravidelně pobývat v klimatizovaných podmínkách anebo na stinných a vzdušných místech omezit pobyt venku na minimum, zejména děti, senioři a nemocní
+4	extrémní zátěž teplem	<ul style="list-style-type: none"> vyhýbat se fyzické námaze pravidelně ochlazovat tělo dopíňovat tekutiny (min 0,5 l/h) vyhnout se pobytu venku, je-li to nutné, zůstat na stinných a vzdušných místech

Obrázek 5: Kategorie UTCI a doporučení opatření dle českého hydrometeorologického úřadu.

Mezi požadované proměnné pro výpočet PET a UTCI indexu patří: A) meteorologické proměnné, jako je teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$), relativní vlhkost (%), rychlost větru (m/s) a radiační toky a B) individuální proměnné, jako je výška, váha, věk, pohlaví, oblečení a fyzická aktivita (W/m^2) (Sharafkhani et al. 2018).

PET index porovnává tepelný komfort jedince a jeho fyziologické reakce s těmi, které by stejné meteorologické podmínky vyvolaly u sedícího člověka (energetický výdej $80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) vykonávajícího lehkou kancelářskou práci (50% vlhkost při teplotě $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a proudění vzduchu $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Höppe 1999).

Index UTCI oproti tomu uvažuje jako referenční podmínky pro člověka pohybujícího se volnou chůzí (energetický výdej $135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) ve venkovním prostředí (50% vlhkost při $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a proudění vzduchu rychlostí $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ve výšce 10 m). UTCI je oproti PET citlivější na změny jednotlivých meteorologických proměnných ovlivňujících tepelné prostředí a měl by lépe reprezentovat rychle se měnící venkovní podmínky. Oproti PET navíc UTCI zahrnuje do výpočtu měnící se vliv izolace oblečením za různých podmínek (Havenith et al. 2012). Díky tomu by měl být UTCI vhodnější pro celoroční použití ve venkovním prostředí než PET (Blazejczyk et al. 2012).

3.3. Sky View Factor (SVF)

Geometrie města je důležitým faktorem ovlivňujícím tepelné podmínky. K jejímu popisu je běžně používán např. SFV, který se hojně využívá v oblastech výzkumu městského mikroklimatu (Zhu et al. 2013).

SVF se používá především v zastavěných oblastech a určuje vliv zástavby na mikroklima z hlediska zastínění. Je ovlivňován výškou a uspořádáním budov, hustotou zeleně a dalšími prvky, které mohou pomoci k zastínění. SVF se často využívá pro určení množství dopadajícího slunečního záření na konkrétní stanoviště ve městě (Zeng et al. 2018).

SVF je vyjadřován bezrozměrnou hodnotou mezi 0 a 1, kde 0 znamená, že je obloha zcela zakryta překážkami a 1 znamená, že žádné překážky v místě měření nejsou (Zeng et al. 2018).

Ve studiích městského klimatu se SVF používá ke kvantifikaci dopadu slunečního záření na konkrétní místo. Čím vyšší je SVF, tím vyšší je pravděpodobný dopad slunečního záření na povrch a zároveň se zvyšuje efekt městského tepelného ostrova.

SVF lze použít při plánování městské zelené infrastruktury a dalších forem stínících prvků k optimalizaci dopadu na mikroklima a ke snižování tepelné zátěže v ulicích měst (Zeng et al. 2018).

SVF lze odhadnout pomocí metod založených na 3D modelu města, metodě GPS nebo pomocí analýzy založené na fotografiích rybího oka.

3.3.1 Metoda 3D modelu

Metoda založená na 3D modelu města dokáže odhadnout rozložení SVF ve velké oblasti za krátkou dobu. Pro tento účel bylo vyvinuto několik nástrojů, které fungují buď samostatně nebo jsou součástí např. GISu. Pluginy v ArcView byly vyvinuty pro odhad SVF pomocí vektorových digitálních map, které obsahují informace o tvarech budov (Unger 2009). Kromě GISu existuje několik dalších softwarových programů, které jsou schopny provádět výpočet SVF jako je např. digitální model povrchu (DSM), model SOLWEIG či ENVI-met. Všechny výše uvedené modely dokáží vypočítat SVF aniž by byla potřeba fyzická návštěva daného místa, a proto mají jeden společný problém – vegetaci. Vegetace a jiné překážky než budovy jsou jen velmi zřídka zahrnuty do dostupné 3D databáze. Toto omezení lze překonat vysoce detailními 3D databázemi (Zeng et al. 2018). Například nástroj SVFEngine umožňuje přesný odhad SVF pomocí vysoce detailního 3D městského modelu získaného šikmou leteckou fotogrammetrií (Liang et al. 2017).

3.3.2 Metoda GPS

Metoda GPS odhaduje SVF prostřednictvím vícenásobné proměnlivé regrese nebo regrese umělé neuronové sítě (ANN), které spojují SVF s údaji o viditelnosti satelitu a síle signálu na místě (Chapman & Thornes 2004). Tato metoda umožňuje odhad v reálném čase a funguje poměrně dobře v městských oblastech, zatímco ve venkovských oblastech výkon klesá, což může být způsobeno vlivem stromů (Zeng et al. 2018).

3.3.3 Metoda rybího oka

Vyhodnocení SVF pomocí metody rybího oka spočívá v pořízení fotografií směrem kolmo k obloze kruhovou čočkou s efektem rybího oka nad úrovní země. U kruhových fotografií rybího oka lze oblast oblohy a oblast s překážkami vymezit pomocí softwaru pro zpracování obrazu. Tento proces se ovšem provádí ručně snímek po snímku. Jakmile je proces segmentace oblohy dokončen, existují různé způsoby, jak SVF

vypočítat. Software RayMan dokáže vypočítat SVF právě za pomoci fotografií z rybího oka (Matzarakis et al. 2010). I tato metoda má několik úskalí. V první řadě je velmi časově náročná na zpracování snímků a má omezené možnosti průzkumu.

3.3.4 Metoda Google Street View

V poslední době došlo k rozvoji aplikací a zjistilo se, že fotografie z Google Street View (GSV) mají velký potenciál v městských environmentálních studiích, protože obrázky GSV pokrývají většinu městských oblastí po celém světě. Průkupnickou studií byla Carrasco-Hernandez et al. (2015), která za pomoci GSV odhadovala SVF a sluneční záření. Fotografie z GSV mohou být do budoucna velkou podporou pro analýzy SVF (Zeng et al. 2018).

4. Metodika

Cílem práce bylo porovnat tepelnou zátěž na vybraných lokalitách mezi Andělem a levým břehem Vltavy. Nejprve jsem musel vybrat stanoviště, kde bych dokázal zaznamenat potřebná data. Po zkušenosti z bakalářské práce jsem vybral několik odlišných stanovišť v okolí Anděla (konkrétní stanoviště jsou v kapitole 4.2 – Stanoviště). Výběr stanovišť jsem následně konzultoval s vedoucím práce. Přes celé léto 2021 jsem si vybíral dny, které byly v rámci tohoto léta teplotně nadprůměrné. Nakonec jsem data zaznamenal z devíti letních dní. Samotné měření probíhalo s meteorologickým přístrojem Kestrel 5400. Na každý vytipovaný den jsem měl předem daný plán měření, který měl celkem pět měřících okruhů. Začínal jsem zaznamenávat data v 9:00 na prvním stanovišti, kam jsem se po obejití zbylých stanovišť okolo další celé hodiny vracel, abych ukončil okruh. Další okruhy začínaly vždy v celou lichou hodinu tj. 11,13,15 a 17 hodin letního času.

Měření na daných stanovištích probíhalo pět minut. Před každým zapnutím zaznamenávání dat na přístroji, jsem ho nechal dvě minuty aklimatizovat, aby byla naměřená data přesnější. Při přenosu přístroje jsem zaznamenávání dat vypínal, abych měl data pouze z konkrétního místa. Během pětiminutového měření odměřeného stopkami jsem zaznamenal na papír oblačnost, typ oblaků, zda je přístroj ve stínu a procentuální svit slunce (v případě velké oblačnosti mohl být svit 0 %).

Po každém naměřeném dnu jsem data z přístroje exportoval ve formě excelovské tabulky do počítače, za pomoci jednoduché aplikace Kestrel LiNK.

Přenosný přístroj Kestrel zaznamenával po zapnutí data každých pět sekund. Na jednom stanovišti bylo tedy během jednoho měření uloženo okolo 70 záznamů. Z těchto pětisekundových záznamů jsem za pomoci skriptu v programu R (poskytnutého mým vedoucím práce) spočítal průměrné hodnoty sledovaných prvků za každé měření. Následně jsem naměřené hodnoty standardizoval v čase – tj. průměrné hodnoty sledovaných prvků z jednotlivých stanovišť jsem ošetřil o koeficient vyjadřující změnu měřeného prvku mezi prvním a posledním měřením v rámci stejného okruhu. Tímto postupem byly hodnoty z jednotlivých stanovišť v rámci jednoho okruhu porovnatelné a ošetřené o změny způsobené denním chodem jednotlivých prvků. Z těchto hodnot jsem následně vypočítal hodnoty indexů PET a UTCI v programu RayMan. Pro přesnější výpočet indexů PET a UTCI v programu RayMan jsem pomocí metody rybího oka vypočítal hodnoty Sky View Faktoru pro jednotlivá stanoviště. Pro tento účel jsem nejprve fotoaparát s čočkou rybího oka pořídil fotografie stanovišť. Pořízené fotografie jsem musel upravit v grafickém programu GIMP (Boerema, J. 2023), aby byly správně orientované podle světových stran. Následně jsem upravené fotografie vložil do RayMana. V něm jsem odebral barvy nebe a software na základě vložených údajů vypočítal procentuální zastínění na stanovištích. Výsledné hodnoty zastínění jsem následně používal k výpočtu indexů tepelné zátěže.

4.1. Využitý hardware a software

K získání dat jsem využil speciální přístroj z řady Kestrel 5000. K následné analýze jsem kromě excelovských grafů využil i software RayMan (Matzarakis et al. 2007). Detaily o použitém hardwaru a softwaru jsou popsány níže.

4.1.1 Kestrel 5400

Tento přístroj je navržen tak, aby poskytoval přesná měření aktuálních podmínek. Podmínky se mohou pochopitelně výrazně lišit v závislosti na poloze a prostředí. Proto se u přístroje doporučuje vyčkat na ustálení podmínek. V praxi je toto ošetřeno čekáním na aklimatizaci přístroje (více v kapitole 4 – Metodika).

Kestrel 5400 lze využít k měření široké škály meteorologických prvků. Přístroj zaznamenává údaje o: teplotě vzduchu, teplotě rosného bodu, teplotě kulového teploměru, tlaku vzduchu a rychlosti větru, z kterých automaticky vypočítává hodnoty relativní vlhkosti, teploty vlhkého teploměru a různých indexů – wind chill, heat index

a wet-bulb globe temperature. Kestrel lze připojit k jinému elektronickému zařízení a za pomoci speciální aplikace lze jednoduše přenést naměřená data do excelovského souboru.

Samotný hardware je velmi jednoduchý. Z přední strany je vyměnitelná vrtulka, senzor teploty, displej, tlačítka na zachycení hodnot a podsvícení, výběrové tlačítko a tlačítka pro zapnutí/vypnutí a pohyb v menu přístroje. Na zadní straně je kryt vrtulky, výrobní číslo, senzor tlaku a vlhkosti, baterie s krytem, port pro přenos dat a prostor pro připojení řemínku.

Použitý přístroj byl dále vybaven přídatnou větrnou korouhvičkou pro přesnější určování směru a rychlosti větru. Přístroj je vyroben v USA (Görög 2020).

4.1.2 RayMan

Program RayMan dokáže vypočítat hustoty radiačního toku, dobu slunečního svitu, zastínění a tepelné indexy za použití omezeného množství vstupních dat. Oproti jiným programům je RayMan uživatelsky přívětivý a jednoduchý na ovládání, takže nevyžaduje programátorské znalosti (Matzaraki et al. 2010). Pro vložení dat postačí pouze upravená excelovská tabulka s potřebnými meteorologickými údaji, ze kterých

se vypočítají tepelné indexy. Na obrázcích 6 až 10 je zobrazeno pracovní prostředí programu.

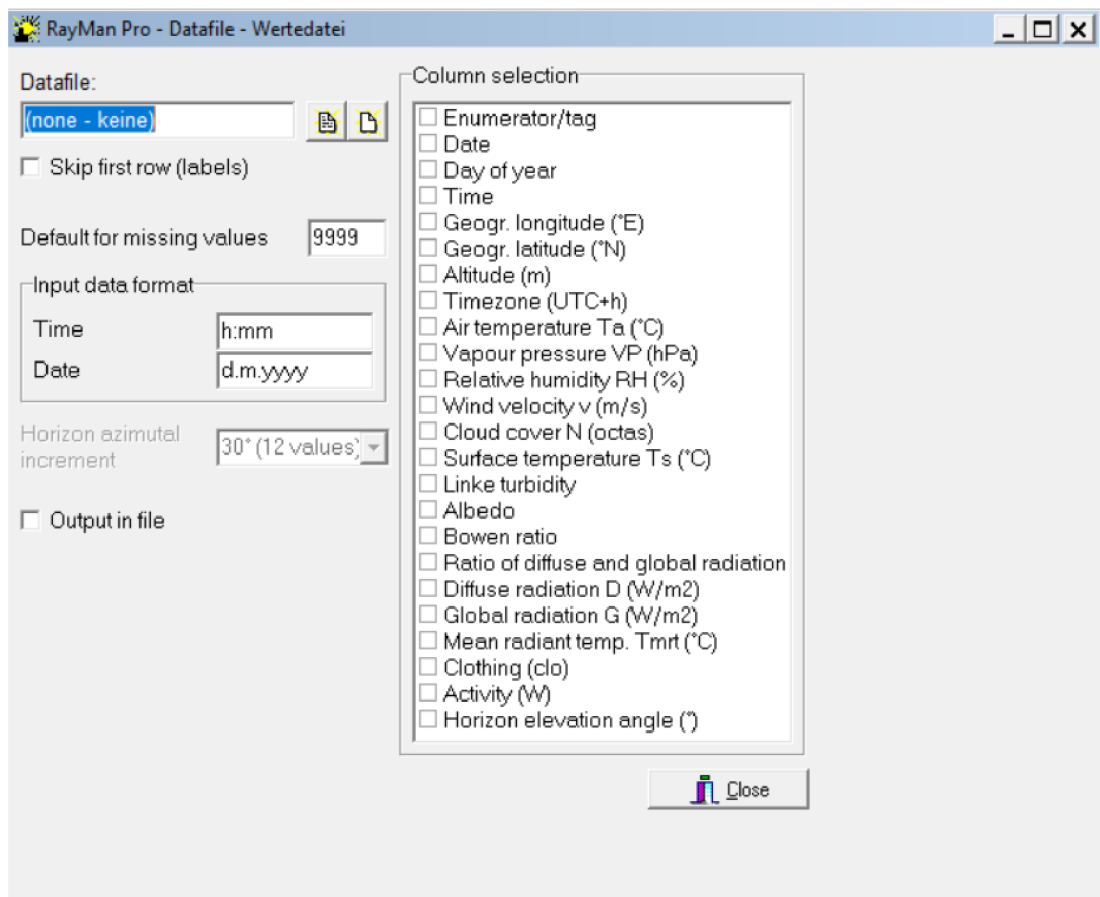
The screenshot shows the RayMan Pro software interface with the following sections and data:

- Date and time:** Date (day.month.year) 6.1.2022, Day of year 6, Local time (h:mm) 10:28. A button labeled "Now and today" is present.
- Geographic data:** Location: 1st location - erster Ort. Buttons: Add location, Remove location. Geogr. longitude (°E) 7°51', Geogr. latitude (°N) 48°0', Altitude (m) 323, Timezone (UTC + h) 1.0.
- Current data:** Air temperature Ta (°C) 20.0, Vapour pressure VP (hPa) 12.5, Rel. humidity RH (%) 53.5, Wind velocity v (m/s) 1.0, Cloud cover N (octas) 0.0, Surface temperature Ts (°C) [empty], Global radiation G (W/m2) [empty], Mean radiant temp. Tmrt (°C) [empty].
- Personal data:** Height (m) 1.75, Weight (kg) 75.0, Age (a) 35, Sex m.
- Clothing and activity:** Clothing (clo) 0.90, Activity (W) 80.0, Position standing.
- Calculation:** Buttons: New, Add.
- Thermal indices:** Checkboxes: PMV, PET, SET*, UTCI.
- Close:** Button with a small icon.

