

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



**Vliv Sky View Factoru na biometeorologické
podmínky v centru města**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Diplomant: Bc. Lucie Chlapcová

Vedoucí práce: Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lucie Chlapcová

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Vliv Sky View Factoru na biometeorologické podmínky v centru města

Název anglicky

Vliv Sky View Factoru na biometeorologické podmínky v centru města

Cíle práce

Výsledky předchozích prací prokázaly vliv meteorologických podmínek a vlastností stanovišť na míru tepelné zátěže lidského organismu. Jako zásadní pro snížení tepelné zátěže v ulicích se ukázala přítomnost zeleně a míra zastínění stanoviště. Klíčovou proměnnou pro určování množství dopadajícího slunečního záření na stanoviště je tzv. Sky View Factor (SVF) – ukazatel vyjadřující podíl viditelné oblohy z celkové plochy ideální nebeské klenby se středem v místě pozorovatele.

Metodika

Cílem práce bude seznámit se s tímto ukazatelem v rámci rešerše odborné literatury a zmapovat možnosti jeho získání v rámci terénních měření. V praktické části práce bude cílem provést měření meteorologických podmínek na okruhu v okolí Karlova náměstí a získat fish-eye fotografie stanovišť. Z těchto dat budou v programu RayMan Pro spočítány pokročilé indexy tepelné zátěže (PET a UTCI) a SVF pro jednotlivá stanoviště. Díky tomu bude možné podrobněji vyhodnotit podmínky na měřicích stanovištích a kvantifikovat jejich závislost na zastínění.

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

tepelná zátěž, sky view factor, klima měst

Doporučené zdroje informací

- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* 54, 131–9. doi:10.1007/s00484-009-0261-0
- Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M., Roth, M., 2018. Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Clim.* 25, 120–134. doi:10.1016/j.uclim.2018.05.004

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 6. 3. 2023**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2023**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2023

Prohlášení

Potvrzuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv Sky View Factoru na biometeorologické podmínky v centru města vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji 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 vědoma, 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 dne

.....

Lucie Chlapcová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce Mgr. Aleši Urbanovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotu při zpracování diplomové práce.

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Vliv geometrie města na městský tepelný ostrov	1
1.2	Sky View Factor	2
1.2.1	Analytické algoritmy	4
1.2.2	Fotogrammetrie rybího oka	5
1.2.3	Aproximace ze signálu GPS	6
1.2.4	Software metody	7
1.2.5	Získávání dat pomocí Google Street View	8
1.3	Biometeorologické podmínky ve městě	8
2	Data a metody	11
2.1	Popis lokality	11
2.1.1	Jednotlivá stanoviště.....	13
2.2	Sledované biometeorologické indexy	20
2.2.1	Heat index.....	21
2.2.2	Wet-Bulb Globe Temperature	22
2.2.3	Physiological Equivalent Temperature.....	22
2.2.4	Universal Thermal Climate Index	23
2.3	Výpočet SVF v RayMan Pro.....	26
2.4	Výpočet PET a UTCI	28
2.5	Analýza naměřených hodnot	30
3	Výsledky	31
3.1	Rozdíly v charakteru počasí mezi jednotlivými dny	31
3.1.1	Nejteplejší den z hlediska Heat indexu a WBGT	33
3.1.2	Nejteplejší den z hlediska PET	33

3.1.3	Nejteplejší den z hlediska UTCI.....	34
3.1.4	Překročení limitů tepelného stresu u biometeorologických indexů 35	
3.2	Závislost mezi SVF a vybranými biometeorologickými prvky	40
3.2.1	Přímé indexy – HI a WBGT	41
3.2.2	Racionální indexy	49
4	Diskuze	56
4.1	Vyhodnocení rozdílů v charakteru počasí mezi jednotlivými dny ...	56
4.2	Vliv SVF na biometeorologické podmínky.....	57
5	Závěr.....	61
6	Literatura.....	62
6.1	Odborné publikace	62
6.2	Internetové zdroje.....	66
6.3	Ostatní zdroje	66
7	Seznam obrázků	67
8	Seznam tabulek	71

Zkratky

MTO – městský tepelný ostrov

SVF – Sky View Factor

WFV – Wall View Factor

DOP – Dilution of precision

DMT – digitální model terénu

GSV – Google Street View

HI – Heat Index

WBGT – Wet-Bulb Globe Temperature

PET – Physiological Equivalent Temperature

Tmrt – The Mean Radiant Temperature

UTCI – Universal Thermal Climate Index

Abstrakt

Oblast, která sahá od pravého břehu Vltavy až ke Karlovu náměstí, bývá jedním z nejvyhledávanějších letních míst v centru Prahy. Rašínovo náměstí též nazývané Náplavka je vyhledávaným místem zejména díky řadě společenských a kulturních akcí, které se zde pořádají. Vzhledem k severojižní orientaci koryta Vltavy, nedostatku zeleně a stínu se nabízí otázka, do jaké míry jsou v horkých letních dnech tepelné podmínky na Náplavce příjemné.

Výsledky předchozích prací prokázaly vliv meteorologických podmínek a vlastností stanovišť na míru tepelné zátěže lidského organismu. Jako zásadní pro snížení tepelné zátěže v ulicích se ukázala přítomnost zeleně a míra zastínění stanoviště. Klíčovou proměnnou pro určování množství dopadajícího slunečního záření na stanoviště je tzv. Sky View Factor – ukazatel vyjadřující podíl viditelné oblohy z celkové plochy ideální nebeské klenby se středem v místě pozorovatele.

Cílem této studie je porovnat biometeorologické podmínky a vliv zastínění na osmi měřících místech rozmístěných v okruhu mezi Karlovým náměstím a Náplavkou. Meteorologické parametry (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru, Heat Index, Wet-Bulb Globe Temperature) byly měřeny a zaznamenávány pomocí přenosného přístroje Kestrel 5400 každé dvě hodiny mezi 9:00 a 18:00 SELČ ve dvou dnech v roce 2021 a v pěti dnech v roce 2022. Pro vyhodnocení Sky View Factoru byly pořízeny fotografie pomocí objektivu rybí oko. Z těchto dat byly v programu RayMan Pro spočítány pokročilé indexy tepelné zátěže (PET, UTCI) a také SVF pro jednotlivá stanoviště. Díky tomu bylo možné podrobněji vyhodnotit podmínky na měřících stanovištích a kvantifikovat jejich závislost na zastínění.

Výsledky studie ukázaly rostoucí závislost mezi naměřenými hodnotami jednotlivých indexů a hodnotami SVF (které představují zastínění budovami, stromy nebo jinými překážkami).

Klíčová slova: Sky View Factor, městský tepelný ostrov, UTCI, PET, Heat Index, Wet – Bulb Globe Temperature, tepelný stres

Abstract

The area that reaches from the right bank of the Vltava River to Charles Square is one of the most popular places to visit during summer in the Prague city centre. The riverbank part, called Náplavka, is an especially popular location due to many social and cultural events that take place there. However given the north-south orientation of the Vltava riverbed, in addition to lack of greenery and shade on the riverbank, the question arises as to what extent thermal conditions are comfortable during hot summer days at Náplavka.

The results of previous works have showed the influence of meteorological conditions and habitat properties on the level of thermal stress on the human body. The presence of greenery and the degree of shading of the measurement sites proved to be essential for reducing the heat load in the streets. The variable for determining the amount of solar radiation falling on a site is the so-called Sky View Factor – an indicator expressing the share of the visible sky from the total area of the ideal sky with the center at the observer's location.

The aim of this study is to compare the biometeorological conditions and the effect of shading at eight measuring sites located along a path loop between Charles Square and the Náplavka riverbank. Meteorological parameters (including air temperature, relative humidity, wind speed, Heat Index, Wet-Bulb Globe Temperature) were measured and recorded, using a Kestrel 5400 portable tool, every two hours between 9:00 a.m. and 6:00 p.m. CEST on two days during summer 2021 and in five days during summer 2022. To evaluate the Sky View Factor, photographs were taken using a fisheye objective. From these data, advanced heat load indices (PET, UTCI) as well as SVF for individual measurement sites were calculated in the RayMan Pro program. Thanks to this, it was possible to evaluate the conditions at the measuring stations in more detail and to quantify their dependence on shading.

The results of the study showed an increasing dependence between the measured values of the individual indices and the SVF values (which represent shading by buildings, trees or other obstacles).

Key words: Sky View Factor, Urban Heat Island, UTCI, PET, Heat Index, Wet – Bulb Globe Temperature, Heat Stress

1 Úvod

1.1 Vliv geometrie města na městský tepelný ostrov

Městský tepelný ostrov (MTO) je jedním z aktuálních problémů, s nimiž se lidé potýkají v důsledku urbanizace a industrializace. Více než polovina světové populace v současnosti žije ve městech a očekává se, že její počet v nadcházejících desetiletích rychle poroste, přičemž každý třetí člověk bude bydlet ve městě s počtem obyvatel alespoň 500 000. Z tohoto důvodu je možné na tento problém nahlížet jako na problém celosvětový, který ohrožuje fungování obyvatel měst a jeho ekosystémů. Výrazně ovlivňuje lidský komfort a lidské zdraví (zvýšená úmrtnost související s teplem a znečištěním ovzduší), dále hospodaření s energiemi a také městské plánování (Jabbar a kol. 2022).

MTO lze charakterizovat jako jev, kdy teplota ve městě je v důsledku rostoucího zastoupení umělých povrchů, které v městských oblastech zachycují teplo (např. dlažby, asfaltové silnice, kovové střechy), na úkor vegetace vyšší, než teplota na venkově (Jabbar a kol. 2022). Materiály jako asfalt, beton a cihla mají větší tepelnou vodivost než půda a vegetace, proto dochází k větší akumulaci slunečního záření během dne a jeho pozdějšímu emitování v noci ve formě tepla. Vliv na oteplení městského prostředí mají i vysoké budovy, které způsobují vícenásobné odrazení slunečního záření. Tím dochází ke snížení množství odraženého slunečního záření zpět do prostoru a výsledkem je větší dostupné množství tepla pro ohřev vzduchu nad městem. Dalším problémem ve městě je snížený výpar, protože dešťová voda se kvůli nepropustnému povrchu nevsakuje do půdy, ale odtéká ihned po dešti do kanalizací. Díky řídké vegetaci je ve městě snižena i evapotranspirace. Vyšší teploty v městském prostředí způsobují také tzv. odpadní teplo, které vzniká z vysoké koncentrace tepelných zdrojů (tj. například auta, průmysl, ve městech s vyšším počtem obyvatel klimatizace) (Moran a Morgan 1989; Rohli a Vega 2018).

MTO má vliv na lokální meteorologii města, ovlivňuje vlhkost, srážky, vítr, vytváření oblačnosti ale i kvalitu vody. Zvyšuje se intenzita vln veder i jejich trvání, což má negativní vliv na zdraví obyvatel. Extrémní teploty způsobují únavu zaměstnanců a tím se snižuje i jejich produktivitu práce. Ohřáté dešťové vody od vyhřátých střech a chodníků se dostávají do kanálů a výsledkem je zvýšená teplota potoků, řek ale i rybníků. Vysoké teploty ve městě mají vliv také na nemocnost

a úmrtnost obyvatel, hlavně starších lidí a lidí s kardiovaskulárními nebo chronickými respiračními onemocněními (Miller a kol. 2009; Vacek a kol. 2018).

V zastavěných oblastech byla dokumentována průměrná roční rychlost větru o 20-30 % nižší, maximální rychlost větru o 10-20 % nižší a četnost bezvětří je o 5-20 % vyšší než v nezastavěných oblastech. Rychlosti větru ve městě jsou oproti nezastavěným oblastem nižší, protože proudění vzduchu v uličním kaňonu je ovlivňováno uspořádáním budov a jejich výškou. V uličních kaňonech ale mohou vznikat i silné místní větry. Ty jsou důsledkem trychtýřovitého stlačení proudnic větru ve zúženém prostoru ulic (Rohli a Vega 2008).

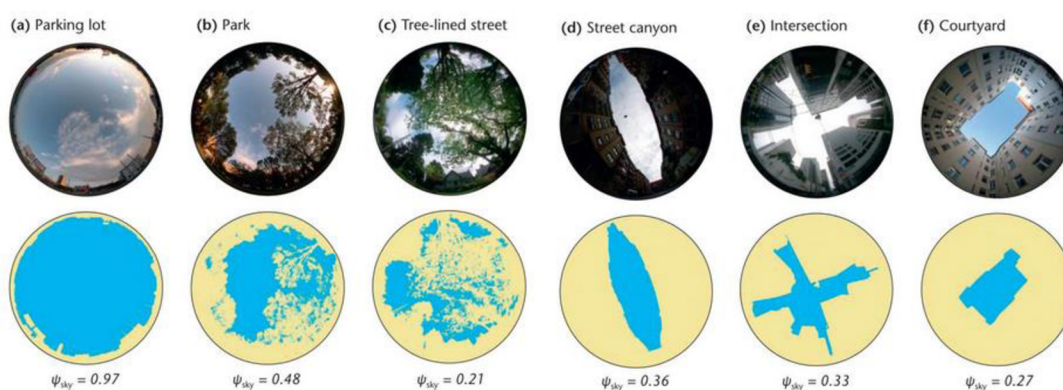
Atmosféru městského prostředí lze rozdělit na mezní vrstvu atmosféry (urban boundary layer – UBL) a vrstvu městského zápoje (urban canopy layer – UCL). UBL sahá do výšky 1-1,5 km ve vertikálním směru od hranice UCL, a nad městskými oblastmi dosahuje největší tloušťky. Dochází v ní k procesům tření o zemský povrch nebo k procesům turbulentního míchání. UCL sahá od zemského povrchu ke střešám budov nebo k vrcholům stromů (Dobrovolný a kol. 2012, Oke a kol. 2017).

Geometrické charakteristiky městského povrchu, jako je výška budovy, šířka kaňonu ulice nebo prostory mezi budovami mají významný vliv na městské klima (Zhu a kol. 2013). Ovlivňují množství dopadajícího záření na zemský povrch a následně také množství emitovaného tepelného záření v noci. Tyto charakteristiky lze kvantifikovat pomocí parametrů, jako jsou například poměr výšky budov k šířce uličního kaňonu (tzv. height-to-width ratio) nebo Sky View Factor (SVF). Vhodnějším parametrem z těchto dvou je SVF, protože lépe popisuje komplexní městské prostředí (Unger 2009).

1.2 Sky View Factor

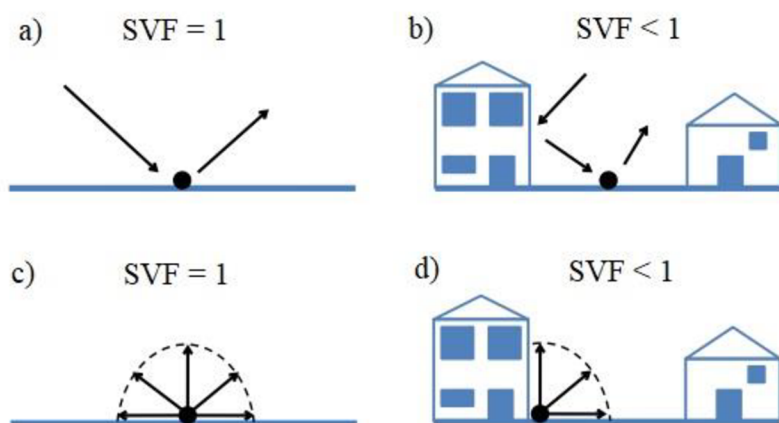
Oke (1981) byl první, kdo použil SVF k posouzení efektu MTO v městském prostředí. Definoval ho jako poměr záření přijatého (či vyzařovaného) povrchem prostředí z oblohy k záření vyzařovaného (či přijímaného) celou hemisférou. Zjednodušeně lze říct, že SVF vyjadřuje poměr otevřené oblohy, kterou lze vidět z určitého místa, k celkové obloze, která by byla viditelná bez okolních budov a jiných překážek (např. stromy, lampy, sloupy aj.) (Miao a kol. 2019).

SVF se vyjadřuje jako bezrozměrná hodnota, která se pohybuje od 0 do 1, kde 0 znamená, že obloha je zcela zakryta překážkami, zatímco 1 znamená zcela otevřenou oblohu (obr. 1) (Dirksen a kol. 2019). Jde o klíčový faktor ovlivňující aspekty městského prostředí, jako je povrchová tepelná bilance, znečištění vzduchu nebo mikroklima. Právě proto se používá k výzkumu MTO, tepelného komfortu nebo při městském plánování (Miao a kol. 2019). Určuje se pro konkrétní bod v prostoru, tj. – udává míru, jak je obloha otevřena radiačnímu transportu vzhledem ke konkrétnímu místu. V otevřeném terénu (tzn. SVF=1) krátkovlnné záření dosáhne povrchu, aniž by bylo blokováno (obr. 2–a). Naopak ve složitějším terénu (tzn. SVF je nižší než hodnota 1) hrají roli odrazy od překážek (obr. 2–b). Dlouhovlnné záření se v otevřeném terénu odrazí do všech směrů (obr. 2–c), zatímco ve složitějším terénu (např. v městském prostředí) jsou limitujícím faktorem budovy a dochází zde k absorpci tohoto záření (obr. 2–d) (Hämmerle a kol. 2011).



Obr. 1: Fotografie získané pomocí objektivu rybího oka v městských lokalitách. Zobrazení různých hodnot SVF (ψ_{sky}) - a) parkoviště - $\psi_{sky} = 0,97$, b) park - $\psi_{sky} = 0,48$, c) ulice lemovaná stromy - $\psi_{sky} = 0,21$, d) uliční kaňon - $\psi_{sky} = 0,36$, e) křižovatka - $\psi_{sky} = 0,33$, f) nádvoří - $\psi_{sky} = 0,27$ (Oke a kol. 2017).

V městských oblastech s nižší hodnotou SVF dochází k ochlazení prostředí pomaleji, protože obloha je zakryta budovami, čímž dochází k uvěznění dlouhovlnného záření. Úzké uličky a vysoké budovy hrají důležitou roli při regulaci tepelných ztrát dlouhovlnným zářením. Kvůli skutečnosti, že z povrchu městského prostředí je vidět pouze menší část oblohy dochází k omezení emitování dlouhovlnného záření (Unger 2009).



Obr. 2: Záření v otevřeném prostoru nebo v uličním kaňonu. a) Krátkovlnné záření v otevřeném prostoru, b) krátkovlnné záření v uličním kaňonu, c) dlouhovlnné záření v otevřeném prostoru, d) dlouhovlnné záření v uličním kaňonu (Dirksen a kol. 2019).

Existuje několik možností, jak Sky view factor vypočítat. Unger (2009) ve své studii uvádí stručný přehled metod, které se při studii městského prostředí používají. Tyto metody jsou klasifikovány takto:

- analytické algoritmy,
- fotogrammetrie rybího oka,
- aproximace ze signálu GPS,
- software metody (Unger 2009).

1.2.1 Analytické algoritmy

Analytické algoritmy se používají v případě jednoduchých a symetrických kaňonů. Vstupním parametrem pro výpočet SVF jsou úhly vymezené vrcholy budov, tzn. závislost na poměru výšky budov a šířky uličního kaňonu (Oke 1981). Jeden ze vzorců uvedl Oke (1981):

$$\psi_s = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{H}{0.5W}\right)\right),$$

kde H představuje výšku budovy (Oke 1981).

Byl také odvozen vzorec, který umožňuje výpočet z SFV pro nesymetrické uliční kaňony konečné délky. Výpočet je založen na určení tzv. Wall View Factoru (WVF) dle následujícího vzorce (Johnson a Watson 1984):

$$\psi_W = \frac{1}{2\pi} \{(\gamma_2 - \gamma_1) + \cos\beta \cdot [\tan^{-1}(\cos\beta \cdot \tan\gamma_1) - \tan^{-1}(\cos\beta \cdot \tan\gamma_2)]\}$$

Členy γ_1 a γ_2 jsou azimutové úhly – respektive úhly mezi nejbližším a nejbzdálenějším koncem překážky, β je úhel elevace. Součet hodnoty SVF a WVF se rovná 1 (Johnson a Watson 1984).

$$\psi_S = 1 - \psi_W$$

1.2.2 Fotogrammetrie rybího oka

Metoda fotogrammetrie rybího oka odvozuje SVF z fotografie pořízené při pohledu vzhůru k obloze čočkou rybího oka. Výška, ze které se fotografie pořizují, se v rámci studií liší: na úrovni terénu, ve výšce 1 m, ve výšce 1,2 m nebo ve výšce měřicího zařízení (Miao a kol. 2019).

Tuto metodu ve své studii použili např. Hämmerle a kol. (2011). SVF ze snímků rybího oka na úrovni terénu následně vyhodnocovali třemi způsoby:

1) **Steynova metoda implementovaná ve skriptu ArcView** – obrázek pořízený pomocí objektivu rybího oka se překryje polární mřížkou, která rozděluje snímek na několik mezikruží. Je nutné ručně vyznačit hranici překážek a následně určit úhel výhledu pro jednotlivá mezikruží. Přesnost metody závisí na jemnosti dělení jednotlivých mezikruží soustřednými paprsky, které jsou kolmé na obrysy mezikruží. S rostoucí jemností polární sítě však roste pracnost a časová náročnost metody, proto je vhodné tuto metodu zautomatizovat – na základě tohoto postupu byl vytvořen algoritmus pro program ArcView (Hämmerle a kol. 2011).

2) **Vyhodnocení SVF v aplikaci RayMan** – pořízený obrázek je nutné nejprve oříznout na čtverec a následně ho uložit jako bitmapový soubor. Následně je vyhodnocování SVF založeno na rozlišení bílých a barevných pixelů samostatného obrázku – bílé pixely se počítají jako volná obloha a všechny ostatní jsou považovány jako překážky. Uživatel má možnost výběr pixelů manuálně upravovat. Aby nedošlo ke zkreslení výsledku, je nutné oříznout okna na budovách, ve kterých se odráží obloha – software by automaticky označil i tyto pixely jako oblohu (Hämmerle a kol. 2011).