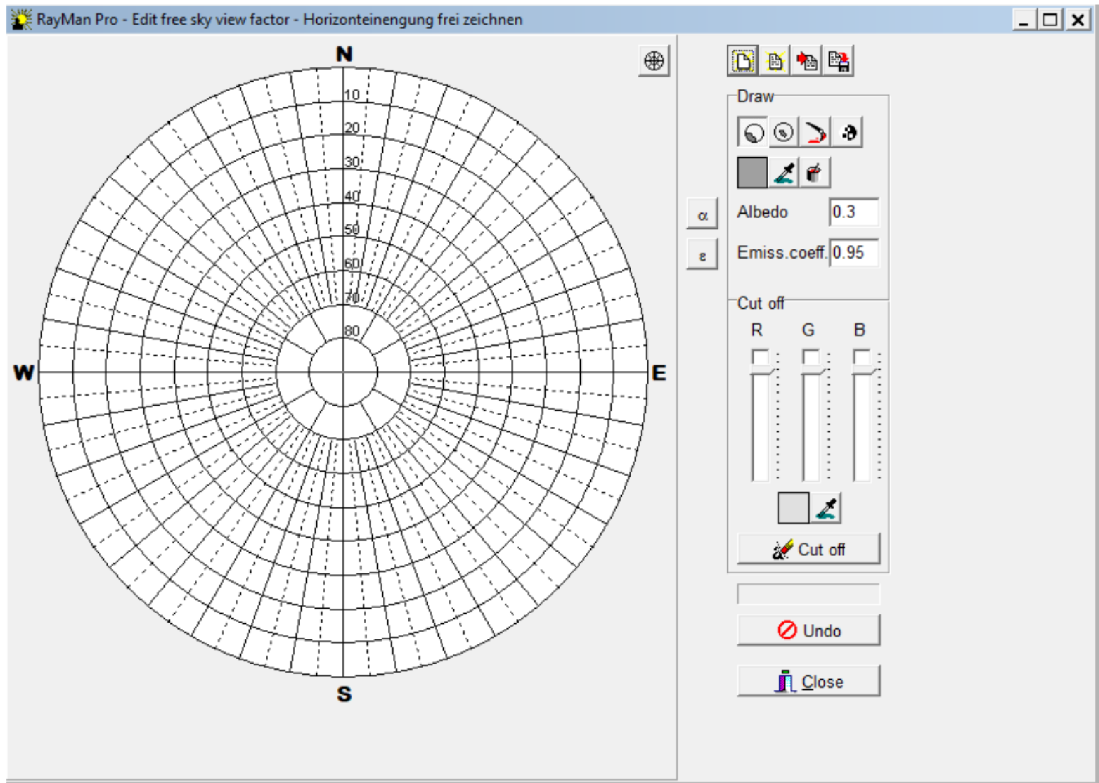
Obrázek 6: Pracovní prostředí programu RayMan. V levé horní části se vyplňuje datum a čas. V pravé dolní části geografická poloha, která lze vybrat ze základního nastavení nebo lze vytvořit nová pro konkrétní místo. V pravé horní části se vyplňují meteorologické proměnné. Lze vložit pouze jedny data nebo nahrát soubor dat viz. obr. 7. V pravé dolní části lze vyplnit osobní údajem oblečení a aktivitu. Tyto údaje slouží k přesnějšímu výpočtu tepelných indexů.

Date	Time	Tmean	RH	WS	Oblacnost
21.07.2021	8:59:10	19.4	59	0	0
21.07.2021	10:00:30	19.4	59	0.5	4
21.07.2021	10:58:45	21.6	51	0.5	8
21.07.2021	11:57:20	21.6	51	0.9	8
21.07.2021	12:59:15	23.5	47	0.9	6
21.07.2021	13:58:40	23.5	47	0.4	7
21.07.2021	14:52:02	25	40	0.3	7
21.07.2021	15:57:35	25	40	0.9	5
21.07.2021	16:58:45	24.7	40	0.3	7
21.07.2021	17:56:55	24.7	40	0.7	7
23.07.2021	8:58:45	20.9	57	0.3	4
23.07.2021	9:56:40	20.9	57	0.7	0
23.07.2021	10:54:20	24.1	47	0.5	2
23.07.2021	11:54:45	24.1	47	0.4	1
23.07.2021	12:58:30	30.5	35	0.5	3
23.07.2021	13:59:00	30.5	35	0.3	5
23.07.2021	14:58:15	30.6	34	0.5	4
23.07.2021	15:56:40	30.6	34	0.3	4
23.07.2021	17:00:00	31.8	32	0.3	3
23.07.2021	17:59:05	31.8	32	1	4
29.07.2021	8:58:40	21.1	64	1.6	1
29.07.2021	9:55:40	21.1	64	1.6	1
29.07.2021	10:58:25	23	47	2	1
29.07.2021	11:57:55	23	47	1.1	4
29.07.2021	12:58:00	26.1	41	2.4	4
29.07.2021	13:56:10	26.1	41	2	4
29.07.2021	14:58:20	27.5	37	1.8	4
29.07.2021	15:55:50	27.5	37	2.3	3
29.07.2021	16:58:25	27.5	37	2	4
29.07.2021	17:53:35	27.5	37	1.1	3

Obrázek 7: Formát vstupních dat do programu Rayman.



Obrázek 8: Pracovní prostředí v programu při zadávání vstupních dat. Bylo potřeba vybrat, které proměnné jsou do programu vkládány.



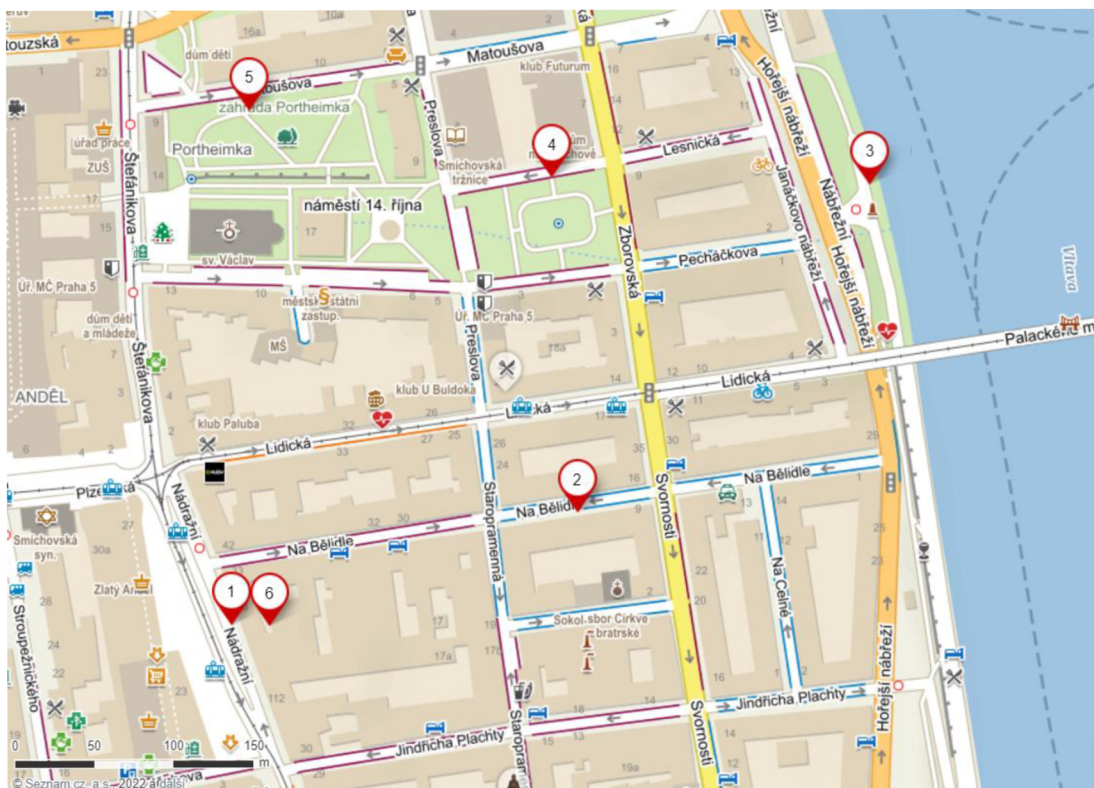
Obrázek 9: Pracovní prostředí pro vložení a úpravu obrázku, ze kterého je následně vypočítán SVF.

RayMan Pro 2.1.1 © 1999 - 2010
 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

date	day of	time	sunr.	sunset	S0max	SChart	SVF_Bay	Max	Gart	Sect	Dart	A	E	Ts	Ta	VP	RH	v	C	Octas	Tent	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PRV	PET	SET*	UTCI
d.m.yyyy	year	h:m	h:m	h:m	h:m	min	min	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	hPa	%	m/s	%	%	°C	m	kg	e				°C	°C	°C	
21.7.2021	2021	8:59	5:02	19:46	884	428	0.303	630.4	144.5	0.0	144.5	334.8	433.9	23.0	19.4	13.3	59.0	0.0	0.0	35.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.3	30.3	29.7	25.0	
21.7.2021	2021	10:01	5:02	19:46	884	428	0.303	772.6	117.9	0.0	117.9	347.2	426.9	21.7	19.4	13.3	59.0	0.5	4.0	32.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.3	21.2	24.8	23.9	
21.7.2021	2021	10:59	5:02	19:46	884	428	0.303	859.8	73.4	0.0	73.4	417.2	430.0	23.4	21.6	13.1	51.0	0.5	8.0	29.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.3	21.0	24.2	24.2	
21.7.2021	2021	11:57	5:02	19:46	884	428	0.303	914.9	77.5	0.0	77.5	417.2	437.1	23.3	21.6	13.1	51.0	0.9	0.0	31.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.3	22.7	23.6	24.1	
21.7.2021	2021	12:59	5:02	19:46	884	428	0.303	911.3	276.0	158.3	79.7	390.6	472.2	29.4	23.5	13.6	47.0	0.9	0.0	37.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.0	29.9	26.0	26.9	
21.7.2021	2021	13:59	5:02	19:46	884	428	0.303	855.5	150.2	91.7	74.6	487.6	450.7	27.7	23.5	13.6	47.0	0.4	7.0	34.9	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.2	27.7	28.1	26.6	
21.7.2021	2021	14:52	5:02	19:46	884	428	0.303	764.9	147.7	79.6	68.1	414.4	469.7	28.8	25.0	12.6	48.0	0.3	7.0	35.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.5	29.3	29.6	27.3	
21.7.2021	2021	15:50	5:02	19:46	884	428	0.303	680.9	244.3	178.3	66.0	383.6	475.7	29.9	25.0	12.6	48.0	0.9	5.0	37.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.2	26.2	27.9	27.7	
21.7.2021	2021	16:50	5:02	19:46	884	428	0.303	430.4	79.5	37.7	41.8	412.4	456.3	26.6	24.7	12.4	49.0	0.3	7.0	39.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.1	26.8	27.5	25.7	
21.7.2021	2021	17:57	5:02	19:46	884	428	0.303	245.2	42.8	17.7	25.1	412.4	449.5	25.4	24.7	12.4	49.0	0.7	7.0	27.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.7	24.1	24.4	24.7	
23.7.2021	2021	8:59	5:04	19:45	881	423	0.303	625.0	98.3	0.0	98.3	355.4	433.6	22.9	20.9	14.1	57.0	0.3	4.0	31.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.7	24.9	26.6	24.5	
23.7.2021	2021	9:57	5:04	19:45	881	423	0.303	762.0	168.4	0.0	168.4	342.6	440.6	24.2	20.9	14.1	57.0	0.7	0.0	39.3	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.9	26.6	27.0	26.5	
23.7.2021	2021	10:54	5:04	19:45	881	423	0.303	858.7	157.7	0.0	157.7	369.2	459.6	27.2	24.1	14.1	47.0	0.5	2.0	49.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.6	30.6	30.1	26.6	
23.7.2021	2021	11:55	5:04	19:45	881	423	0.303	911.5	108.8	0.0	108.8	358.2	461.9	28.0	24.1	14.1	47.0	0.4	1.0	43.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.9	32.4	31.8	29.4	
23.7.2021	2021	12:59	5:04	19:45	881	423	0.303	909.4	578.0	404.6	83.4	398.0	570.9	44.5	30.5	15.2	35.0	0.5	3.0	50.9	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	3.3	40.0	36.4	35.1	
23.7.2021	2021	13:59	5:04	19:45	881	423	0.303	852.7	352.5	273.9	78.6	416.2	538.4	39.6	30.5	15.2	35.0	0.3	5.0	46.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	3.1	38.3	35.9	33.9	
23.7.2021	2021	14:58	5:04	19:45	881	423	0.303	759.4	387.7	310.4	77.4	405.6	539.3	39.8	30.6	14.9	34.0	0.5	4.0	47.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	3.0	35.3	35.1	34.3	
23.7.2021	2021	15:57	5:04	19:45	881	423	0.303	608.4	308.3	227.6	70.7	405.6	529.8	38.3	30.6	14.9	34.0	0.2	4.0	45.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.0	38.1	35.6	33.7	
23.7.2021	2021	16:50	5:04	19:45	881	423	0.303	423.1	247.0	184.3	62.7	404.6	525.8	37.7	31.8	15.0	32.0	0.3	3.0	44.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	3.0	38.0	35.4	34.2	
23.7.2021	2021	17:50	5:04	19:45	881	423	0.303	234.4	103.2	65.7	35.5	412.1	498.1	33.3	31.8	15.0	32.0	1.0	4.0	35.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.1	33.1	30.6	32.2	
29.7.2021	2021	8:59	5:10	19:39	870	403	0.303	615.3	158.3	0.0	158.3	345.7	433.4	23.8	21.1	16.0	64.0	1.6	1.0	34.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.2	23.0	23.1	24.6	
29.7.2021	2021	9:58	5:10	19:39	870	403	0.303	758.8	153.4	0.0	153.4	345.7	435.8	23.3	21.1	16.0	64.0	1.6	1.0	37.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.4	23.0	23.9	25.4	
29.7.2021	2021	10:58	5:10	19:39	870	403	0.303	855.6	174.1	0.0	174.1	351.9	447.2	25.2	23.0	13.2	47.0	2.0	1.0	40.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.7	25.2	25.1	25.3	
29.7.2021	2021	11:58	5:10	19:39	870	403	0.303	905.0	135.4	0.0	135.4	364.5	447.4	25.2	23.0	13.2	47.0	1.1	4.0	37.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.8	25.0	25.8	26.5	
29.7.2021	2021	12:58	5:10	19:39	870	403	0.303	901.8	473.8	392.1	81.7	388.9	493.0	32.7	26.1	13.8	41.0	2.4	4.0	42.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.4	28.4	27.1	28.4	
29.7.2021	2021	13:56	5:10	19:39	870	403	0.303	848.2	443.6	363.2	80.3	388.9	493.9	32.9	26.1	13.8	41.0	2.0	4.0	42.9	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.4	29.1	27.7	28.9	
29.7.2021	2021	14:58	5:10	19:39	870	403	0.303	739.9	113.4	0.0	113.4	387.7	478.1	28.9	27.5	13.8	37.0	1.8	4.0	38.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.5	29.1	27.5	28.9	
29.7.2021	2021	15:56	5:10	19:39	870	403	0.303	600.0	367.1	292.2	74.9	388.6	492.3	32.6	27.5	13.6	37.0	2.3	3.0	49.3	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.7	30.2	28.3	29.6	
29.7.2021	2021	16:50	5:10	19:39	870	403	0.303	415.7	201.0	144.4	56.6	397.7	478.3	30.3	27.5	13.6	37.0	2.0	4.0	37.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.4	28.4	27.0	28.4	
29.7.2021	2021	17:54	5:10	19:39	870	403	0.303	238.5	126.8	85.6	41.2	388.6	473.1	29.4	27.5	13.6	37.0	1.1	3.0	33.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.4	28.2	27.0	28.1	
30.7.2021	2021	8:59	5:11	19:38	868	400	0.303	614.4	141.3	0.0	141.3	343.1	440.6	24.1	20.8	15.0	61.0	0.1	0.0	36.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.5	29.3	30.7	26.1	
30.7.2021	2021	9:58	5:11	19:38	868	400	0.303	747.1	185.5	0.0	185.5	349.1	442.9	24.5	20.8	15.0	61.0	0.3	0.0	39.1	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.1	28.8	29.9	26.9	
30.7.2021	2021	10:59	5:11	19:38	868	400	0.303	854.5	178.9	0.0	178.9	358.1	457.6	26.9	24.2	13.6	45.0	1.2	1.0	42.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.3	29.7	28.8	29.4	
30.7.2021	2021	11:55	5:11	19:38	868	400	0.303	902.6	179.1	0.0	179.1	358.1	466.3	27.4	24.2	13.6	45.0	0.9	1.0	43.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.5	30.0	29.1	28.9	
30.7.2021	2021	12:50	5:11	19:38	868	400	0.303	908.2	671.2	587.0	84.2	378.5	530.2	38.5	27.6	15.1	41.0	1.8	2.0	48.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.1	33.3	30.8	31.9	
30.7.2021	2021	13:58	5:11	19:38	868	400	0.303	844.3	718.9	632.3	85.7	376.5	539.6	40.8	27.6	15.1	41.0	1.6	1.0	51.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.3	34.9	32.0	32.8	
30.7.2021	2021	14:58	5:11	19:38	868	400	0.303	738.0	151.1																						

4.2. Stanoviště

Stanovišť bylo celkem šest. První a šesté stanoviště bylo stejné z důvodu ukončení a standardizace okruhů na stejném místě.



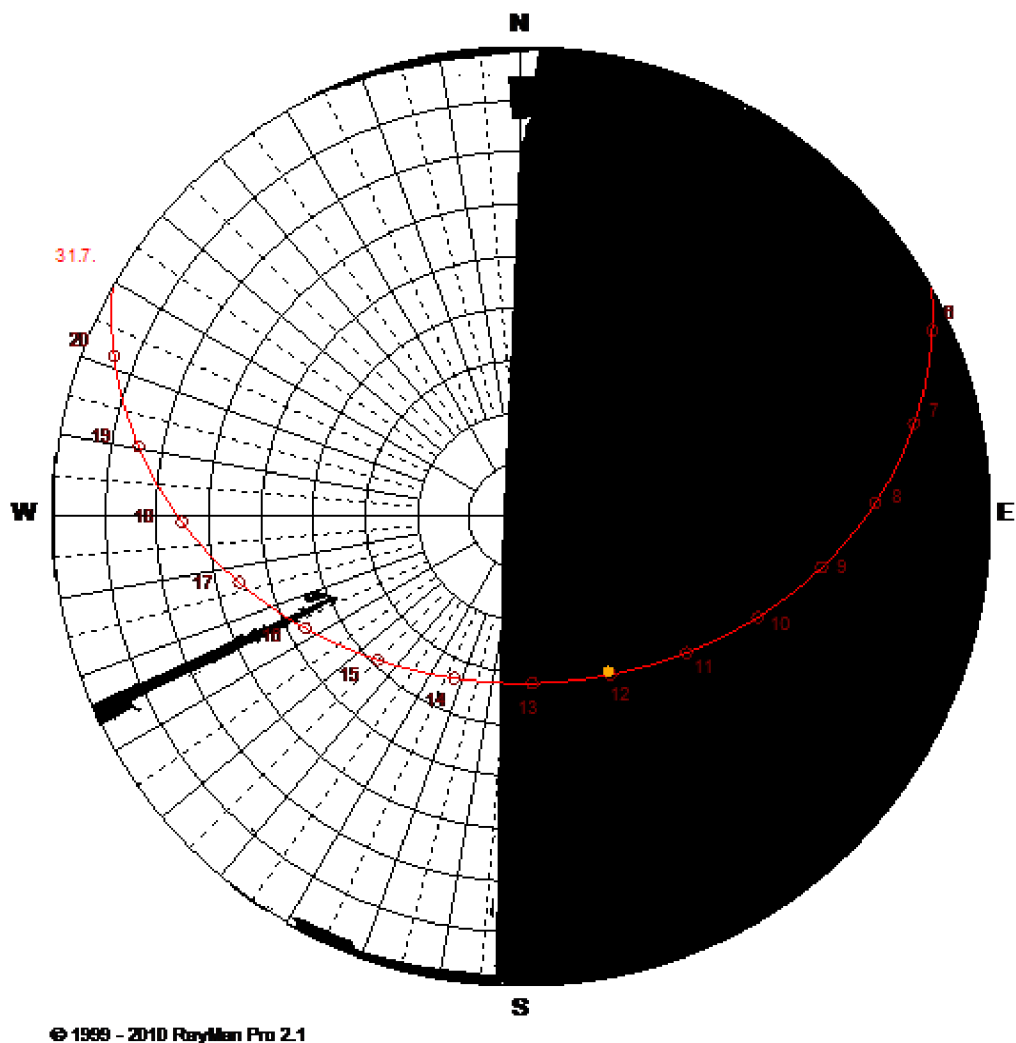
Obrázek 11: Mapa stanovišť, kde probíhalo měření. Zdroj: mapy.cz (2021).

1) Ulice Nádražní

První a zároveň poslední bod měřicího okruhu byl naproti vestibulu stanice metra Anděl u obchodu mobilní pohotovosti. V okolí stanoviště byla pouze zastavěná plocha. Jediným faktorem snižujícím pocitovou teplotu byla orientace ulice, která byla na sever, a tak do poledních hodin na stanoviště nesvítalo slunce. V prostoru měření se pohyboval velký počet osob.



Obrázek 12: Stanoviště 1 a 6: Ulice nádražní, prostor naproti vestibulu stanice metra Anděl.



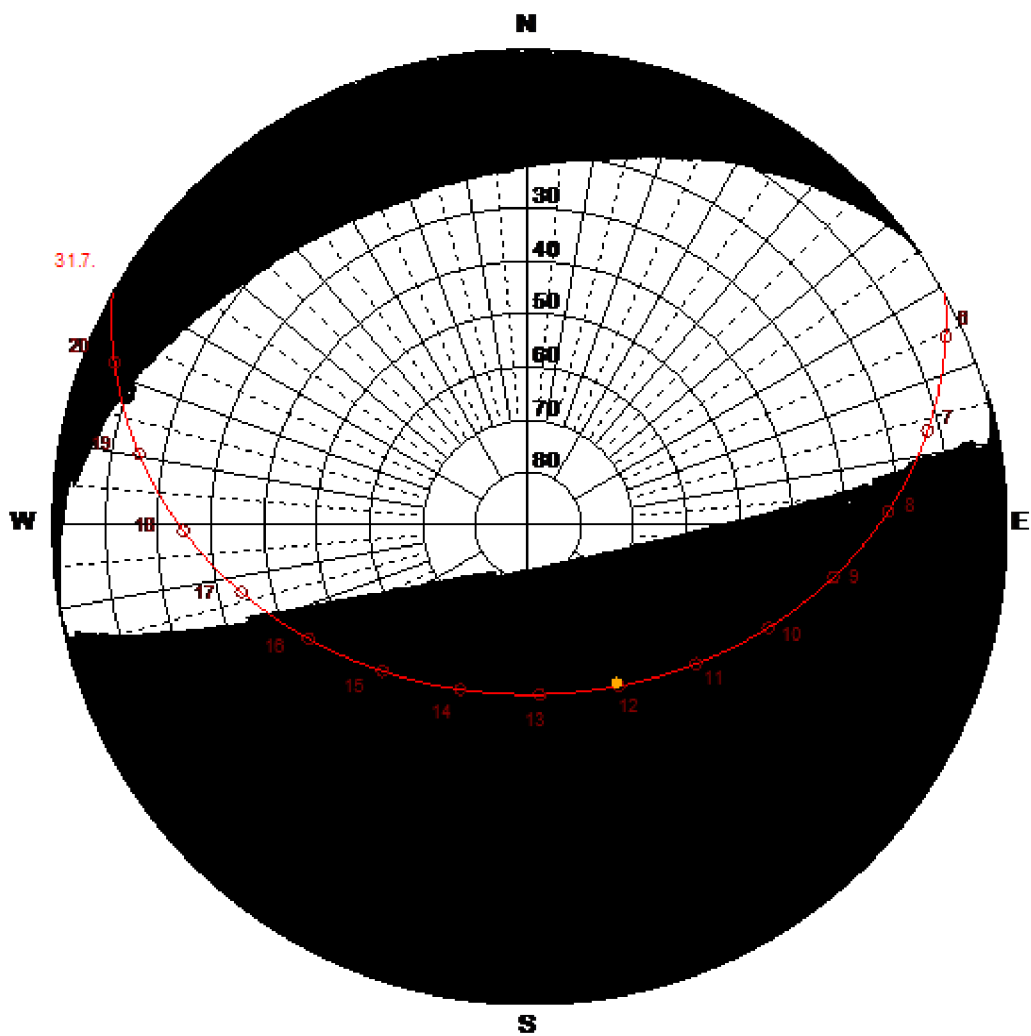
Obrázek 13: Stanoviště 1 a 6: Ulice nádražní, prostor naproti vestibulu stanice metra Anděl. Pohled z RayMana na zastínění. Černou barvu je prostor, který je zastíněný, bílou je volný prostor. Červenou barvou je znázorněn pohyb slunce.

2) Ulice Na Bělidle

Druhé stanoviště bylo v ulici Na Bělidle, která je orientovaná na východ. Obě strany ulice jsou zastavěny vysokými obydlými budovami. Přístroj byl umístěn na kraji chodníku, ale i tak na něj svítilo pouze během posledního okruhu měření v pozdních odpoledních hodinách. Při příhodném směru větru bylo prostředí stanoviště pocitově ovlivňováno Vltavou, která byla cca 200 m východně.



Obrázek 14: Stanoviště 2: Střední část ulice Na Bělidle, přístroj umístěn na jižní části ulice.