3) **BMSKyView** – tento software obarví všechny pixely, které mají stejnou barvu jako manuálně označený pixel. Je potřeba stanovit prahovou hodnotu, aby se neoznačily nějaké pixely navíc. Uživatel musí označit všechny pixely oblohy, avšak musí opět dávat pozor na odraz oblohy v oknech. Proto je nutné stejně jako v RayManovi okna oříznout. Označené pixely se následně použijí pro výpočet SVF, který je založený na Steynově metodě (Hämmerle a kol. 2011).

Tato metoda je vhodná zejména pro městskou oblast, kde se nachází budovy různých velikostí a nepravidelných tvarů nebo vegetace. Na rozdíl od ostatních metod lze kvůli fotografiím získat přesné SVF. Existují ovšem i nevýhody, kterými je např. časová náročnost nebo vliv oblačnosti na výpočet (Chen a kol. 2012).

1.2.3 Aproximace ze signálu GPS

Metodou aproximace ze signálu GPS se ve své studii zabývali Chapman a kol. (2002). Tato metoda byla vyvinuta k okamžitému odhadu SVF v místě pozorovatele získáváním dat družicové viditelnosti pomocí přijímače GPS. Metoda byla založena na vícenásobných regresních rovnicích stanovených na základě počtu viditelných satelitů (satelit ze kterého lze přijímat signál, ostatním satelitům tomu brání stromy nebo budovy), Dilution of precision (DOP) – koeficient představující chybu určení polohy uživatele na povrchu země (Mironovova a Havliš 2011), a síly satelitního signálu. DOP se počítá na zařízení GPS. Běžně se dělí na horizontální a vertikální složky a uvádí se jako hodnota mezi 1–10 (kdy 1 je optimální řešení). Nižší hodnoty DOP představují vyšší kvalitu dat a obvykle jich lze dosáhnout, pokud jsou satelity umístěny blízko u sebe (Chapman a kol. 2002).

Chapman a Thornes (2004) tuto metodu dále vyvíjeli a dosáhli stavu s dobou zpracování dat pro výpočet SVF v čase jedné sekundy včetně použití na mobilních platformách. Výpočet je založen na počtu sledovaných satelitů, počtu viditelných satelitů a poměru signálu k šumu (uvádí se jako hodnota mezi 1–10, kdy vyšší číslo znamená optimálnější řešení). Tato metoda dokáže realizovat výpočet SVF a aproximace v reálném čase pomocí čočky rybího oka v mobilní platformě.

GPS metoda je díky své rychlosti a cenové dostupnosti uživatelsky přitažlivější než jiné metody. Další výhodou vůči např. fotografickým metodám je nezávislost na atmosférických podmínkách a možnost propojení s GIS. Nevýhodou

této metody je její nižší přesnost, která záleží na konkrétním použitém polohovacím systému, a její omezení použití pouze v městských oblastech (Chapman a kol. 2002).

1.2.4 Software metody

Software metody se používají k odhadu SVF v městském prostředí pomocí digitálního mapování a počítačů. Tyto metody poskytují rychlé výpočty SVF napříč rozsáhlým oblastem na základě městského morfologického modelování a výpočetní geometrie. 3DSky View a ArcView SVF používají 3D databázi budov založenou na GIS a rekonstruují městskou strukturu. SkyHelios, SVSEngine a Muñozova metoda vytváří virtuální snímky rybiho oka z 3D modelů měst nebo ze snímků street view a z nich poté vypočítá SVF (Miao a kol. 2019).

1) **3DSky View** – tento software pro výpočet SVF pomocí 3D Analyst v ArcView GIS použil ve své studii např. Unger (2009). K výpočtu SVF v této 3D rovině se používají 3D modely terénu (digitální model terénu). Počítá se poměr plochy viditelného nebe nad pozorovacím bodem a celkové plochy nebe nad pozorovacím bodem, která je omezena budovami (Unger 2009).

2) **ArcView SVF** – používá se k odhadu SVF pomocí vektorové databáze 3D budov. Z této databáze je vytvořen soubor bodů a pro každý souřadnicemi jasně definovaný bod je proveden výpočet SVF. V horizontální rovině jsou hledány průsečíky mezi budovami a čarou vedenou ze sledovaného bodu, která je vedena postupně pod různým úhlem. Data o výšce budovy jsou v souboru bodů a pro výpočet SVF je využita poloha čáry protínající budovu v nejvyšším bodě (Miao a kol. 2019). Ve své studii tuto metodu pro výpočet SVF použili např. Cheung a kol. (2016).

3) **SOLWEIG** – výpočet SVF v tomto modelu probíhá na základě algoritmu vrhání stínů, který navrhli Ratti a Richens (1999). V SOLWEIG se nad danou budovu v městském prostředí umístí světelný zdroj, který vytváří virtuální stín a na základě toho se vypočítá SVF (Hämmerle a kol. 2011). Ve své studii ho použili např. Hämmerle a kol. (2011).

4) **SkyHelios model** – tento model nabízí širokou škálu funkcí a možností upravovat celou sadu parametrů pro výpočet SVF. Jako vstupní data lze použít vektorová i rastrová data. SkyHelios funguje podobným způsobem

jako RayMan – nejprve se na základě 3D vstupu pro každý pozorovací bod vygeneruje obrázek rybiho oka a následně je vyhodnocen stejně jako v RayManu (Hämmerle a kol. 2011, Chen a kol. 2012). Ve své studii ho použili např. Hämmerle a kol. (2011).

5) **SVFEngine** – tato metoda pracuje s virtuálně vytvořeným snímkem rybiho oka pořízeným ve 3D modelu města. Přesnost této metody závisí na dostupnosti a podrobnosti 3D modelu města (Miao a kol. 2019). Tuto metodu ve své studii představuje např. Liang a kol. (2017).

6) **Munozova metoda** – Muñoz a kol. (2018) ve své studii navrhli novou metodu pro výpočet SVF. Metoda spočívá v použití digitálního modelu terénu (DMT) a výpočtu úhlu obzoru pro každý pixel v daném místě. Muñozova metoda je považována za přesnou a efektivní metodu pro výpočet SVF. Avšak kvůli náročnosti výpočtu úhlu obzoru pro každý pixel v DMT je pro velké oblasti časově náročná (Muñoz a kol. 2018).

Výše zmíněné metody jsou vhodné zejména pro urbanistickou analýzu, kde je potřeba kvantifikovat různé budovy, překážky nebo vegetace (Miao a kol. 2019).

1.2.5 Získávání dat pomocí Google Street View

Nedávno byla vyvinuta další metoda, která využívá panoramatické snímky ulic – např. z Google Street View (GSV), k reprezentaci geometrie uličního kaňonu a odhadu SVF. Tato metoda demonstruje vysokorychlostní a rozsáhlou simulaci SVF, která využívá volně dostupné a geograficky rozsáhlé zdroje dat. Její hlavní výhodou je odhad SVF bez nutnosti sběru dat v terénu a s tím spojená časová náročnost. Nevýhoda této metody je proměna vegetace během ročních období a také omezenost výšky snímků street view na 2 m (Miao a kol. 2019). Tuto metodu ve své studii použili např. Middel a kol. (2018), Zeng a kol. (2018) nebo Urban a kol. (2022).

1.3 Biometeorologické podmínky ve městě

Z hlediska epidemiologických statistik existuje jasný vztah mezi úmrtností a teplotou vzduchu. V České republice se této problematice dlouhodobě věnuje tým Jana Kyselého. Výsledky prokázali, že v populaci ČR se negativní vliv vysokých teplot na úmrtnost projevuje zejména u lidí s chronickým onemocněním kardiovaskulárního nebo respiračního systému (Hanzlíková a kol. 2015; Vésier 2022), nejvýznamněji

v populaci nad 70 let, především u žen (Kyselý a Kříž 2008, Urban a kol. 2014). Výsledky zároveň prokázaly, že riziko úmrtí z horka je vyšší v Praze než ve venkovských oblastech ČR (Urban a kol. 2014, Vésier 2022).

Zmíněné studie zkoumaly převážně vliv samotné teploty vzduchu na úmrtnost. Tepelnou bilanci lidského těla ovšem ovlivňuje více faktorů. V biometeorologických studiích se obvykle uvádí základních šest proměnných, které ovlivňují reakce těla: sluneční záření, teplota vzduchu, vlhkost, rychlost větru, metabolismus a oblečení. Výsledná kombinace těchto proměnných (tzv. tepelná bilance) vyvolává tepelný stres, na který tělo reaguje. Například v teplém počasí způsobuje nízká rychlost větru a vysoká relativní vlhkost značný stres, na který tělo reaguje pocením. Pokud je ale teplota vzduchu příliš vysoká, zvyšuje se rychlost metabolismu, a nakonec dojde ke zvýšení vnitřní teploty těla. Jestliže zvyšování vnitřní teploty stále pokračuje, dojde k selhání termoregulačního systému a následně k smrti. Je nutno ale říct, že okolnosti, které řídí nástup hypertermie, se mohou u jednotlivých jedinců výrazně lišit v závislosti na jejich věku a zdravotního stavu (Epstein a Moran 2006, Oke a kol. 2017).

Pro určení společného vlivu těchto faktorů bylo vyvinuto velké množství „biometeorologických“ indexů. Některé z nich jsou založeny na snadno dostupných meteorologických datech, takže mají výhodu snadného výpočtu, jiné jsou založeny na měření tepelné zátěže, jako je teplota kůže nebo rychlost pocení nebo na energetické bilanci člověka. Můžeme je rozdělit na přímé indexy a racionální indexy (Oke a kol. 2017).

Přímé indexy – ty jsou založeny na informacích o běžně dostupných meteorologických prvcích (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru) a jsou cenné při hodnocení extrémních teplot, které mohou mít důsledky pro veřejné zdraví. Tyto indexy však neposkytují žádné podrobné zkoumání faktorů přispívajících k tepelnému namáhání, a proto mají omezenou diagnostickou hodnotu. Přímé indexy jsou např. Humidex, Wind Chill Index nebo Heat index (Oke a kol. 2017).