© 1999 - 2010 RayMan Pro 2.1

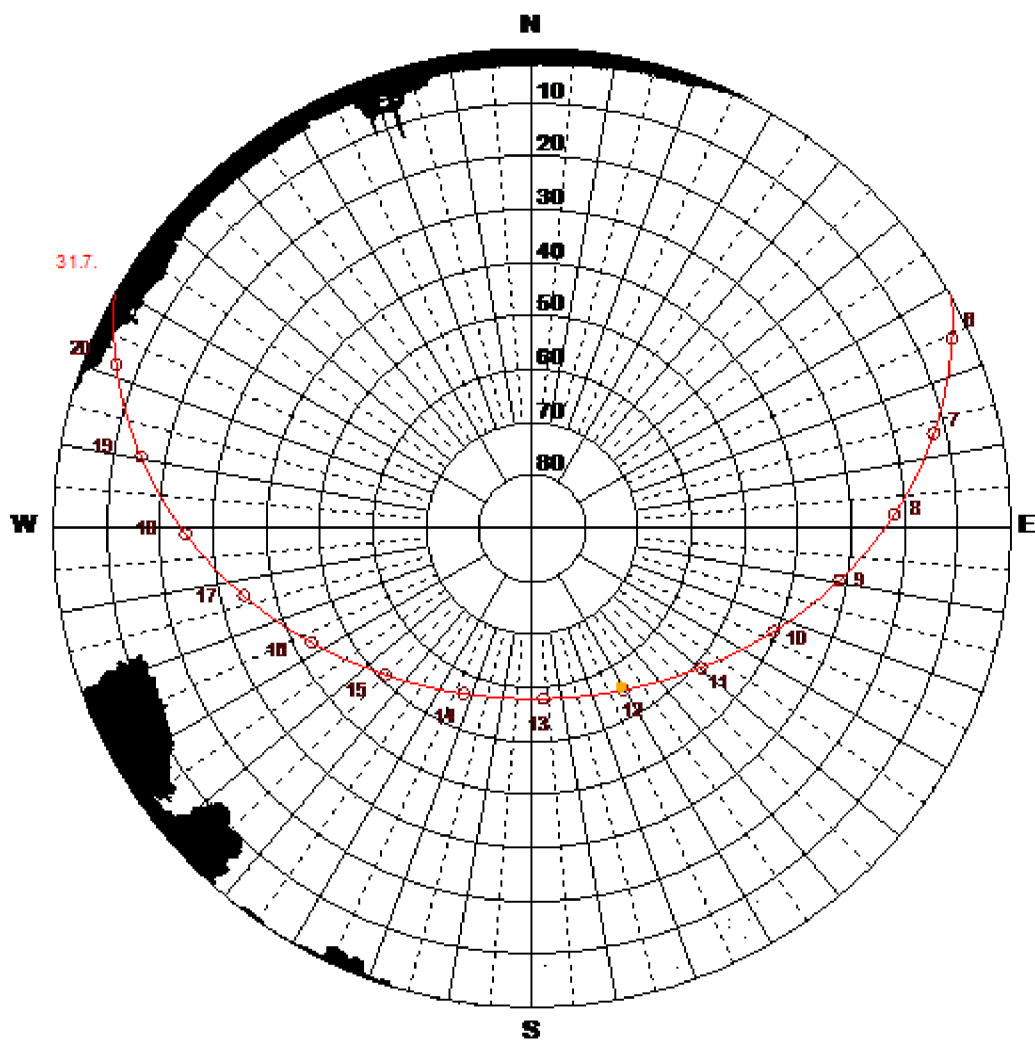
Obrázek 15: Stanoviště 2: Střední část ulice Na Bělidle. Pohled z RayMana na zastínění. Černou barvu je prostor, který je zastíněný, bílou je volný prostor. Červenou barvou je znázorněn pohyb slunce.

3) Smíchovská náplavka

Přístroj byl umístěn co nejbližší k Vltavě na otevřeném prostranství Smíchovské náplavky. V okolí se kromě povrchu z dlažebních kostek a kovového plotu nenacházela žádná další stavba. Městská zeleň byla přes 30 m vzdálena.



Obrázek 16: Stanoviště 3: Smíchovská náplavka, přístroj umístěn co nejbližší u řeky.



© 1999 - 2010 RayMan Pro 2.1

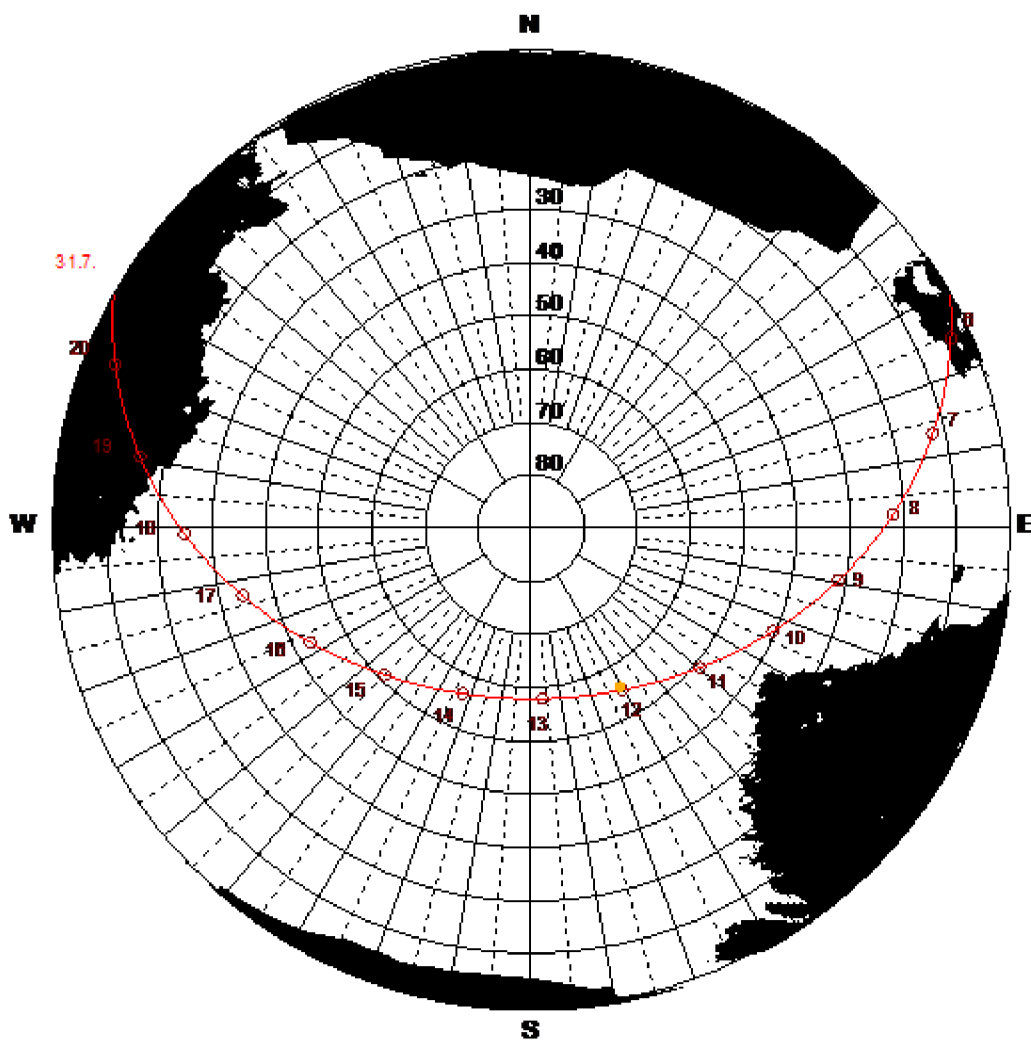
Obrázek 17: Stanoviště 3: Smíchovská náplavka. Pohled z RayMana na zastínění. Černou barvu je prostor, který je zastíněný, bílou je volný prostor. Červenou barvou je znázorněn pohyb slunce.

4) Park před Smíchovskou tržnicí

Stanoviště bylo umístěno v ulici Lesnická u živého plotu. V okolí se nacházelo parkoviště a několik stromů. Ulice byla orientována směrem na východ.



Obrázek 18: Stanoviště 4: Smíchovská tržnice. Přístroj umístěn v parku naproti tržnici.



© 1999 - 2010 RayMan Pro 2.1

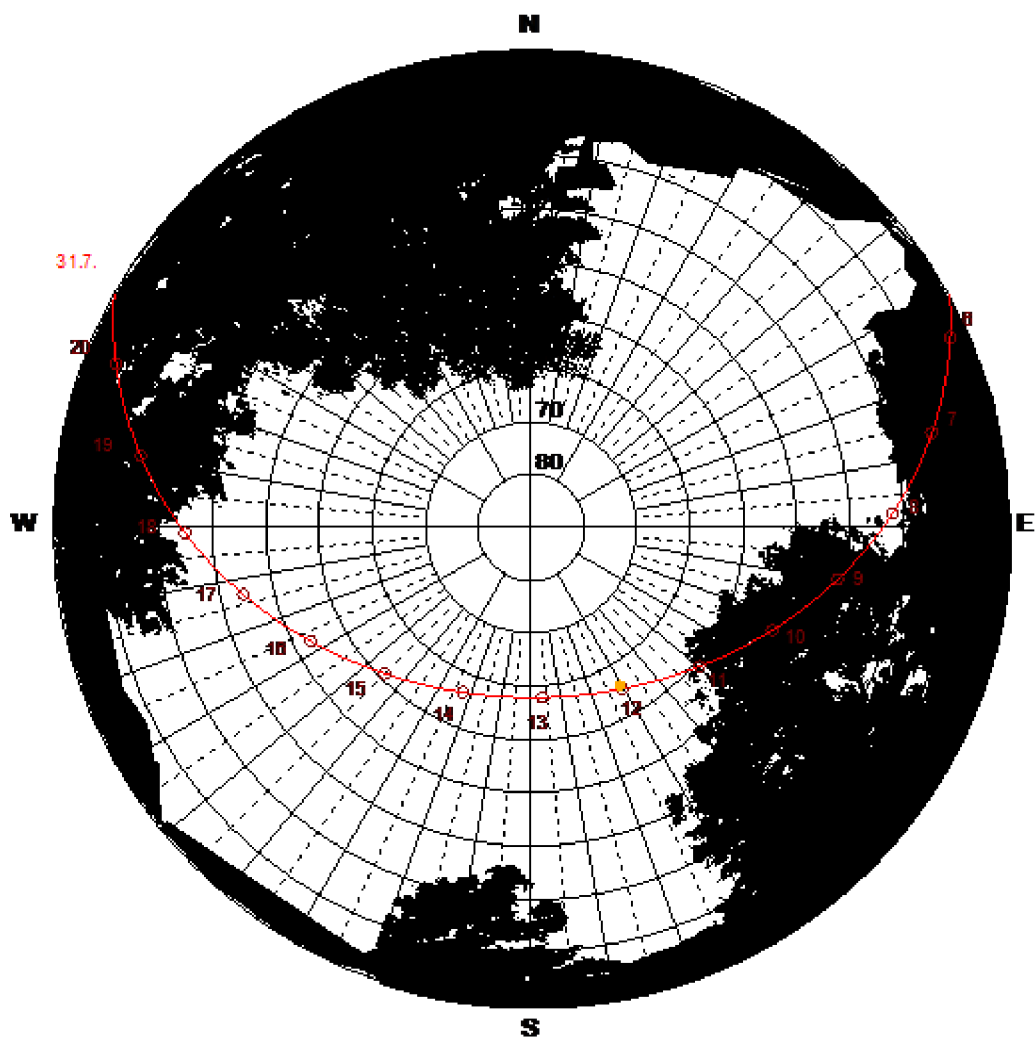
Obrázek 19: Stanoviště 4: Smichovská tržnice. Pohled z RayMana na zastínění. Černou barvu je prostor, který je zastíněný, bílou je volný prostor. Červenou barvou je znázorněn pohyb slunce.

5) Zahrada Portheimka

Stanoviště s nejvyšším pokrytím městské zeleně. Stanoviště bylo přímo uvnitř parku, kde bylo znát mikroklima Portheimky. V okolí byl trávník, několik stromů, záhony a jediným nepřírodním prvkem byl dlážděný chodník, který byl ohraničen kovovým plůtkem.



Obrázek 20: Stanoviště 5: Zahrada Portheimka. Přístroj je umístěn v centru zahrady.



© 1999 - 2010 RayMan Pro 2.1

Obrázek 21: Stanoviště 5: Zahrada Portheimka. Pohled z RayMana na zastínění. Černou barvu je prostor, který je zastíněný, bílou je volný prostor. Červenou barvou je znázorněn pohyb slunce.

5. Výsledky

Tabulka 3 ukazuje průměrné hodnoty vybraných proměnných pro jednotlivé dny měření. Dle teploty byly dva nejteplejší dny v polovině srpna, konkrétně 13. 8. 2021 a 15. 8. 2021, kdy byla průměrná teplota 28,5 °C. Dle HI, PET a UTCI byl nejteplejším dnem 13. 8. 2021. Nejchladnějším dnem ve všech vybraných proměnných byl 21. 7. 2021.

Tabulka 3: Průměrné hodnoty vybraných proměnných v jednotlivých dnech měření.

Datумы měřených dnů	Teplota (°C)	Heat index (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	Vlhkost (%)	Oblačnost (v osminách)
21.07.2021	22,2	21,3	26,7	26,1	50	5,7
23.07.2021	26,8	26,2	33,5	31,0	43	2,8
29.07.2021	25,2	24,4	29,7	29,1	46	3,1
30.07.2021	26,7	26,1	34,1	31,7	43	0,7
12.08.2021	25,7	25,2	33,2	29,7	49	5,0
13.08.2021	28,5	29,6	36,7	33,3	30	2,9
14.08.2021	27,9	28,1	35,7	32,9	49	0,9
15.08.2021	28,5	28,3	35,8	32,6	43	2,1
21.08.2021	23,5	22,9	30,5	28,1	55	2,4

V tabulce 4 jsou zobrazeny maximální hodnoty proměnných v uvedené dny. Nejteplejší den byl 13. 08. 2021 (v tabulce červeně).

Tabulka 4: Maximální hodnoty vybraných proměnných v jednotlivých dnech.

Datумы měřených dnů	Teplota (°C)	Heat index (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	Vlhkost (%)
21.07.2021	26,0	25,2	37,1	31,9	60
23.07.2021	31,8	31,3	40,2	35,1	57
29.07.2021	28,4	27,4	34,5	32,1	64
30.07.2021	33,0	32,8	41,6	36,5	62
12.08.2021	30,2	30,2	41,9	36,0	65
13.08.2021	33,9	36,1	46,4	40,1	71
14.08.2021	33,2	33,7	42,9	38,3	65
15.08.2021	32,7	32,1	42,1	37,3	66
21.08.2021	30,6	29,5	42,4	34,1	93

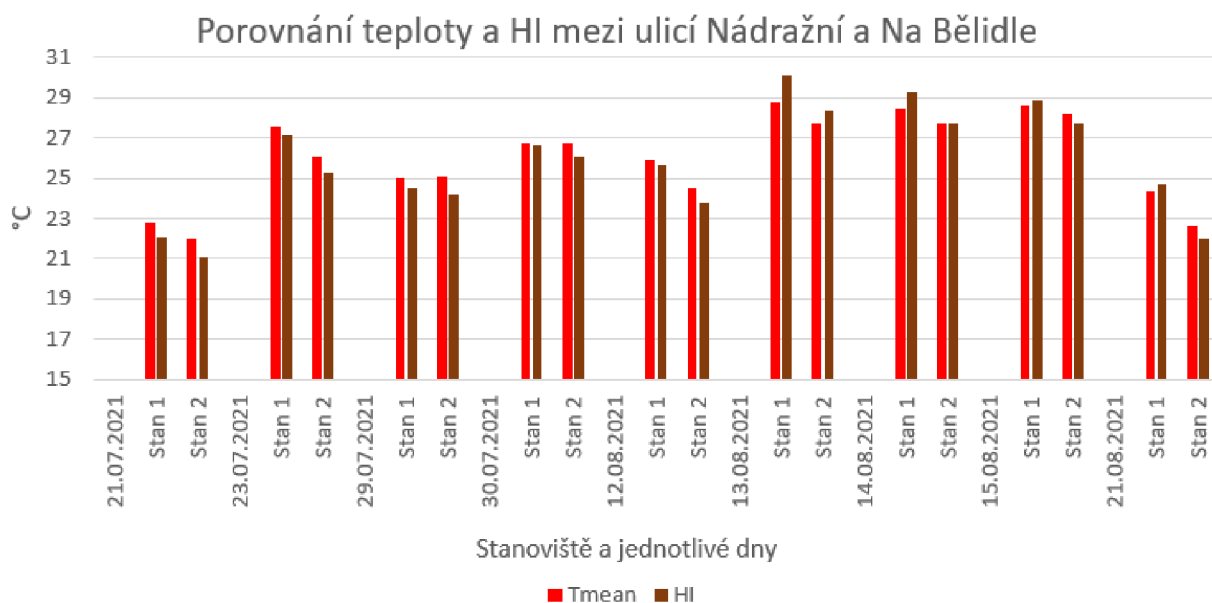
V tabulce 5 jsou porovnány standardizované průměrné hodnoty jednotlivých proměnných dle stanovišť. Nejteplejším stanovištěm dle teploty a HI je ulice Nádražní. Nejvyšší hodnoty indexů PET a UTCI byly v parku před Smíchovskou tržnicí. Rozdíly

mezi stanovišti nejsou příliš velké, protože jsou do těchto průměrů zahrnuty i dva teplotně podprůměrné (v rámci měření) dny (21. 7. a 21. 8. 2021). Poslední sloupec v tabulce 5 zobrazuje hodnoty SVF. Největší zastínění bylo na ulici Nádražní (SVF = 0,303), nejmenší na Smíchovské náplavce (SVF = 0,935).