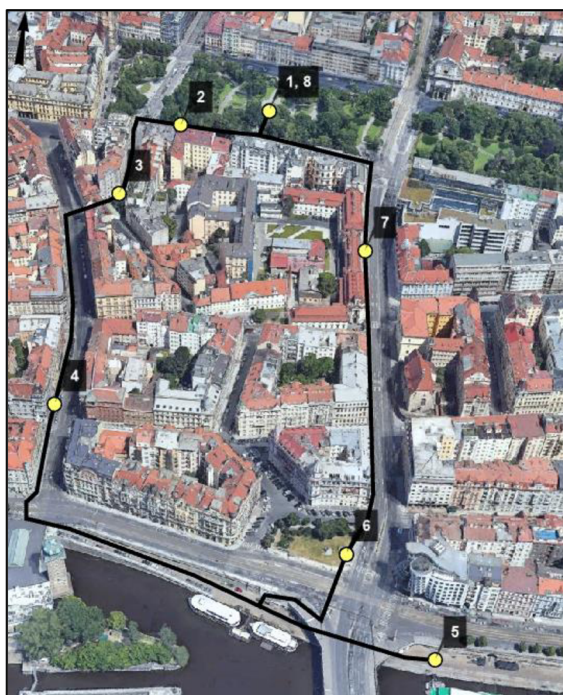
Racionální indexy – jsou založeny na energetické bilanci, která je úplným popisem biofyzikálních procesů. Udávají pocitovou teplotu na základě tepelné a radiační bilance povrchu lidského těla při aktuálních meteorologických podmínkách (Epstein a Moran 2006, Urban a Kyselý 2014). Tyto indexy tedy nejsou

jen kombinací meteorologických faktorů (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru, záření), ale do jejich výpočtu vstupují i další složky, jako je míra fyzické aktivity nebo tepelná izolace oblečením. Příkladem racionálních indexů může být např. Physiologically Equivalent Temperature a Perceived Temperature nebo nejnovější index vyvinutý v rámci Komise 6 Mezinárodní biometeorologické společnosti (ISB) a projektu COST 730 je Universal Thermal Climate Index (Epstein a Moran 2006, Urban a Kyselý 2014, UTCI 2023). Více o těchto indexech je uvedeno v kapitole 2.2.

2 Data a metody

2.1 Popis lokality

Vliv SVF na biometeorologické podmínky v centru Prahy byl vyhodnocen na základě terénních měření v okruhu, který byl veden z Karlova náměstí přes Myslíkovu ulici k Rašínovu nábřeží, a zpět přes ulici Resslova. Okruh s osmi stanovišti různého městského prostředí tvořil smyčku a měřil cca. 1,5 km (obr. 3). Délka okruhu a počet stanovišť byly zvoleny tak, aby bylo možné celý okruh absolvovat během dvou hodin, přičemž čas strávený na každém stanovišti byl 7 minut. Data byla získávána měřením na osmi stanovištích tohoto okruhu ve dvouhodinových intervalech od 9:00 do 19:00 SELČ ve dvou dnech v červenci 2021 a v pěti dnech od července do srpna 2022. Kromě údajů sbíraných automaticky přístrojem Kestrel 5400 (obr. 4) byl během měření ručně zaznamenáván čas, množství a druh oblačnosti, sluneční svit, celkový charakter počasí, počet lidí na stanovišti a jeho zastínění (oblačností, zástavbou nebo vegetací). Dále byla na každém stanovišti pořízena fotografie objektivem rybiho oka pro vyhodnocení SVF. První a poslední stanoviště okruhu se nacházelo na stejném místě, aby bylo možné kvantifikovat vliv změny pozadových podmínek během jednoho okruhu měření.



Obr. 3: Schematický plán zkoumaného území s vyznačenými stanovišti (upraveno podle www.maps.google.cz).



Obr. 4: Přenosný přístroj Kestrel 5400 (www.kestrelinstruments.com).

Výše zmíněným přístrojem Kestrel 5400, který byl umístěn 1,2 m nad zemským povrchem, byly zaznamenávány meteorologické prvky (tj. teplota, vlhkost vzduchu, rychlost větru a teplota kulového teploměru) a z nich i automaticky vypočtené dva přímé biometeorologické indexy (WBGT a HI). Potřebná data pro výpočet WBGT byla sbírána pomocí kulového teploměru, což je měděná koule černé barvy o průměru 25 mm, a vrtulí anemometru. Údaje na každém stanovišti byly zaznamenávány v 5minutových intervalech s frekvencí 5 sekund a v rámci těchto intervalů následně zprůměrovány. Na základě testovacích měření byl jako minimální čas nezbytný pro nastavení přístroje do vodorovné polohy a aklimatizaci přístroje na změnu prostředí zvolen interval 2 minuty. Následně 5 minut probíhal sběr dat. Tento čas byl důležitý pro přesné měření teploty kulového teploměru a následný výpočet WBGT. Proto byly v případě teploty kulového teploměru a WBGT uvažovány poslední hodnoty naměřené během tohoto 5minutového intervalu, nikoliv zprůměrované hodnoty za celý interval.

V roce 2021 měření probíhalo ve dvou červencových dnech od 9:00 do 18:30 SELČ. Konkrétně se jednalo o tyto dny: 21. 7. 2021 a 24. 7. 2021. Jednotlivá měření začala vždy v 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 a 17:00 hod. SELČ. Za měřicí den bylo nutné daný okruh naměřit 5krát.

Měření v roce 2022 probíhalo v pěti dnech od července do srpna od 9:00 do 18:30 SELČ. Jednalo se o 13. 7. 2022, 19. 7. 2022, 20. 7. 2022, 17. 8. 2022, 25. 8. 2022. Jednotlivá měření začala vždy v 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 a 17:00 hod. SELČ a za den byl daný okruh naměřen opět 5krát.

Pro větší množství dat byla v této práci použita i data, která byla naměřena ve stejném okruhu v roce 2019 v rámci bakalářské práce Chlapcová (2020). Měření v tomto roce probíhalo v devíti dnech od 8:00 do 17:30 SELČ. Jednalo se o tyto dny: 27. 6. 2019, 28. 6. 2019, 2. 7. 2019, 4. 7. 2019, 5. 7. 2019, 14. 8. 2019, 15. 8. 2019, 27. 8. 2019, 28. 8. 2019. Jednotlivá měření začínala vždy v 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 a 16:00 hod. SELČ a za den byl okruh naměřen 5krát. Měření pro tuto studii se od těchto dat lišilo v čase začátku, kdy v roce 2021 a 2022 se s měřením začalo o hodinu déle (v 9:00) z důvodu zajímavějších dat v pozdně odpoledních hodinách. Dále se prodloužil čas aklimatizace na změnu prostředí pro stálější data (z 1 minuty na 2) a zkrátil se čas měření z 6 na 5 minut. Do zpracování této práce bylo z těchto devíti dnů zařazeno pouze 7 dní s maximální naměřenou teplotou vyšší než 27 °C. Tyto dny: 14. 8. 2019 a 15. 8. 2019 byly z důvodu nižší teploty z této práce vyřazeny.

2.1.1 Jednotlivá stanoviště

Největší plocha zeleně se vzrostlými stromy a vodním prvkem (kašnou) se nachází v parku na Karlově náměstí (st. 1, 8). Naopak stanoviště č. 7 v Resslově ulici se nachází v blízkosti vysoké zástavby a nenachází se zde žádný vodní prvek ani prvek zeleně. Stanoviště č. 3 v ulici Odborů je celý den zastíněno díky stromům a vysoké zástavbě. Hojně navštěvovaná Náplavka na Rašínově nábřeží (st. 5) zejména ve večerních hodinách a o víkendech je tvořena kamennou dlažbou a nenachází se zde žádný prvek zeleně ani jiné stínící prvky (tab. 1).

Tab. 1: Vlastnosti měřících stanovišť. Symbol ✓ znamená přítomnost vodního prvku nebo zeleně, zatímco x znamená jeho nepřítomnost.

	1,8	2	3	4	5	6	7
	Karlovo náměstí	zastávka Novoměstská radnice	ulice Odborů	Ulice Myslíkova	Náplavka	Jiráskovo náměstí	ulice Resslova
Povrch	asfalt	dlažební kostky	dlažební kostky	dlažební kostky	dlažební kostky	trávník	dlažební kostky
Vodní prvek	✓	x	✓	x	✓	x	x
Prvek zeleně	✓	✓	✓	✓	x	✓	x

Stanoviště č. 1, 8 – Karlovo náměstí



Obr. 5: Stanoviště č. 1, 8 – Karlovo náměstí.

První a zároveň i poslední stanoviště se nachází v parku na Karlově náměstí (obr. 5). Na tomto místě je přítomen vodní prvek (kašna) a dostatek zeleně. Během horkých letních dnů zde stromy pozitivně ovlivňují prostředí a je zde znát chladnější klima. Kvůli tomu je tento průchozí park s lavičkami v letních měsících hojně navštěvován. Jde tedy o místo, kde je typický zvýšený výskyt lidí – v průměru 40 lidí za celý den během jednoho měření. Povrch stanoviště je tvořen asfaltem (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 2 – zastávka Novoměstská radnice



Obr. 6: Stanoviště č. 2 – zastávka Novoměstská radnice.

Druhé stanoviště se nachází na severozápadním rohu Karlova náměstí, konkrétně na zastávce Novoměstská radnice (obr. 6). Zastávka slouží pro přestup na metro nebo mezi tramvajemi, vyskytuje se zde tedy po celý den zvýšený počet lidí (v průměru 50 lidí za celý den během jednoho měření). Nachází se zde vzrostlé stromy, díky kterým je zastávka částečně kryta. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 3 – ulice Odborů



Obr. 7: Stanoviště č. 3 – ulice Odborů.

Třetí stanoviště se nachází v ulici Odborů před hotelem Mosaic House Design (obr. 7). Nachází se zde prvky zeleně i vodní prvek (malá fontána). V létě je zde díky stromům a vysokým budovám převážně stín, proto tohle místo slouží především k relaxaci. Na tomto stanovišti se vyskytuje menší počet lidí – v průměru za celý den cca. 10 lidí během jednoho měření. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 4 – ulice Myslíkova



Obr. 8: Stanoviště č. 4 – ulice Myslíkova.

Čtvrté stanoviště se nachází mezi vysokou zástavbou v západní části ulice Myslíkova – blíže k Rašínovu nábřeží. Podél silnice jsou umístěny květináče se stromy malého vzrůstu (obr. 8). Lidé se zde nezdržují, spíše jen procházejí – v průměru za celý den cca. 15 lidí během jednoho měření. Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 5 – Náplavka



Obr. 9: Stanoviště č. 5 – Náplavka.

Páté stanoviště se nachází na pravé straně řeky Vltavy – na Rašínově náměstí, známé jako Náplavka (obr. 9). Náplavka je místem, které navštěvuje zvýšený počet lidí zejména ve večerních hodinách (v průměru za celý den cca. 30 lidí během jednoho měření) za účelem relaxace a zábavy. Stanoviště je z východní strany kryto kamennou opěrnou zdí a jeho povrch je tvořen dlažebními kostkami. Nenachází se zde žádné prvky zeleně (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 6 – Jiráskovo náměstí



Obr. 10: Stanoviště č. 6 – Jiráskovo náměstí.

Šesté stanoviště se nachází na Jiráskovo náměstí vedle nefunkční kašny a křižovatky dvou vytížených pozemních komunikací (obr. 10). V těsné blízkosti se nachází Tančící dům a díky tomu se na tomto místě vyskytuje během celého dne zvýšená koncentrace lidí (v průměru za celý den cca. 50 lidí během jednoho měření). Stanoviště je téměř celý den během letních měsíců vystaveno přímému slunečnímu záření. Nachází se zde prvky zeleně a povrch je písčiny (Chlapcová 2020).