Tabulka 5: Průměrné hodnoty vybraných proměnných na jednotlivých stanovištích za devět dnů měření. V posledním sloupci je zobrazen výsledek výpočtu SVF z RayMan

Stanoviště	Teplota (°C)	Heat index (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	Vlhkost (%)	SVF
ulice Nádražní	26,5	26,5	31,9	30,1	46	0,303
ulice Na Bělidle	25,6	25,1	30,8	29,2	47	0,320
Smíchovská náplavka	25,9	25,6	33,9	31,1	48	0,935
Park před Smíchovskou tržnicí	26,3	26,1	35,6	31,7	48	0,705
Zahrada Portheimka	26,0	25,7	32,3	30,3	48	0,458

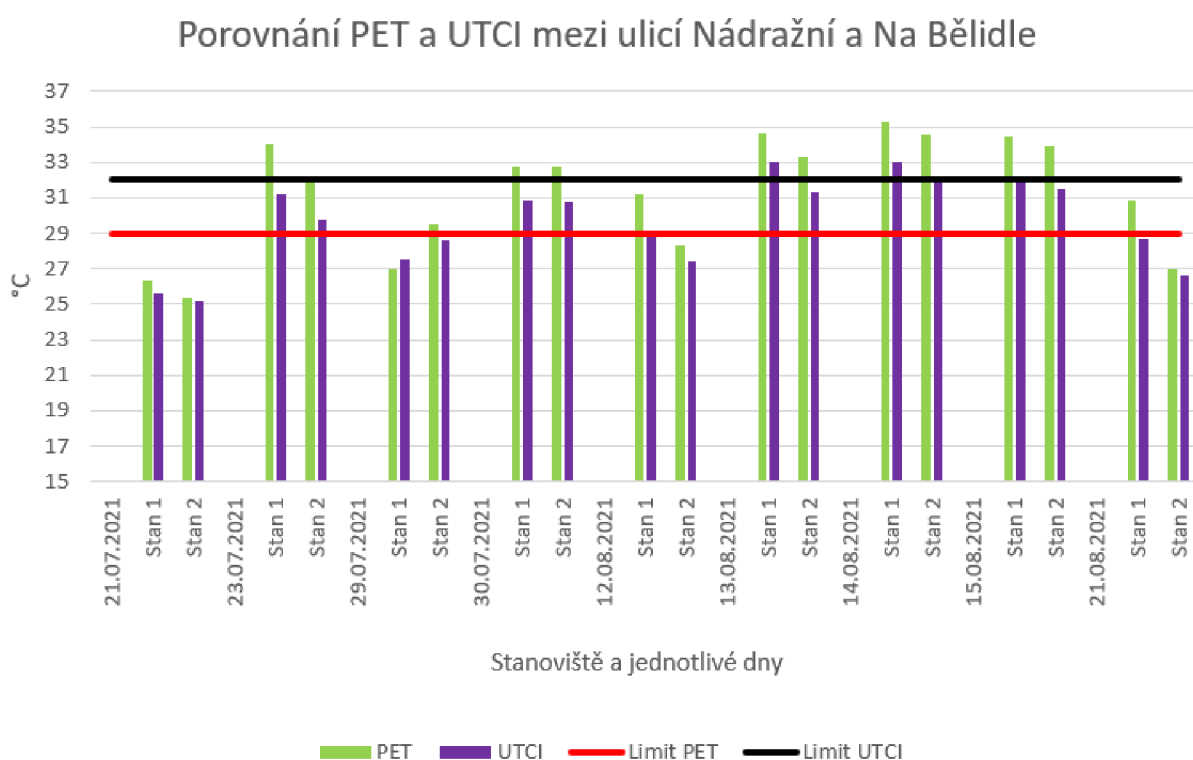
Graf 2 zobrazuje porovnání podle průměrné teploty a HI mezi nejteplejším stanovištěm ulicí Nádražní a nejchladnějším stanovištěm ulicí Na Bělidle podle jednotlivých dnů. Z grafu je patrné, že ulice Na Bělidle je chladnější. Je to způsobeno především orientací ulice, kdy byl v průběhu měření umístěn přístroj ve stínu (nižší hodnota SVF) a celkově byla ulice osluněna až v pozdních odpoledních hodinách. V ulici Nádražní bylo slunce na místě měření od poledních hodin.



Graf 2: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 2 (ulice Na Bělidle). Červeně je zobrazena průměrná teplota na stanovišti ve vybraný den, hnědou HI.

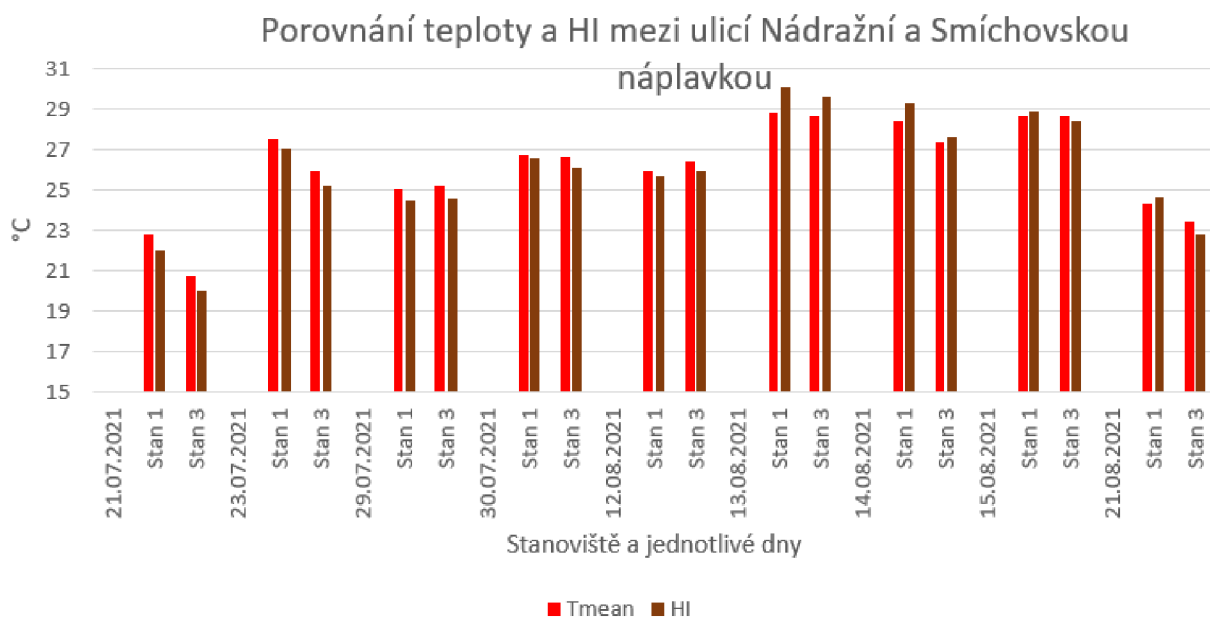
Graf 3 znázorňuje již vypočtené hodnoty PET a UTCI indexů. Z grafu je patrné, že rozdíly mezi stanovišti nejsou velice výrazné, ale u těchto indexů hraje každý stupeň důležitou roli. Zajímavá je především část grafu od 12. 8. do 15. 8. 2021. V těchto dnech dochází k nahřívání povrchu a maximální průměrné hodnoty PET indexu dosahují 35 °C. Takto vysoké hodnoty PET indexu spadají do druhé nejvyšší kategorie míry tepelného stresu (velmi silná zátěž teplem). Zejména děti, senioři a nemocní by měli omezit pohyb venku, pravidelně pobývat ve stínu či v klimatizovaných prostorech a doplňovat tekutiny. Hodnoty indexu UTCI pouze ve dvou případech (13. 8. 2021 a 14. 8. 2021) překračují hranici druhé nejvyšší kategorie. Ve většina případů jsou ve třetí kategorii tepelného stresu, kde se doporučuje pouze zvýšené doplňování tekutin.

Všechna data byla měřena do půl šesté odpoledne, takže i po měření mohly hodnoty PET a UTCI růst. Dle obrázku 3 hraje každých pět stupňů zvýšení či snížení PET indexu svou roli při stanovení tepelného stresu na člověka.



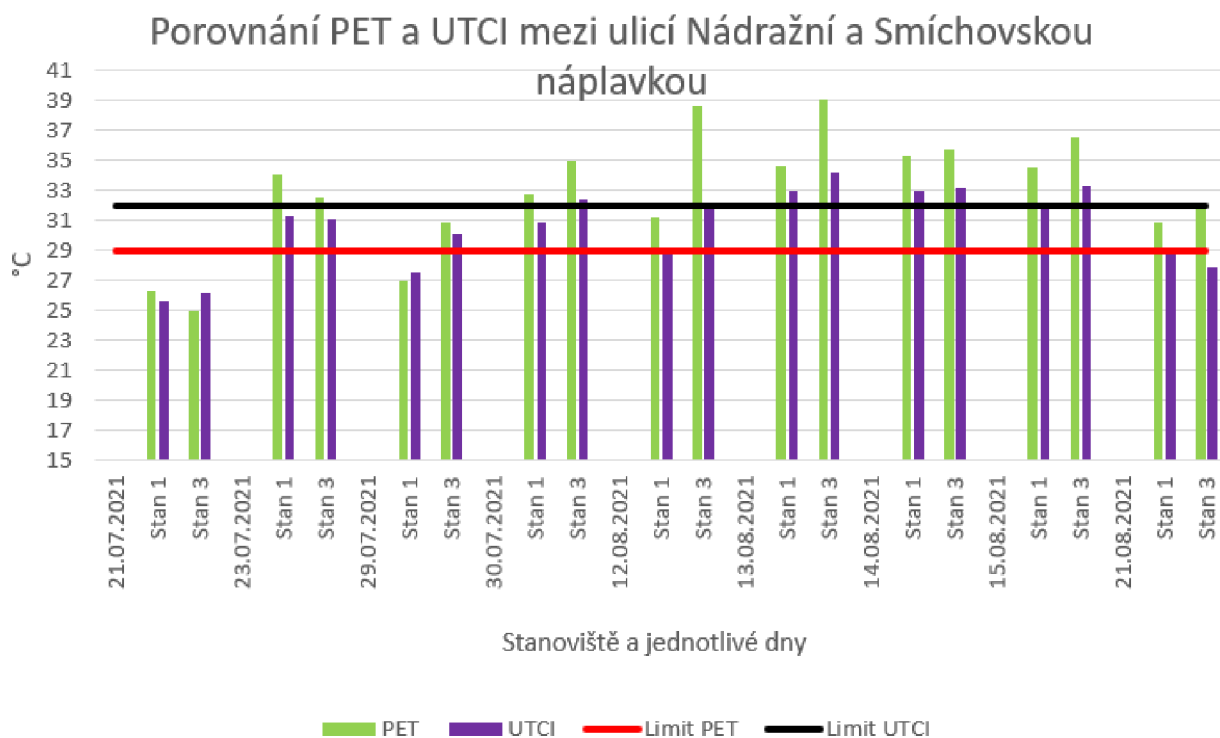
Graf 3: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 2 (ulice Na Bělidle). Zeleně je zobrazena průměrná hodnota PET indexu na stanovišti ve vybraný den, fialově průměrná hodnota UTCI. Červenou čarou je označena nejnižší hodnota PET pro dosažení silného tepelného stresu. Černá čára zobrazuje nejnižší hodnotu UTCI pro dosažení silného tepelného stresu.

Na grafu 4 je porovnání nejteplejšího stanoviště a stanoviště na Smíchovské náplavce z hlediska průměrné teploty a HI. Obě stanoviště mají podobné průměry. Smíchovská náplavka má i několik hodnot, které jsou vyšší než v Nádražní ulici. Tyto výsledky jsou v rozporu s mým předpokladem, že stanoviště Smíchovské náplavky bude nejchladnější, protože je u vody.



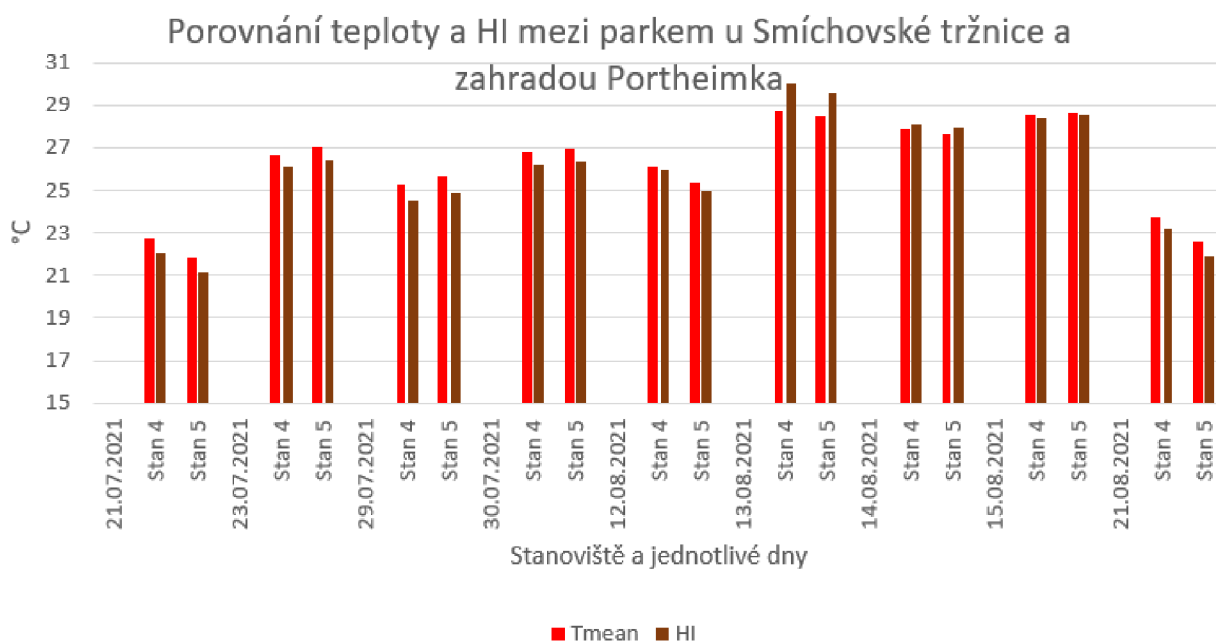
Graf 4: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 3 (Smíchovská náplavka). Červeně je zobrazena průměrná teplota na stanovišti ve vybraný den, hnědou HI.

Na grafu 5 jsou vidět výrazně odlišné výsledky, než které byly očekávány. PET i UTCI indexy jsou na Smíchovské náplavce vyšší oproti ulici Nádražní, která je daleko od Vltavy a bez výrazné městské zeleně. Příčiny jsou pravděpodobně kvůli SFV viz. kapitola 6.



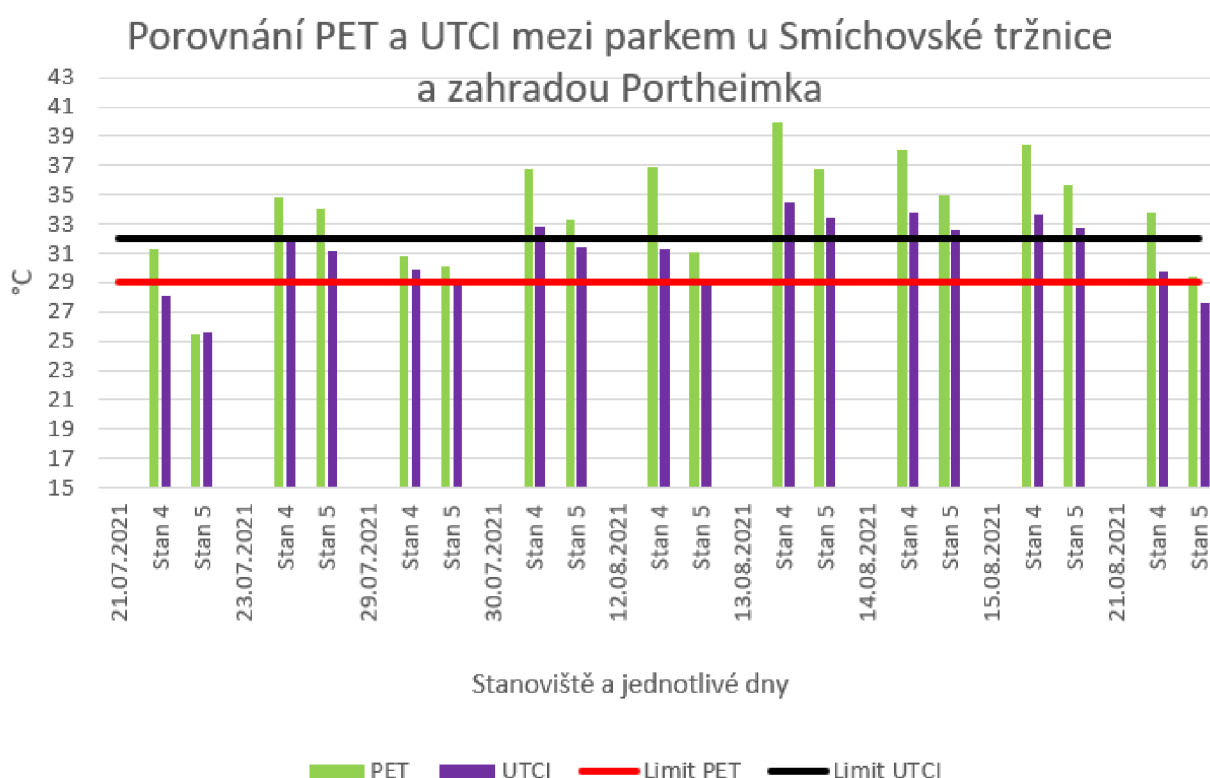
Graf 5: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 3 (Smíchovská náplavka). Zeleně je zobrazena průměrná hodnota PET indexu na stanovišti ve vybraný den, fialově průměrná hodnota UTCI. Červenou čarou je označena nejnižší hodnota PET pro dosažení silného tepelného stresu. Černá čára zobrazuje nejnižší hodnotu UTCI pro dosažení silného tepelného stresu.

Na grafu 6 je porovnání dvou parků, které od sebe dělí jen několik desítek metrů. Ovšem každý z parků má odlišnou výstavbu. Park u tržnice je ohraničen čtvercovou zástavbou a v jeho středu je kašna s travnatou plochou. Po obvodu parku jsou keře. Zahrada Portheimka je mnohem větší a není ohraničena keřovitým porostem, takže v ní mnohem lépe cirkuluje vzduch. Zřejmě díky těmto okolnostem vychází vyšší teplotní hodnoty pro první zmiňovaný park. Pokud je za sebou více teplých dní, tak jsou vyšší teploty v zahradě Portheimka.



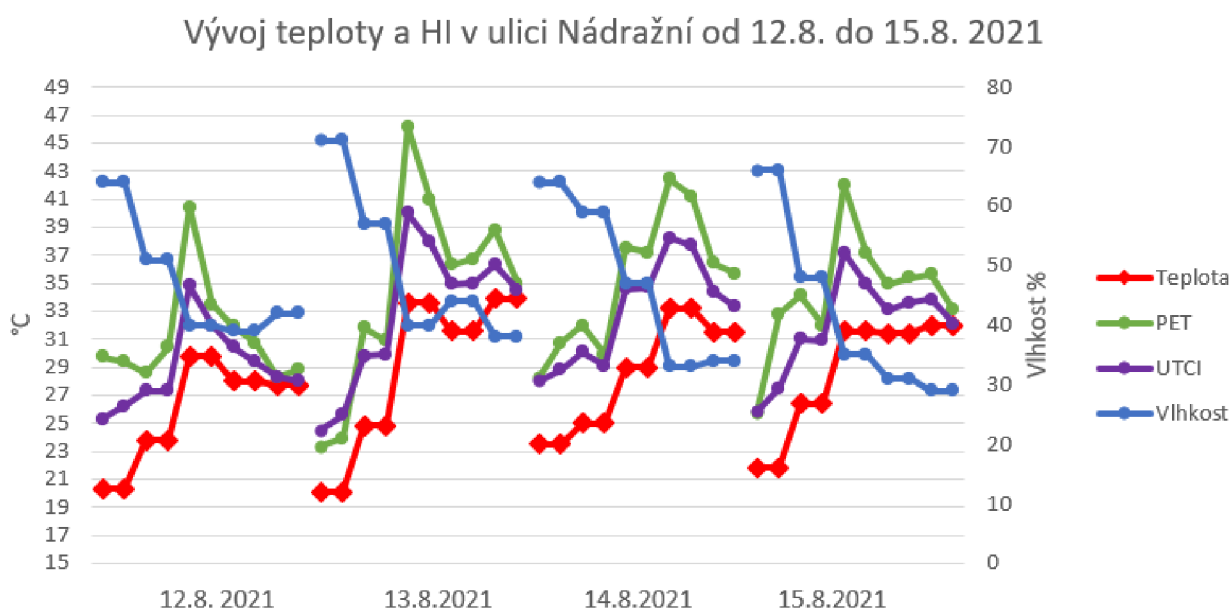
Graf 6: Stan 4 (park u Smíchovské tržnice) a Stan 5 (zahrada Portheimka). Červeně je zobrazena průměrná teplota na stanovišti ve vybraný den, hnědou HI.

Graf 7 ukazuje porovnání indexů PET a UTCI v parku u Smíchovské tržnice se zahradou Portheimka. Dle očekávání vychází vyšší PET i UTCI pro park před tržnicí. Jak je zmíněno u grafu 6, významnou roli bude hrát uzavřenost parku, který je ohraničen keřovitým porostem, a navíc obklopen vysokými budovami. Kdežto zahrada Portheimka je otevřenější a může v ní lépe cirkulovat vzduch, a navíc je níže položená a je v ní více stromů. I přesto je překvapivý rozdíl v nejteplejších dnech měření v polovině srpna, kdy se hodnoty indexů liší i více než 5 °C, což už představuje jinou kategorii výstrahy před tepelným stresem. Nižší stupeň tepelného stresu v zahradě Portheimka může být způsoben větší citlivostí indexu UTCI na vítr.



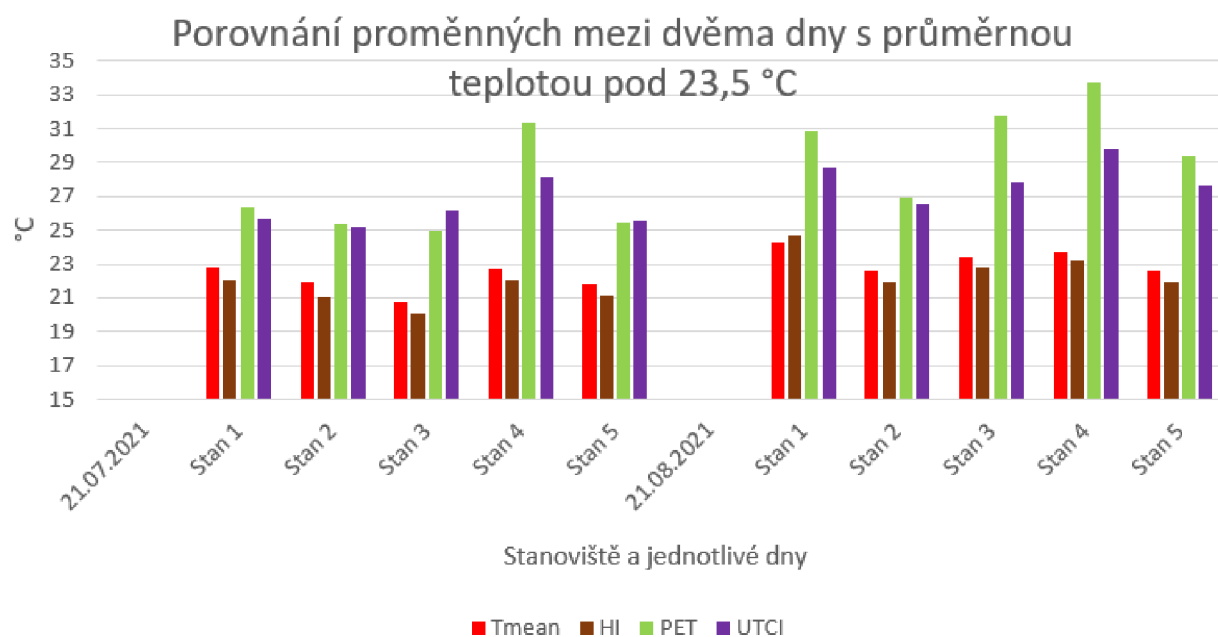
Graf 7: Stan 4 (park u Smíchovské tržnice) a Stan 5 (zahrada Portheimka). Zeleně je zobrazena průměrná hodnota PET indexu na stanovišti ve vybraný den, fialově průměrná hodnota UTCI. Červenou čarou je označena nejnižší hodnota PET pro dosažení silného tepelného stresu. Černá čára zobrazuje nejnižší hodnotu UTCI pro dosažení silného tepelného stresu.

Na grafu 8 je vývoj čtyř ukazatelů v ulici Nádražní ve čtyřech po sobě jdoucích dnech. Tyto dny byly vybrány, protože patřily k teplotně nadstandartním mezi měřenými dny a také jsou dny po sobě jdoucí bez zásahu deště. Z grafu je patrné, že stoupající teplota ovlivňuje oba indexy. V případě překročení teploty 30 °C jde index PET výrazně nahoru. Dne 13. 8. dosáhla naměřená hodnota PET indexu téměř 47 °C, což signalizuje nejvyšší stupeň tepelného stresu. To znamená, že by člověk neměl trávit příliš času na přímém slunci, pravidelně doplňovat tekutiny a tím dodržovat pitný režim.



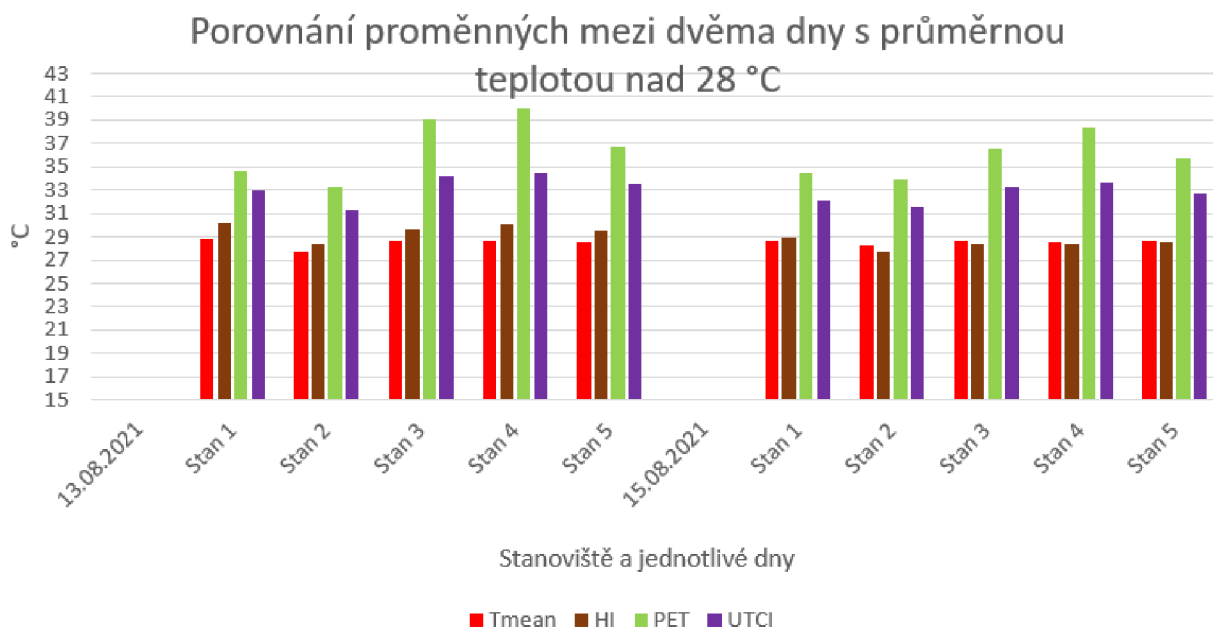
Graf 8: Vývoj teploty od 9:00 do 18:00 na stanovišti 1 ve čtyřech po sobě jdoucích dnech. Každý den má 10 měřených či vypočítaných hodnot. Červeně je označena teplota, fialovou barvou UTCI, zeleně PET index a modrou vlhkost.