Stanoviště č. 7 – ulice Resslova



Obr. 11: Stanoviště č. 7 – ulice Resslova.

Sedmé stanoviště se nachází v ulici Resslova vedle vytižené pozemní komunikace a vysoké zástavby (obr. 11). Resslova ulice je celé dopoledne a odpoledne v létě cca. do 16 hodin vystavena přímému slunečnímu záření. Lidé se zde nezdržují, pouze procházejí (v průměru za celý den cca. 15 lidí během jednoho měření). Povrch stanoviště je tvořen dlažebními kostkami a nenachází se zde žádné prvky zeleně ani vodní prvky (Chlapcová 2020).

2.2 Sledované biometeorologické indexy

Cílem této práce je porovnat biometeorologické podmínky na osmi měřících stanovištích rozmístěných v okruhu mezi Karlovým náměstím a Náplavkou. Pro tento účel byly v této práci sledovány dva přímé indexy (HI a WBGT) a dva racionální indexy (PET a UTCI), které fungují jako ukazatelé tepelné zátěže. Tyto tepelné indexy jsou vhodné pro objektivní hodnocení tepelného prostředí v městském prostředí. Zatímco HI a WBGT byly spolu s ostatními prvky naměřeny pomocí přenosného přístroje Kestrel 5400 během měřících dnů, PET a UTCI byly následně z těchto naměřených prvků vypočítány pomocí RayMan Pro verze 2.1.

2.2.1 Heat index

Prvním z přímých indexů je Heat index (HI, do češtiny lze přeložit jako index horka), který je určen vztahem teploty vzduchu a relativní vlhkosti na základě empirických měření. Výsledkem je pak zdánlivá teplota neboli teplota, kterou člověk skutečně pociťuje (Steadman 1979). Pokud je relativní vlhkost nízká, bude zdánlivá teplota nižší než teplota vzduchu, protože odpařování potu probíhá rychleji a tím se tělo lépe ochlazuje. Naopak jestliže je teplota vzduchu i relativní vlhkost vysoká – je vzduch nasycen vodními parami, pot se již nemůže rychle odpařovat a zdánlivá teplota je vyšší (míra tepelné zátěže je tedy vysoká) (Blazejczyk a kol. 2012). Jedná se o široce používaný ukazatel tepelné zátěže v epidemiologických studiích, ale i operativní předpovědi počasí (např. NWS 2023). Vzorec NWS vycházející z vícenásobného regresního vztahu mezi teplotou vzduchu (T) a relativní vlhkostí vzduchu (RH) a upravený pro výpočet HI z teploty ve °C uvádí Blazejczyk a kol. (2012):

$$HI = -8,784695 + 1,61139411 * T + 2,338549 * RH - 0,14611605 * T * RH - 1,2308094 * 10^{-2} * T^2 - 1,6424828 * 10^{-2} * RH^2 + 2,211732 * 10^{-3} * T^2 * R + 7,2546 * 10^{-4} * T * RH^2 - 3,582 * 10^{-6} * T^2 * RH^2.$$

Blazejczyk a kol. (2012) uvádí tabulku upravenou podle NWS (2023) znázorňující rizika zdravotních potíží související s tepelnou zátěží člověka (tab. 2).

Tab. 2: Znázornění rizika zdravotních potíží souvisejících s tepelnou zátěží člověka (HI) (upraveno podle Blazejczyk a kol. 2012).

Heat Index (°C)	Riziko	Následky
27-32	nižší	při dlouhodobém vystavení a/nebo fyzické aktivitě pravděpodobnost únavy
32-41	mírné	při dlouhodobém vystavení nebo fyzické aktivitě pravděpodobnost úpalu, svalových křečí nebo vyčerpání
41-54	vysoké	úpal, svalové křeče nebo vyčerpání z horka a při dlouhodobém vystavení nebo fyzické aktivitě úžeh
≥ 54	extrémní	úpal nebo úžeh

2.2.2 Wet-Bulb Globe Temperature

Druhým použitým přímým indexem je Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT, do češtiny lze přeložit jako teplota vlhkého kulového teploměru), který byl vyvinut pro definování rizikových podmínek z hlediska vlivů tepelné zátěže na zdraví účastníků vojenského výcviku (Yaglou a Minard 1957, Chlapcová a kol. 2021). WBGT je kombinací teploty vzduchu, relativní vlhkosti, rychlosti větru a množstvím dopadajícího slunečního záření (to je ovlivněno zejména typem a množstvím oblačnosti). Hodnoty WBGT jsou v přístroji Kestrel 5400 počítány na základě vzorce pro venkovní prostředí (Epstein a kol. 2006):

$$WBGT = 0,7 * T_w + 0,2 * T_g + 0,1 * T,$$

Kdy T je teplota vzduchu, T_w je teplota vlhkého teploměru (kombinace vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu), T_g je teplota kulového teploměru (výsledek krátkovlnného – slunečního a dlouhovlnného – tepelného záření a ochlazování kulového teploměru větrem) (Lemke a Kjellstrom 2012).

WBGT se využívá v oblastech, kde je důležité určit úroveň lidského tepelného stresu (např. u sportovců, u vojáku nebo v pracovním prostředí) (Blazejczyk a kol. 2012, Chlapcová 2020). Kvůli zahrnutí dalších faktorů (rychlosti větru a slunečního záření) je WBGT pro měření tepelné zátěže ve venkovním prostředí výhodnější než HI. Pro stanovení míry rizika tepelné zátěže chodců v ulicích města v této práci byly použity limity pro sportovce (tab. 3).

Tab. 3 Znárodnění rizika tepelného stresu pro člověka při zvýšené fyzické námaze (např. u sportovců) (upraveno podle www.kestrelinstruments.com).

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

2.2.3 Physiological Equivalent Temperature

Prvním použitým racionálním indexem v této práci je Physiologically Equivalent Temperature (PET, česky fyziologicky ekvivalentní teplota) je v současné době jedním z nejčastěji používaných ukazatelů tepelného komfortu člověka. Tento index kombinuje povětrnostní a termofyziologické parametry (oblečení a lidské

aktivity). Má úlohu k měření tepelného komfortu člověka v dané situaci porovnáním jeho fyziologických reakcí s těmi, které by měl v referenčním prostředí v klidu (např. v kanceláři nebo doma, tam kde se cítí příjemně). Přesněji řečeno PET index je efektivní teplota referenčního prostředí, která by u člověka způsobila stejnou fyziologickou odezvu jako prostředí, které je předmětem studie, tj. stejnou teplotu pokožky a těla (Blazejczyk a kol. 2012, Chen a Matzarakis 2014).

Jedním z nejdůležitějších určujících faktorů PET je střední radiační teplota (anglicky Mean Radiant Temperature). Dalšími důležitými meteorologickými vstupními parametry jsou rychlost větru, teplota vzduchu a relativní vlhkost (Blazejczyk a kol. 2012, Chen a Matzarakis 2014). Avšak podle Chena a Matzarakise (2014) má relativní vlhkost na hodnotu PET pouze slabý vliv.

Střední radiační teplota (T_{mrt}) je jedním z nejdůležitějších vstupních parametrů pro všechny indexy používané v biometeorologii člověka. Tato teplota je založena na principu, že čistá výměna radiační energie mezi objekty je přibližně úměrná jejich teplotnímu rozdílu vynásobenému jejich schopnosti vyzařovat nebo absorbovat teplo (emisivita) (Chen a kol. 2014).

Teplotní prahy tepelných vjemů, stupňů fyziologického stresu a rizika PET indexu jsou zobrazeny v tab. 4.

Tab. 4 Teplotní prahy (°C) tepelných vjemů, stupňů fyziologického stresu a rizika PET indexu (upraveno podle Matzarakis a kol. 1999).

PET (°C)	TEPELNÝ POCIT	STUPEŇ FYZIOLOGICKÉHO STRESU	RIZIKO
< 4	velká zima	extrémní chladový stres	vysoké
4-8	zima	silný chladový stres	střední
8-18	chladno	mírný chladový stres	malé
18-23	příjemně	žádný tepelný stres	žádné
23-35	teplo	mírný tepelný stres	malé
35-41	horko	silný tepelný stres	střední
>41	velké horko	extrémní tepelný stres	vysoké

2.2.4 Universal Thermal Climate Index

Universal Thermal Climate Index (UTCI) kombinuje současný vliv teploty vzduchu, relativní vlhkosti, rychlosti větru a krátkovlnného i dlouhovlnného záření na povrch lidského těla. Stejně jako PET zohledňuje i fungování lidského organismu a oblečení. Oproti PET ale vychází z novějšího fyziologického modelu a jako

referenční podmínky a fyzickou aktivitu uvádí chůzi 4 km/h. UTCI je tedy navržen jako index, který pomáhá hodnotit tepelný stres působící na člověka ve venkovním prostředí. Díky tomu je použitelný jako pro případové biometeorologické studie v ulicích měst, tak pro operativní meteorologickou předpověď (ČHMÚ 2023). Může tak sloužit jako vodítko pro plánování sportovních, rekreačních aktivit i pro zohlednění dopadů běžných denních aktivit na citlivé osoby (např. senioři, malé děti atd.) (Oke a kol. 2017, ČHMÚ 2023).

Ekvivalentní teploty UTCI kategorizované z hlediska tepelného namáhání jsou zobrazeny v tab. 5.

Tab. 5 Znárodnění zátěže, režimového doporučení a fyziologických procesů dle stupňů UTCI (upraveno podle Bröde a kol. 2012, @CHMI).

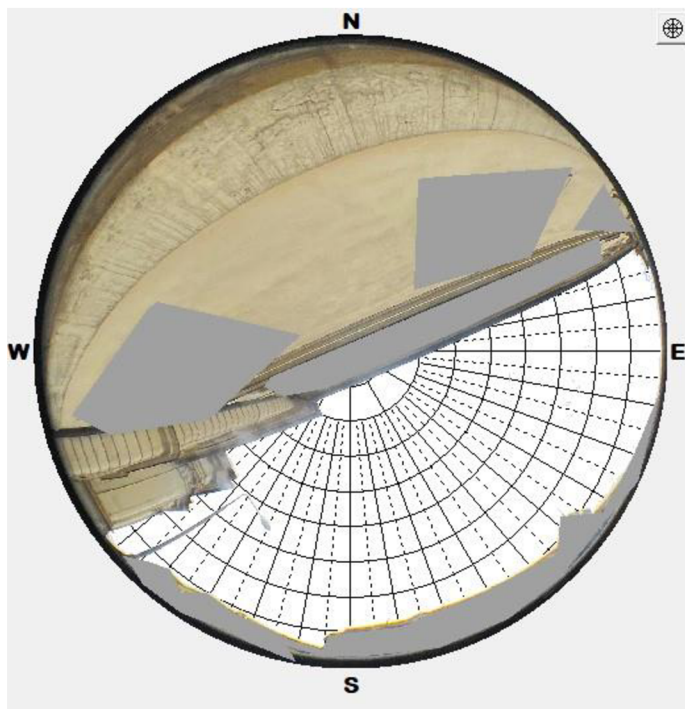
UTCI (°C)	KATEGORIE ZÁTĚŽE	DOPORUČENÍ	FYZIOLOGICKÉ PROCESY
-27,1-(-40,0)	velmi silná až extrémní zátěž chladem	používat účinnou ochranu hlavy a končetin, používat oděv se zvýšenou tepelnou izolací, omezit pobyt venku na nezbytné minimum, zvýšit fyzickou aktivitu k produkci metabolického tepla	omrzliny, necitlivost, třes, prudký pokles rektální teploty
-13,1-(-27,0)	silná zátěž chladem	chránit pokožku obličeje (krém, zakrýt), používat oděv se zvýšenou tepelnou izolací, omezit pohyb venku na minimum – zejména děti, senioři a nemocní, v případě delšího pobytu venku zvýšit pohybovou aktivitu	necitlivost
0,1-(-13,0)	mírná zátěž chladem	chránit pokožku obličeje (krém), chránit končetiny před podchlazením, v případě delšího pohybu venku zvýšit pohybovou aktivitu	vazokonstrikce, teplota pokožky obličeje po 30 min menší než 15 °C (bolest)
0,1-9,0	slabá zátěž teplem	nosit rukavice a pokrývky hlavy	snížení teploty pokožky končetin
9,1-26,0	bez zátěže	bez doporučení	průměrná rychlost pocení > 100 g/h
26,1-32,0	mírná zátěž teplem	doplňovat tekutiny	výskyt pocení po 30 min
32,1-38,0	silná zátěž teplem	snížit fyzickou aktivitu, doplňovat tekutiny, pobývat na stinných a vzdušných místech, zvýšit omezení pobytu dětí, seniorů a nemocných venku	průměrná rychlost pocení > 200 g/h, zvýšení rektální teploty za 120 min
38,1-46,0	velmi silná zátěž teplem	snížit fyzickou aktivitu, doplňovat tekutiny, pravidelně pobývat v klimatických podmínkách nebo na stinných a vzdušných místech, omezit pobyt venku na minimum zejména děti, senioři a nemocní	zvýšení rektální teploty za 30 min
> 46,1	extrémní zátěž teplem	vyhýbat se fyzické námaze, pravidelně ochlazovat tělo, doplňovat tekutiny (min 0,5 l/h), vyhnout se pobytu venku, je-li to nutné, tak zůstat na stinných a vzdušných místech	průměrná rychlost potu > 650 g/h – strmý nárůst

2.3 Výpočet SVF v RayMan Pro

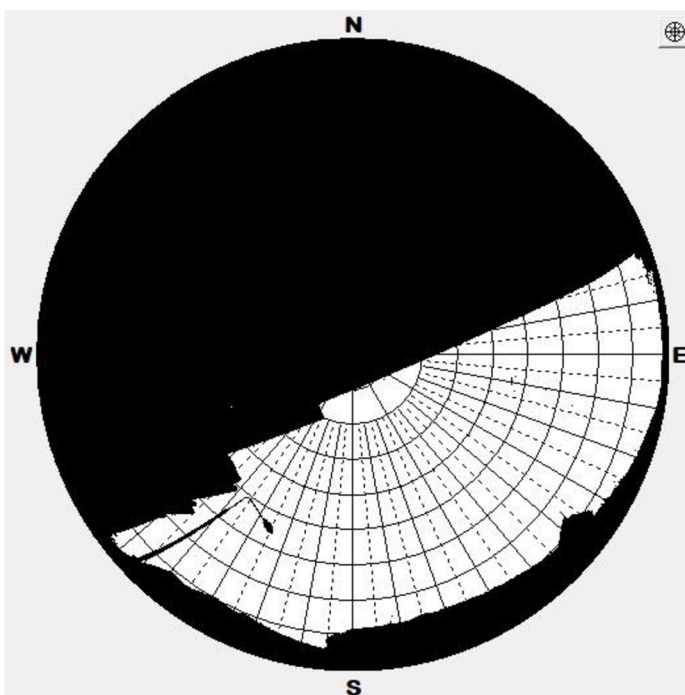
Dalším cílem práce je určit vliv zastínění stanoviště budovami, stromy nebo jinými překážkami na tepelnou zátěž v centru Prahy. Míra zastínění byla v této práci definovaná pomocí SVF. Pro každé pozorovací stanoviště byly pořízeny fotografie viditelné oblohy pomocí iPhone 13 s objektivem Fisheye (rybí oko) - určeným pro mobilní telefon. Mobilní telefon byl během pořizování snímků umístěn ve výšce 1,2 m na místě, kde se během měření nacházel přístroj. Tyto snímky byly následně ořezány do čtverce, přeformovány do bitmapového formátu a poté vloženy do softwaru RayMan Pro verze 2.1. Vyhodnocování SVF bylo založeno na rozlišení bílých a barevných pixelů samostatného obrázku (obr 12). Manuálně byly označeny pixely, které představovaly oblohu a ty které představovaly budovy. Pixely budov byly označeny šedou barvou z důvodu snížení eliminace odrazu oblohy v oknech budov (obr. 13). V momentě hotového označení pixelů byly následně budovy, stromy a jiné překážky označeny černou barvou (obr. 14). Posledním krokem byl samotný automatický výpočet SVF (obr. 15).



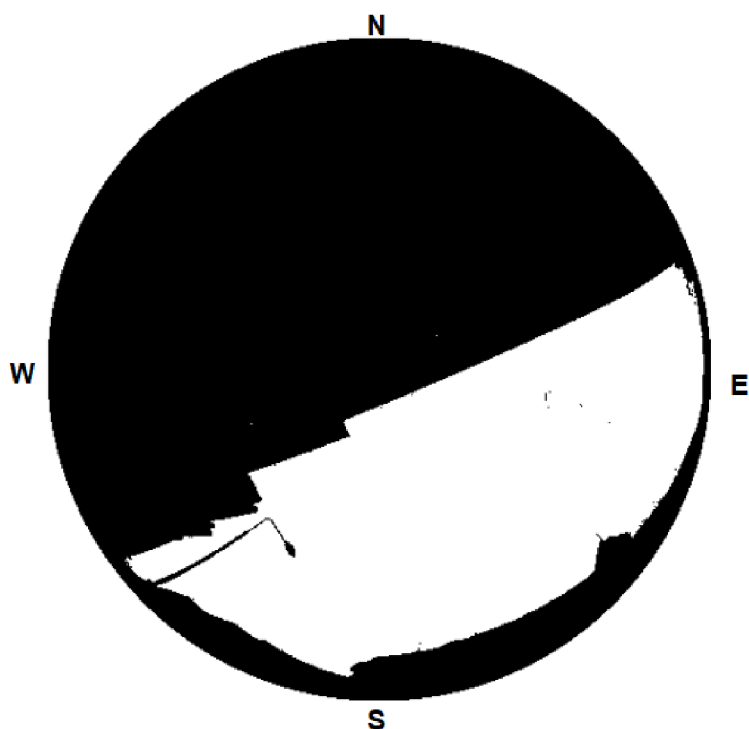
Obr. 12: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslova, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.



Obr. 13: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Šedá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.



Obr. 14: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.




Obr. 15: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu. N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

2.4 Výpočet PET a UTCI

Výpočet biometeorologických indexů PET a UTCI probíhal v softwaru RayMan Pro verze 2.1. Bylo nutné nejdříve vytvořit vstupní textový soubor, který obsahoval datum, čas, teplotu vzduchu, relativní vlhkost, rychlost větru a množství oblačnosti pro jedno stanoviště ze všech měřících dnů. Tento soubor byl následně vložen do RayMan Pro, kde byly nastaveny základní údaje (datum, čas, poloha, teplota, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru a oblačnost). Data o výšce, hmotnosti, pohlaví, oblečení a aktivitě byly ponechány ve výchozím nastavení, které odpovídá referenčním hodnotám pro výpočet indexů (obr. 16). Výstup těchto dat byl v podobě tabulky, kde byla spolu s PET a UTCI vypočítána mimo jiné i hodnota SVF. Takto byly vypočítány biometeorologické indexy pro každé stanoviště.

File Input Output Table Language ?

Date and time Date (day.month.year) <input type="text" value="17.8.2022"/> Day of year <input type="text" value="229"/> Local time (h:mm) <input type="text" value="9:00"/> <input type="button" value="Now and today"/>		Current data Air temperature Ta (°C) <input type="text" value="21.8"/> Vapour pressure VP (hPa) <input type="text" value="20.1"/> Rel. humidity RH (%) <input type="text" value="77.0"/> Wind velocity v (m/s) <input type="text" value="0.6"/> Cloud cover N (octas) <input type="text" value="1.0"/> Surface temperature Ts (°C) <input type="text"/> Global radiation G (W/m2) <input type="text"/> Mean radiant temp. Tmrt (°C) <input type="text"/>		 Calculation: <input type="button" value="New"/> <input type="button" value="Add"/>
Geographic data Location: <input type="text" value="Praha"/> <input type="button" value="Add location"/> <input type="button" value="Remove location"/>		Personal data Height (m) <input type="text" value="1.80"/> Weight (kg) <input type="text" value="75.0"/> Age (a) <input type="text" value="35"/> Sex <input type="text" value="m"/>		
Geogr. longitude (°E) <input type="text" value="14°25"/> Geogr. latitude (°N) <input type="text" value="50°5"/> Altitude (m) <input type="text" value="260"/> Timezone (UTC + h) <input type="text" value="1.0"/>		Clothing and activity Clothing (clo) <input type="text" value="0.90"/> Activity (W) <input type="text" value="80.0"/> Position <input type="text" value="standing"/>		
Thermal indices <input checked="" type="checkbox"/> PMV <input checked="" type="checkbox"/> PET <input checked="" type="checkbox"/> SET* <input checked="" type="checkbox"/> UTCI				<input type="button" value="Close"/>

Obr. 16: Vstupní nastavení v RayMan Pro.

2.5 Analýza naměřených hodnot

Protože biometeorologické indexy HI, WBGT, PET a UTCI jsou navrženy zejména pro měření v horkém počasí, bylo do zpracování v rámci této práce zařazeno 10 dní s maximální naměřenou teplotou vyšší než 30,0 °C, lze je tedy označit jako tropické dny (tab. 6). Čtyři dny byly naměřeny v roce 2019 a jde o dny 27. 06., 02. 07., 27. 08. a 28. 08. Jeden den byl naměřen v roce 2021, konkrétně dne 24. července a dalších pět dní bylo naměřeno v roce 2022 (13. 07., 19. 07., 20. 07., 17. 08., 25. 08). Rozdíly v charakteru počasí jsou analyzovány v kapitolách 4.1

Tab. 6 Maximální teploty v jednotlivých dnech měření pro všechny stanoviště. Modré zvýraznění řádků značí chladné dny a žluté zvýraznění značí tropické dny. Tučně je zobrazena nejvyšší naměřená teplota vzduchu.