Na grafu 9 jsou zobrazeny průměrné hodnoty teplotních ukazatelů na stanovištích ve dvou nejchladnějších dnech měření s průměrnou teplotou nižší než 23,5 °C. Z grafu je patrné, že v případě chladnějších dní se teplota, HI a UTCI mezi stanovišti příliš nemění. Výjimkou je PET index, který je hlavně u stanoviště 4 vysoký a vykazuje rozdíl i 6 °C oproti stanovišti 2. Větší výkyvy PET indexu 21. 8. 2021 jsou pravděpodobně způsobené větší citlivostí indexu na vlhkost vzduchu. Ta byla v průměru za celý den 55 %, kdežto 21. 7. 2021 byla jen 50 %. Mezi ostatními stanovišti nebyl rozdíl v PET indexu významný.



Graf 9: Porovnání všech stanovišť ve dvou dnech, které měly průměrnou teplotu menší než 23,5 °C. Červeně je zobrazena teplota, hnědě HI, zeleně PET a fialově UTCI.

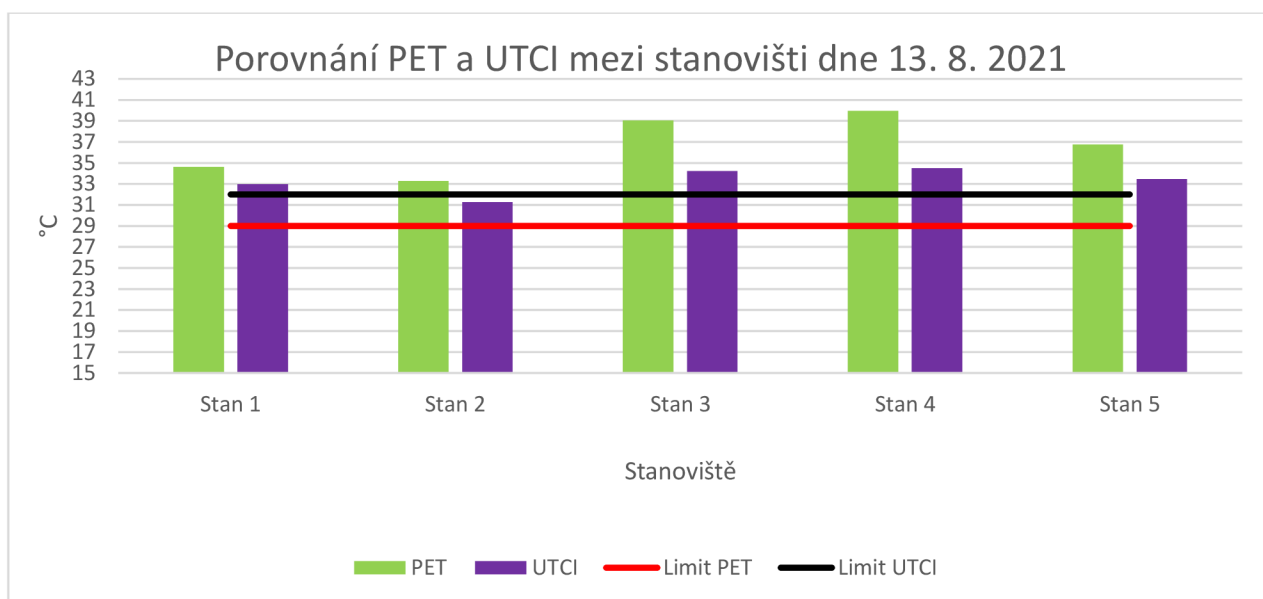
Graf 10 naopak zobrazuje hodnoty indexů pro dva nejteplejší dny, kde průměrná teplota během měření překročila 28 °C. Rozdíly mezi teplotou a HI na jednotlivých stanovištích opět nejsou příliš významné, ale rozdíly mezi PET indexem ano. PET index přesahující hodnotu 31 °C se považuje za extrémní tepelný stres. Ve dvou vybraných dnech byla tato mez na všech stanovištích překročena a na stanovišti 4 byla průměrná hodnota PET 40 °C. Stejně jako na grafu 9 je významný rozdíl v PET indexu mezi stanovištěm 2 a 4.



Graf 10: Porovnání všech stanovišť ve dvou dnech, které měly průměrnou teplotu vyšší než 28 °C. Červeně je zobrazena teplota, hnědě HI, zeleně PET a fialově UTCI.

Na grafu 11 je porovnání PET a UTCI v nejteplejším měřicím dnu. Index UTCI je oproti PET indexu na stanovišti 3 a 4 výrazně nižší. V případě PET indexu a jeho hodnocení kategorie stresu by jedinci neměli vůbec pobývat na slunci a vyhledávat stín. Naopak dle škály UTCI je doporučeno pouhé zvýšené doplňování tekutin a omezení pohybu starších, nemocných lidí na přímém slunci.

Porovnání výsledků na grafech 9, 10 a 11 naznačuje, že s narůstající teplotou se zvyšují rozdíly mezi PET a UTCI. To je nejspíš způsobeno rozdílnými referenčními podmínkami, pro které jsou indexy počítány (viz kapitola 3.2.3).



Graf 11: PET a UTCI dne 13. 8. 2021. Zeleně je zobrazena průměrná hodnota PET indexu na stanovišti, fialově průměrná hodnota UTCI. Červenou čarou je označena nejnižší hodnota PET pro dosažení silného tepelného stresu. Černá čára zobrazuje nejnižší hodnotu UTCI pro dosažení silného tepelného stresu.

6. Diskuse

Ulice Nádražní dosáhla nejvyšší průměrné teploty. Oblast kolem vestibulu metra Anděl, a tedy ulice Nádražní může být nekomfortní z hlediska pocitové teploty a tepelného stresu, který by mohl mít důsledky pro zdraví a pohodu lidí, kteří zde žijí nebo pracují. Pravděpodobně by bylo dobré, aby se na okolí ulice Nádražní zaměřilo místní zastupitelstvo a našlo se efektivní řešení ke snížení tepelného stresu v tomto frekventovaném místě. Ke snížení teploty a ostatních indexů by mohlo pomoci zvětšení ploch zeleně či implementace světlých povrchů chodníků. Většina výsledků mé práce nevyšla podle mých předpokladů. Jediným očekávaným výsledkem, který se mi potvrdil, byla nejvyšší teplota právě ve výše zmíněné ulici Nádražní. Podle pocitu při průběhu měření jsem odhadoval, že nejteplejší stanoviště bude v ulici Nádražní, což potvrdily výsledky mé práce.

Nejchladnějším stanovištěm podle všech čtyř používaných proměnných byla ulice Na Bělidle, kde jsem tento výsledek neočekával. Příčin to může mít hned několik. Důležitou roli zde patrně hraje orientace ulice. Relativně úzká ulice s vysokou zástavbou má západovýchodní orientaci. Sluneční záření dopadá na budovy v severní části a na povrch chodníků a silnice se dostává až kolem třetí hodiny odpolední. To má dle mého názoru značný vliv na teplotu v ulici, která začne přijímat teplo mnohem později než ostatní stanoviště v této práci. Dalším faktorem, který určitě ovlivnil výsledky ulice Na Bělidle je pozice přístroje na měření. Ten byl umístěn na jižní části ulice a slunce na něj svítilo pouze v jednom či dvou případech za celý den. To způsobilo i přes standardizaci dat nižší teploty. V neposlední řadě bych tento neočekávaný výsledek přisoudil i vlivu řeky Vltavy. Ulice začíná u OC Anděl a její konec je u řeky. V průběhu měření jsem Na Bělidle pociťoval mírné proudění vzduchu od řeky, které bylo chladné, a tak jsem se v tomto místě cítil daleko komfortněji než na ostatních stanovištích. Posledním a důležitým faktorem, který by vysvětloval tento neočekávaný výsledek je vliv SVF, který je na obr. 15. Hodnota SVF je 0,32 což znamená vysoké zastínění celého místa, o kterém se zmiňuji výše. Na obr. 15 je k vidění i pohyb slunce v průběhu dne, kde je patrné, že sluneční záření dopadá do celé ulice až v odpoledních hodinách, kdy se slunce dostane do kolmé pozice směrem k ulici Na Bělidle. SVF hraje roli u všech stanovišť a zvláště v odpoledních hodinách může být při nízké hodnotě SVF vyšší tepelná zátěž.

Oproti očekávání vyšlo měření na Smíchovské náplavce. U tohoto stanoviště jsem při výběru trasy předpokládal, že bude jedno z nejchladnějších. Překvapivě byla Smíchovská náplavka ve dvou ukazatelích (PET, UTCI) druhá nejteplejší. Vysvětlení bych hledal především minimálním zastíněním. Obr. 17 a hodnota SVF (0,935) dokazují, že na Smíchovské náplavce u řeky není příliš možností, co by bránilo dopadu slunečního záření na povrch. Naopak u ostatních stanovišť brání dopadu slunečního záření alespoň část dne zástavba či zeleň. U řeky tedy na přístroj celou dobu svítilo slunce a tím výrazně vzrostl PET i UTCI index. V rešeršní části je výpočet PET indexu detailně popsán a odpovídá to výsledkům měření. Podle mého názoru jsou na Smíchovské náplavce vysoké hodnoty těchto dvou indexů právě kvůli vysokým hodnotám SVF.

Zajímavým výsledkem měření na Smíchovské náplavce jsou také vyšší hodnoty pozorované oblačnosti než na ostatních stanovištích. Tento výsledek lze zdůvodnit jediné mým subjektivním pozorováním, které bylo ovlivněno vysokým SVF. Ze stanoviště na Smíchovské náplavce byla vidět podstatně větší část oblohy než na jiných stanovištích, což patrně ovlivnilo můj úsudek o pokrytí oblohy oblačností. Tento výsledek poukazuje na nevýhody subjektivního pozorování oblačnosti, které je výrazně limitováno výhledem na oblohu. Nicméně výsledky měření naznačují, že větší hodnoty oblačnosti zaznamenané na tomto stanovišti výrazně neovlivnily výpočet indexů PET a UTCI v programu RayMan.

Překvapivým výsledkem měření je i nejvyšší hodnota PET indexu v prostoru před Smíchovskou tržnicí, která byla v průměru o skoro 4 °C vyšší než hodnota PET v ulici Nádražní. Nedokážu si moc vysvětlit, proč tomu tak je. Dle mého názoru bude hrát významnou roli okolní prostředí. Před Smíchovskou tržnicí je sice hodně zeleně, ale tato zeleň v podstatě tvoří uzavřený box, který „nevětrá“. V okolí je silnice a vydlážděný chodník, který se nahřívá, a to může způsobit, že je ve výsledku na stanovišti před Smíchovskou tržnicí vyšší tepelná zátěž (PET a UTCI) než v ulici Nádražní, kde není skoro žádná zeleň, ale ulice je více otevřená a cirkuluje v ní vzduch. Jiné vysvětlení k překvapivému výsledku nemám a mohl by to být podnět pro další menší studii.

Porovnání parku u Smíchovské tržnice a zahrady Portheimka vyšlo taktéž proti mému původnímu předpokladu. Vzhledem k umístění Smíchovské tržnice jsem očekával, že

bude chladnější, protože je pouhou jednu ulici od Vltavy. Opak je pravdou a zahrada Portheimka vyšla chladnější. Důvodů pro tento výsledek může být několik. V první řadě si myslím, že hraje roli zmiňovaná „uzavřenost“ parku u Smíchovské tržnice. Portheimka je sice ze všech stran obklopena zástavbou, ale zeleň je volně roztroušená a do zahrady vede několik cest, přes které může, ač nepatrně, proudit vzduch. Dalším faktorem bude plocha pokrytá zelení. Park naproti tržnici je menší než zahrada Portheimka, a tak je v zahradě vyšší zastínění a vyšší odraz slunečního záření což dle mého názoru způsobuje nižší hodnoty všech ukazatelů.

Zajímavé je porovnání tabulek 3 (průměrné hodnoty jednotlivých dnů) a 4 (maximální naměřené/vypočítané hodnoty jednotlivých dnů). V případě průměrných hodnot UTCI se podle obr. 5 pohybuje tepelná zátěž mezi druhým a třetím stupněm rizika. Z toho plynou některá omezení, že by se starší a nemocní lidé neměli příliš pohybovat na slunci a měli by pobývat v budovách či ve stínu. Pokud vezmu v potaz maximální naměřené denní hodnoty, tak se skoro každý den v odpoledních hodinách dostanu k riziku extrémní tepelné zátěže, při které by se nikdo neměl vystavovat fyzické zátěži ve venkovních prostorech a měl by se obecně vyhnout pobytu venku a zdržovat se především ve stínu a v budovách. Domnívám se, že je v našich podmínkách ideální sledovat stránky ČHMÚ, který vydává předpověď pro maximální tepelnou zátěž v daný den.

Myslím si, že v okolí OC Anděl je spousta příležitostí ke snížení městského tepelného ostrova a zároveň ke zlepšení tepelného komfortu lidí. Dle mého názoru by se především měly zanalyzovat chodníky, které jsou většinou tvořeny žulovou dlažbou, která alespoň pocitově silně hřeje a když zapadne slunce, tak naakumulované teplo uvolňuje do okolí. Tomuto problému by se dalo předejít efektivními odrazovými nátěry či úplnou změnou povrchu (Carnielo & Zinzi 2013). Bylo by vhodné doplnit i další plochy se zelení, které vnímají lidé pozitivně a zlepšuje jejich psychickou i tepelnou pohodu (Haaland & Van den Bosch 2015).

7. Závěr

Na Andělu a jeho starší okolní zástavbě se nachází několik odlišných prostředí. Každé z nich má své specifické vlastnosti, které hrají významnou roli při rozdílech v měření a výpočtech indexů. Pokud jsou průměrné teploty pod 23,5 °C, nejsou mezi stanovišti významné rozdíly proměnných s výjimkou PET indexu. Rozdíl mezi teplotou a UTCI indexem je kolem 4 °C. Rozdíl mezi PET indexem a teplotou od 4 °C až po 7 °C.

Při vyšších teplotách nejsou rozdíly mezi stanovišti v teplotě a HI významné. Index UTCI se na jednotlivých stanovištích liší od 1 °C po 3 °C. Index PET vykazuje významné rozdíly mezi stanovišti, které mají rozdíly od 1,5 °C až po 6 °C. Vzhledem ke škále PET indexu, který je rozlišen po šesti stupních, jsou různé stanoviště v jeden den v různých rizicích tepelné zátěže včetně nejvyššího rizika. U indexu UTCI se rizika tepelné zátěže pohybují kolem třetího nejvyššího rizika na zátěžové stupnici UTCI.

Několik faktorů má významný vliv na výpočty indexů. Prvním faktorem je zastínění oblohy – tedy hodnota SVF. Pokud je v dané lokalitě vysoké zastínění, tak pronikne méně slunečního záření k povrchu, což vede k nižším teplotám. Naopak v oblastech s nízkým zastíněním se teploty mohou výrazně zvýšit. Dalším faktorem je zeměpisná orientace ulice, která ovlivňuje dopad slunečního záření na ulici a budovy během dne. Další je zastoupení městské zeleně a povrchy materiálů. Zelené plochy mohou pomoci snížit teploty v okolí tím, že poskytují stín a vypařují vodu. Na druhé straně, povrchy z betonu a asfaltu mohou absorbovat sluneční záření a zvyšovat teploty v okolí. Posledním faktorem je morfologie zástavby. V případě, že je zástavba příliš hustá a orientace ulic neodpovídá převládajícímu směru proudění větru, může způsobit horší ventilaci stanovišť a zvýšené riziko tepelné zátěže v letních dnech.

V současné době je v České republice k dispozici jen omezené množství dat a informací o městském tepelném ostrovu, ale vzhledem k významným dopadům na životní prostředí a zdraví obyvatelstva, by mělo být věnováno této problematice více pozornosti. Vzhledem k tomu, že se klima a podmínky v posledních letech mohou významně měnit, je důležité jev městského tepelného ostrovu sledovat a vyhodnocovat jeho vliv.

Na tuto studii by mohl navázat další výzkum, který by detailněji zhodnotil vliv světlých a tmavých povrchů. Bylo by zapotřebí zmapovat odrazivost povrchů

v historickém centru Prahy a také schopnost akumulovat teplo těchto povrchů. Práce by dále mohla být porovnána s měřením na druhém břehu Vltavy, které probíhalo na obdobném principu. V neposlední řadě by výsledky práce mohly posloužit jako podkladové materiály pro snižování vlivu městského tepelného ostrova na Andělu.

8. Seznam použitých grafů, obrázků a tabulek

Obrázek 1: Zkoumané buňky	7
Obrázek 2: Stupnice heat indexu.....	10
Obrázek 3: Teplotní stupnice PET	11
Obrázek 4: Výpočet UTCI.....	12
Obrázek 5: Kategorie UTCI.....	13
Obrázek 6: Pracovní prostředí programu RayMan.	19
Obrázek 7: Formát vstupních dat do programu RayMan.....	20
Obrázek 8: Pracovní prostředí v programu RayMan při zadávání vstupních dat	21
Obrázek 9: Pracovní prostředí pro vložení a úpravu obrázku, ze kterého je následně vypočítán SVF.....	22
Obrázek 10: Formát výsledků, které vypočítá program RayMan	22
Obrázek 11: Mapa stanovišť	23
Obrázek 12: Stanoviště 1 a 6: Ulice nádražní	24
Obrázek 13: Stanoviště 1 a 6: Ulice nádražní, prostor naproti vestibulu stanice metra Anděl. Pohled z RayMana na zastínění.....	25
Obrázek 14: Stanoviště 2: Střední část ulice Na Bělidle.....	26
Obrázek 15: Stanoviště 2: Střední část ulice Na Bělidle. Pohled z RayMana na zastínění.....	27
Obrázek 16: Stanoviště 3: Smíchovská náplavka	28
Obrázek 17: Stanoviště 3: Smíchovská náplavka. Pohled z RayMana na zastínění ..	29
Obrázek 18: Stanoviště 4: Smíchovská tržnice.....	30
Obrázek 19: Stanoviště 4: Smíchovská tržnice. Pohled z RayMana na zastínění	31
Obrázek 20: Stanoviště 5: Zahrada Portheimka.....	32
Obrázek 21: Stanoviště 5: Zahrada Portheimka. Pohled z RayMana na zastínění. ...	33
Graf 1: Koncentrace ozonu	4
Graf 2: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 2 (ulice Na Bělidle). Porovnání HI a teploty	36
Graf 3: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 2 (ulice Na Bělidle). Porovnání UTCI a PET.	37
Graf 4: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 3 (Smíchovská náplavka). Porovnání HI a teploty.....	38

Graf 5: Stan 1 (ulice Nádražní) a Stan 3 (Smíchovská náplavka). Porovnání UTCI a PET.....	39
Graf 6: Stan 4 (park u Smíchovské tržnice) a Stan 5 (zahrada Portheimka). Porovnání HI a teploty.....	40
Graf 7: Stan 4 (park u Smíchovské tržnice) a Stan 5 (zahrada Portheimka). Porovnání UTCI a PET	41
Graf 8: Vývoj teploty na stanovišti 1 ve čtyřech po sobě jdoucích dnech.....	42
Graf 9: Porovnání všech stanovišť ve dvou dnech, které měly průměrnou teplotu menší než 23,5 °C.....	43
Graf 10: Porovnání všech stanovišť ve dvou dnech, které měly průměrnou teplotu vyšší než 28 °C.....	44
Graf 11: PET a UTCI dne 13. 8. 2021	45
Tabulka 1: Sluneční odrazivost (albedo) jednotlivých povrchů	8
Tabulka 2: Kategorie UTCI	13
Tabulka 3: Průměrné hodnoty vybraných proměnných v jednotlivých dnech měření.	34
Tabulka 4: Maximální hodnoty vybraných proměnných v jednotlivých dnech.	34
Tabulka 5: Průměrné hodnoty vybraných proměnných na jednotlivých stanovištích.	35

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

Akbari, H. et al. (1998): Measured energy savings of light coloured roofs: results for three California demonstration sites. In: ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: Efficiency and Sustainability, vol. 3, pp. 3.1–3.12.

Anderson, G. & Bell M. (2011): Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives*. 2011, 119(2), 210-218. ISSN 0091-6765. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.1002313

Asaeda, T. et al. (1996): Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere, *Atmospheric Environment*, 30 (3), 413-427, ISSN 1352-2310. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5).

Berdahl, P. & BRETZ, S.E. (1997): Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*. 25(2), 149-158. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-7788(96)01004-3

Blazejczyk, K. et al. (2012): Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*. 56(3), 515-535. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-011-0453-2

Boerema, J. (2023): GIMP Help Manual 2.10.34 Released [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.gimp.org/news/2023/03/05/gimp-help-manual-2-10-34-released/>

Bonan, G. B. (1997): *Climatic Change*. 37(3), 449-486. ISSN 01650009. Dostupné z: doi:10.1023/A:1005305708775

Bowler, D. E. et al. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*. 97(3), 147-155. ISSN 01692046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006

Bröde, P. et al. (2012): Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*. 56(3), 481-494. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-011-0454-1

Carnielo E. & Zinzi M. (2013): Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand, *Building and Environment*, Volume 60, Pages 56-65, ISSN 0360-1323. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.004>.

Carrasco-Hernandez, R. et al. (2015): Using urban canyon geometries obtained from Google Street View for atmospheric studies: Potential applications in the calculation of street level total shortwave irradiances. *Energy and Buildings*. 86, 340-348. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.001

Costello, A. et al. (2009): Managing the health effects of climate change. *The Lancet*. 2009, 373(9676), 1693-1733. ISSN 01406736. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(09)60935-1

Crutzen, P. J. (1998): How the atmosphere keeps itself clean and how this is affected by human activities; *Pure Appl. Chem.* 70 1319–1326.

Český hydrometeorologický ústav (2023): Tepelná zátěž lidského organismu [online]. [cit. 28.2.2023]. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/bio/mapy.php?type=UTCI>

Dobrovolný, P. et al. (2012): *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Masarykova univerzita, Brno. 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.

Doulos, L. et al. (2004): Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*. 77(2), 231-249. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2004.04.005

Epstein, Y. & Moran, S.D. (2006): Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*. 44(3), 388-398. ISSN 0019-8366. Dostupné z: doi:10.2486/indhealth.44.388

Fiala, D. et al. (2012): UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*. 56(3), 429-441. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-011-0424-7

Ghosh, S. & Das A. (2018): Modelling urban cooling island impact of green space and water bodies on surface urban heat island in a continuously developing urban area. *Modeling Earth Systems and Environment*. 4(2), 501-515. ISSN 2363-6203. Dostupné z: doi:10.1007/s40808-018-0456-7

Görög, V. (2020): Zhodnocení tepelné zátěže v městském prostředí – studie pro Neratovice. Praha. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita. Vedoucí práce doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

Haaland Ch. & Van den Bosch K. C. (2015): Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 14, Issue 4, Pages 760-771, ISSN 1618-8667. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>.

Havenith, G. et al. (2012): The UTCI-clothing model. *International Journal of Biometeorology*. 2012, 56(3), 461-470. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-011-0451-4

Hekkenberg, M. et al. (2009): Indications for a changing electricity demand pattern: The temperature dependence of electricity demand in the Netherlands. *Energy Policy*. 37(4), 1542-1551. ISSN 03014215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2008.12.030.

Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*. 43(2), 71-75. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s004840050118

In-počasí (2013): Pocitová teplota, nespolehejte jen na teploměr [online]. InMeteo s.r.o. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/pocitova-teplota>.

Chang, Chi-Ru et al. (2007): A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*. 80(4), 386-395. ISSN 01692046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2006.09.005

Chapman, L. & Thornes, J. E. (2004): Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(5), 730-741.

Cheng, V. et al. (2005): Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*. 2005, 78(4), 528-534. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2004.05.005

Kántor N. (2016): Differences between the evaluation of thermal environment in shaded and sunny position. *Hungarian Geographical Bulletin*. 65. 139-153. 10.15201/hungeobull.65.2.5.

Lehnert, M. et al. (2021): Summer thermal comfort in Czech cities: measured effects of blue and green features in city centres. *International Journal of Biometeorology*. 65(8), 1277-1289. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-020-02010-y

Liang, J. et al. (2017): A customizable framework for computing sky view factor from large-scale 3D city models. *Energy and Buildings*. 149, 38-44. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2017.05.024

Mackey, Ch. W. et al. (2012): Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*. 2012, 49, 348-358. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.004

Mapy.cz (2021): Mapa ČR [online]. Seznam.cz [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>.

Matzarakis, A. et al. (2007): Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.

Matzarakis, A. et al. (2010): Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 54(2), 131-139. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-009-0261-0

McPherson, E. et al. (2011): Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape and Urban Planning*. 2011, 99(1), 40-50. ISSN 01692046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2010.08.011

Moran, D. S. et al. (1998): A physiological strain index to evaluate heat stress. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 275(1), R129-R134. ISSN 0363-6119. Dostupné z: doi:10.1152/ajpregu.1998.275.1.R129

National Weather Service (2022): What is the heat index [online]. National Weather Service [cit. 2022-09-23]. Dostupné z: <https://www.weather.gov/ama/heatindex>.

Oke, T.R. (1989): The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*. 324(1223), 335-349. ISSN 0080-4622. Dostupné z: doi:10.1098/rstb.1989.0051

Oke, T. R. et al. (1991): Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology* [online]. 56(4), 339-358 [cit. 2021-12-26]. ISSN 0006-8314. DOI:10.1007/BF00119211.

Pantavou, K. (2011): Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens. *Building and Environment*. 46(2), 339-344. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2010.07.026

Pappenberger, F. et al. (2015): Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*. 59(3), 311-323. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-014-0843-3

Rožnovský et al. (2019): Extrémny počasí, jejich dopady a bezpečností rizika, Sborník příspěvků z mezinárodní konference. ISBN 978-80-87577-96-7

Santamouris, M. (2015): Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of The Total Environment*. 512-513, 582-598. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.060.

Santamouris, M. et al. (2015): On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*. 98, 119-124. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2014.09.052.

Santamouris, M. et al. (2017): Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects, *Solar Energy*, 154, 14-33, ISSN 0038-092X. Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006>.

Sharafkhani R et al. (2018): Physiological Equivalent Temperature Index and mortality in Tabriz (The northwest of Iran), *Journal of Thermal Biology*, Volume 71, Pages 195-201, ISSN 0306-4565. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.11.012>.

Stathopoulou, E. et al. (2008): On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*. 2008, 117(3), 227-236. ISSN 0253-4126. Dostupné z: doi:10.1007/s12040-008-0027-9

Synnefa, A. et al. (2006): A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*. 80(8), 968-981. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2005.08.005

Synnefa, A. et al. (2007): On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Solar Energy*. 81(4), 488-497. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2006.08.005

Takebayashi, H. & Moriyama, M. (2007): Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*. 42(8), 2971-2979. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2006.06.017

Unger, J. (2009): Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution*. 36(1/2/3). ISSN 0957-4352. Dostupné z: doi:10.1504/IJEP.2009.021817

Vésier, C., 2022. Social inequalities in heat-related mortality. Diploma thesis. Czech University of Life Sciences in Prague.

Walther, E. & Goestchel, Q. (2018): The P.E.T. comfort index: Questioning the model. *Building and Environment*. 137, 1-10. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2018.03.054

Wang, Ch. et al. (2021): Cool pavements for urban heat island mitigation: A synthetic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 146, 111171, ISSN 1364-0321, Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111171>

Wolf, K. L. (2005): Business District Streetscapes, Trees, and Consumer Response, *Journal of Forestry*, 103 (8), 396–400.

Yang, L. et al. (2016): Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*. 169, 11-18. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2016.10.002

Zeng, L. et al. (2018): A fast approach for large-scale Sky View Factor estimation using street view images. *Building and Environment*. 135, 74-84. ISSN 03601323. Dostupné z: [doi:10.1016/j.buildenv.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.009)

Zhu, S. et al. (2013): Influence of sky temperature distribution on sky view factor and its applications in urban heat island. *Int. J. Climatol.*, 33, 1837-1843. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/joc.3660>