Datum	teplota [°C]
2019	
27.06.	34,2
28.06.	29,3
02.07.	32,6
04.07.	29,8
05.07.	27,6
14.08.	25,3
15.08.	25,3
27.08.	32,7
28.08.	32,0
2021	
21.07.	27,1
24.07.	33,3
2022	
13.07.	31,6
19.07.	36,8
20.07.	37,4
17.08.	36,7
25.08.	32,9

3 Výsledky

3.1 Rozdíly v charakteru počasí mezi jednotlivými dny

Základní charakteristiky všech měřicích dnů jsou shrnuty v tab. 7. Pro dny 27. 06. 2019, 02. 07. 2019 a 19. 07. 2022 bylo typické jasné počasí s celodenním slunečním svitem (průměrná oblačnost v těchto dnech 0/8). Dny 27. 07. 2021 a 20. 07. 2022 lze zařadit jako dny se skoro jasným počasím (průměrná oblačnost 2/8). Polojasno až oblačno (4/8, 5/8) převažovalo ve dnech 27. 08. 2019, 28. 08. 2019, 17. 08. 2022 a 25. 08. 2022. Den s největší oblačností (v průměru 7/8) byl 13. 07. 2022. Dny na konci srpna 27. 08. 2019, 28. 08. 2019 a 25. 08. 2022 se vyznačovaly vyšší relativní vlhkostí vzduchu v průměru 58 % u obou dnů z roku 2019 a 59 % u dne z roku 2022).

Nejvyšší průměrné hodnoty biometeorologických indexů a nejvyšší průměrná hodnota teploty vzduchu byla zaznamenána ve dni 20. 07. 2022. Z tohoto důvodu byl pro další analýzu v této práci tento den označen jako nejteplejší den.

Tab. 7: Srovnání průměrných naměřených hodnot biometeorologických indexů a meteorologických prvků ze všech stanovišť v rámci všech analyzovaných dnů. Tučně jsou označeny nejvyšší hodnoty a u oblačnosti nejnižší.

Datum	průměrná teplota [°C]	průměrná hodnota HI [°C]	průměrná hodnota WBGT [°C]	průměrná hodnota PET [°C]	průměrná hodnota UTCI [°C]	průměrná vlhkost vzduchu [%]	průměrná oblačnost
2019							
27.06.	29,3	28,0	24,4	31,9	29,4	33	0/8
02.07.	25,4	24,1	21,6	28,1	26,1	39	0/8
27.08.	27,0	28,0	24,1	28,8	27,4	58	4/8
28.08.	27,9	29,3	24,9	29,0	27,7	58	5/8
2021							
24.07.	28,6	27,6	23,5	30,4	28,2	37	2/8
2022							
13.07.	27,1	25,8	21,7	24,7	23,9	37	7/8
19.07.	31,1	29,8	24,8	33,9	30,0	29	0/8
20.07.	33,1	32,2	26,1	34,9	31,4	28	2/8
17.08.	30,3	29,8	24,4	31,0	28,5	37	4/8
25.08.	26,7	27,6	24,0	27,2	26,3	59	4/8

Maximální naměřené hodnoty biometeorologických indexů (HI, WBGT, PET a UTCI) ze všech stanovišť v rámci všech analyzovaných dnů jsou zobrazeny v tab. 8. Z tabulky 8 je patrné, že všechny maximální hodnoty těchto indexů byly naměřeny v roce 2022.

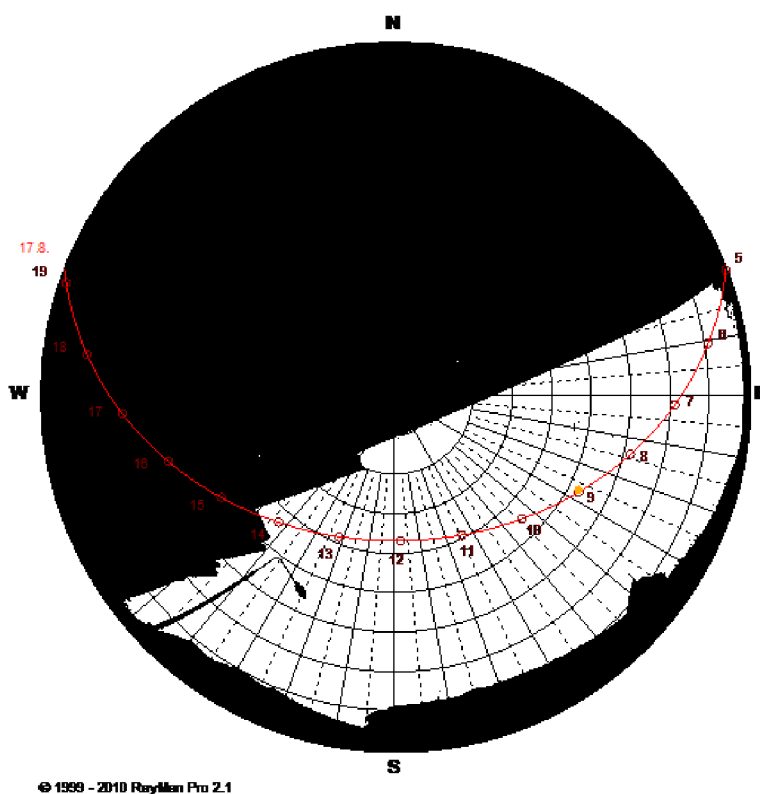
Tab. 8: Srovnání maximálních naměřených hodnot biometeorologických indexů ze všech stanovišť v rámci všech analyzovaných dnů. Tučně jsou označeny nejvyšší hodnoty.

	HI [°C]	stanoviště	WBGT [°C]	stanoviště	PET [°C]	stanoviště	UTCI [°C]	stanoviště
2019								
27.06.	32,3	Resslova ulice	30,3	Resslova ulice	45,2	Resslova ulice	38,6	Resslova ulice
02.07.	31,2	Resslova ulice	28,5	Resslova ulice	44,7	Resslova ulice	36,7	Resslova ulice
27.08.	35,6	Resslova ulice	30,4	Resslova ulice	42,8	Náplavka	36,5	Resslova ulice
28.08.	34,2	Resslova ulice	28,8	Jiráskovo náměstí	41,4	Jiráskovo náměstí	36,8	Jiráskovo náměstí
2021								
24.07.	31,4	Náplavka	28,2	Resslova ulice	45,0	Resslova ulice	36,9	Resslova ulice
2022								
13.07.	30,7	Resslova ulice	27,9	Resslova ulice	39,8	Resslova ulice	35,0	Resslova ulice
19.07.	35,2	Náplavka	29,9	Resslova ulice	52,7	Náplavka	40,7	Náplavka
20.07.	36,6	Jiráskovo náměstí	30,6	Resslova ulice	46,2	Resslova ulice	40,8	Resslova ulice
17.08.	36,9	Resslova ulice	31,6	Resslova ulice	46,3	Náplavka	38,4	Resslova ulice
25.08.	35,4	Resslova ulice	29,0	Resslova ulice	37,6	Náplavka	35,3	Náplavka

3.1.1 Nejteplejší den z hlediska Heat indexu a WBGT

Nejvyšší hodnoty HI a WBGT byly naměřeny v tentýž den 17. 08. 2022. Celý den byla proměnlivá oblačnost (v průměru 4/8) a průměrná relativní vlhkost vzduchu byla 37 % (tab. 11).

Maximální hodnota HI 36,9 °C byla naměřena během třetího měřicího okruhu ve 14:02 hod. na stanovišti č. 7 – ulice Resslova. Nejvyšší hodnota WBGT 31,6 °C, která představuje extrémní riziko tepelné zátěže (podle tabulky tab. 12) byla naměřena ve stejný čas také v ulici Resslova. Spolu s těmito hodnotami byla naměřena hodnota relativní vlhkosti vzduchu 24,6 %, rychlost větru 1,7 m/s a teplota vzduchu 36,7 °C. Během tohoto měření bylo oblačno. Z obr. 17 lze vidět, že Slunce bylo ve 14 hod. přímo nad tímto stanovištěm.

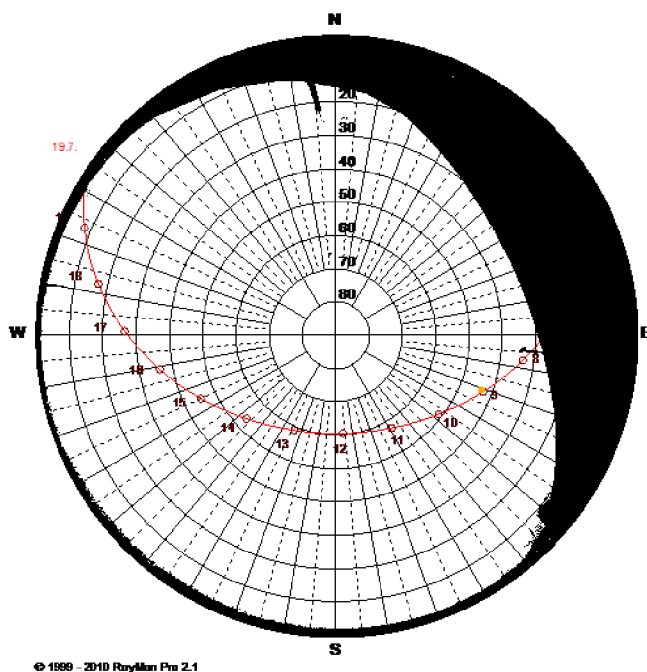


Obr. 17: Poloha Slunce na obloze během dne 17. 08. 2022 na stanovišti ulice Resslova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

3.1.2 Nejteplejší den z hlediska PET

Nejteplejší den z hlediska PET byl 19. 07. 2022. Celý den bylo jasné počasí (0/8) a pocitově bylo horko. Maximální hodnota 52,7 °C byla zaznamenána během třetího okruhu ve 13:53 hod. Během tohoto měření bylo bezvětří (0 m/s), relativní

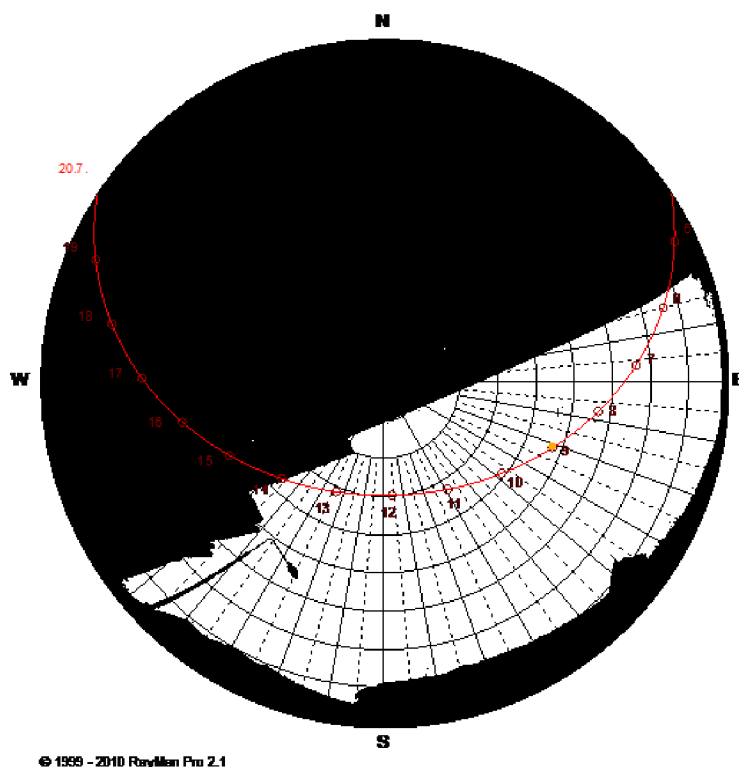
vlhkost vzduchu dosahovala 22,1 % a teplota vzduchu byla naměřena 34,2 °C. Z obr. 18 lze vidět, že poloha Slunce bylo v takové poloze, kdy mezi stanovištěm Náplavka a polohou Slunce nebyly žádné překážky tzn. že toto stanoviště bylo vystaveno přímému slunečnímu záření a oblačnost byla nulová (jasno). Riziko tepelného stresu byla vysoké – tato max. naměřená hodnota představuje extrémní tepelný stres.



Obr. 18: Poloha Slunce na obloze během dne 19. 07. 2022 na stanovišti Náplavka, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

3.1.3 Nejteplejší den z hlediska UTCI

Nejvyšší hodnota UTCI 40,8 °C byla naměřena 20. 07. 2022. Tento den bylo jasno až polojasno a nejvyšší teplota dosahovala 37,4 °C, což je nejvyšší naměřená teplota ze všech analyzovaných dní. Maximální hodnota UTCI byla zaznamenána během druhého kola ve 12:06 hod. na stanovišti ulice Resslova. Během tohoto měření bylo jasno, relativní vlhkost byla 25 % a rychlost větru 1,9 m/s. Z obr. 19 je patrné, že Slunce bylo v dobu měření v takové poloze, kdy stanoviště ulice Resslova bylo vystaveno přímému slunečnímu záření a oblačnost byla minimální (1/8). Tato naměřená hodnota představovala velmi silnou zátěž teplem podle tab. 5 (kategorie zátěže dle stupňů UTCI).



Obr. 19: Poloha Slunce na obloze během dne 20. 07. 2022 na stanovišti ulice Resslerova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

3.1.4 Překročení limitů tepelného stresu u biometeorologických indexů

Pro každý biometeorologický index existují tabulky s limity rizika tepelného stresu (viz kap. 2.2).

Tabulka č. 9 shrnuje počet změřených hodnot HI, které představují minimálně mírné riziko (32,1 – 41,0) zdravotních potíží související s tepelnou zátěží člověka. Za každý den je uvedeno kolikrát byla překročena limitní hodnota 32,1 °C, zároveň na jakém stanovišti a při kterých měřicích okruzích. Nejčastěji byla hodnota překročena 20. 07. 2022 a to celkem 27x a na všech stanovištích. Naopak nejméně byla hodnota překročena 27. 06. 2019 – pouze 2x na stanovišti ulice Resslerova a také 25. 08. 2022, kdy byla překročena 3x, a to na stanovišti Náplavka i ulice Resslerova.

Tab. 9: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty HI na všech stanovištích, počet překročení hodnoty HI představující mírné riziko (32,1 °C) a uvedení stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

	max. hodnota HI [°C]	hodnota překročena v okruhu	hodnota byla překročena za den	překročeno na stanovišti
2019				
27.06.	32,3	2., 4	2x	Resslova ulice
27.08.	35,6	4., 5.	8x	zastávka Novoměstská radnice, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice
28.08.	34,2	2., 3., 4.	10x	zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice
2022				
19.07.	35,2	2., 3., 4., 5.	11x	zastávka Novoměstská radnice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
20.07.	36,6	2., 3., 4., 5.	27x	Karlovo náměstí – začátek, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
17.08.	36,9	2., 3., 4.	11x	zastávka Novoměstská radnice, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice
25.08.	35,4	3., 4., 5.	3x	Náplavka, Resslova ulice

Během devíti tropických dnů byla překročena hodnota WBGT představující extrémní riziko (28 °C) tepelného stresu. Tato hodnota byla nejvíce překročena na stanovišti Resslova ulice, ale k překročení docházelo i na jiných stanovištích (tab. 10). Nejvíce byla hodnota překročena dne 20. 07. 2022 a to celkem 9x během 2., 3., i 4. měřicího okruhu na 6 stanovištích. Nejméně byla hodnota 28 °C překročena 02. 07. 2019 a 24. 07. 2021 a to jen jednou na stanovišti ulice Resslova.

Tab. 10: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty WBGT na všech stanovištích, počet překročení hodnoty WBGT představující extrémní riziko (28 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

	max. hodnota WBGT [°C]	hodnota překročena v okruhu	hodnota byla překročena za den	překročeno na stanovišti
2019				
27.06.	30,3	2., 3., 4.	3x	Resslova ulice
02.07.	28,5	3.	1x	Resslova ulice
27.08.	30,4	3., 4., 5.	5x	Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice
28.08.	28,8	2., 5.	2x	Jiráskovo náměstí, Resslova ulice
2021				
24.07.	28,2	2.	1x	Resslova ulice
2022				
19.07.	29,9	2., 3., 4.	4x	Náplavka, Resslova ulice
20.07.	30,6	2., 3., 4.	9x	zastávka Novoměstská radnice, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
17.08.	31,6	2., 3.	2x	Resslova ulice
25.08.	29,0	2., 4.	2x	Resslova ulice

Hodnota představující vysoké riziko extrémního tepelného stresu podle PET (> 40 °C) byla překročena během devíti tropických dnů (tab. 11). Nejčastěji byla tato hodnota překročena 20. 07. 2022 a to celkem 17x během 1., 2., 3., a 4. okruhu na všech stanovištích. Dále byla tato hodnota mnohokrát (12x) překročena na sedmi stanovištích 19. 7. 2022, kdy byla zároveň naměřena i maximální hodnota (52,7 °C). Nejméně byla hodnota představující vysoké riziko naměřena dne 02. 08. 2019 a to jednou na stanovišti ulice Resslova a 28. 08. 2019 také jednou, ale na stanovišti Jiráskovo náměstí.

Tab. 11: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty PET na všech stanovištích, počet překročení hodnoty PET představující extrémní riziko ($> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

	max. hodnota PET [$^{\circ}\text{C}$]	hodnota překročena v okruhu	hodnota byla překročena za den	překročeno na stanovišti
2019				
27.06.	45,2	2., 3.	2x	Resslova ulice
02.07.	44,7	3.	1x	Resslova ulice
27.08.	42,8	3.	2x	Náplavka, Resslova ulice
28.08.	41,4	4.	1x	Jiráskovo náměstí
2021				
24.07.	45,0	1., 2., 4.	6x	zastávka Novoměstská radnice, Náplavka, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
2022				
19.07.	52,7	1., 2., 3., 4.	12x	zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
20.07.	46,2	1., 2., 3., 4.	17x	Karlovo náměstí – začátek, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odborů, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
17.08.	46,3	2., 3.	2x	Náplavka
25.08.	43,5	2.	3x	Karlovo náměstí – začátek, zastávka Novoměstská radnice, Karlovo náměstí – konec






















Během čtyř tropických dní došlo k překročení hodnoty, která představuje velmi silnou zátěž teplem podle UTCI (38,1 – 46,0 $^{\circ}\text{C}$) (tab. 12). Celkem 8x došlo k překročení této hodnoty ve dni 20. 07. 2022 během 2., 3., a 4. okruhu na šesti stanovištích. V tomto dni zároveň došlo k překročení nejvyšší hodnoty UTCI (40,8 $^{\circ}\text{C}$) na stanovišti ulice Resslova. Dne 19. 07. 2022 došlo během 2., 3., a 4. okruhu k šesti překročení na pěti stanovištích. Nejméně došlo k překročení dne 17. 08. 2022 a to jen jednou na stanovišti ulice Resslova.

Tab. 12: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty UTCI na všech stanovištích, počet překročení hodnoty UTCI představující extrémní riziko (32,1 – 46,0 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

	max. hodnota UTCI [°C]	hodnota překročena v okruhu	hodnota byla překročena za den	překročeno na stanovišti
2019				
27.06.	38,6	2., 3.	2x	Resslova ulice
2022				
19.07.	40,7	2., 3., 4.	6x	zastávka Novoměstská radnice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, ulice Resslova, Karlovo náměstí – konec
20.07.	40,8	2., 3., 4.	8x	zastávka Novoměstská radnice, Myslíkova ulice, Náplavka, Jiráskovo náměstí, Resslova ulice, Karlovo náměstí – konec
17.08.	38,4	3.	1x	Resslova ulice

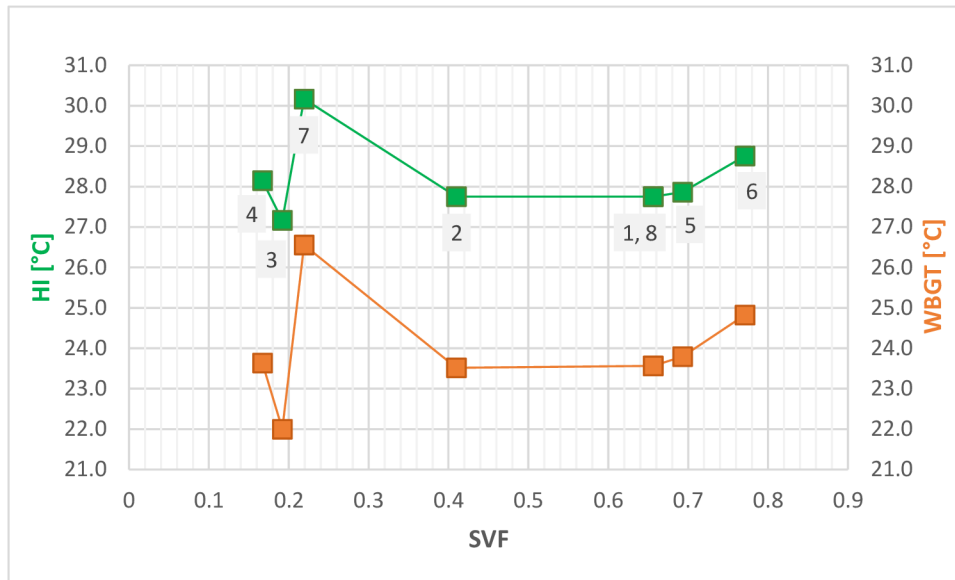
3.2 Závislost mezi SVF a vybranými biometeorologickými prvky

V této práci jsou biometeorologické prvky rozděleny do dvou skupin. První skupina jsou přímé indexy – HI, WBGT a druhá skupina jsou racionální indexy – PET a UTCI. Ke každému stanovišti byla vypočítána hodnota SVF, která definuje zastínění stanoviště budovami, stromy nebo jinými překážkami (obr. 20). Hodnoty těchto indexů v rámci skupin byly zobrazovány pro různá měřicí stanoviště definované hodnotou SVF. Pro účely vyhodnocení byly hodnoty ze stanoviště 1,8 – Karlovo náměstí zprůměrovány z důvodu přehlednějšího výstupu v grafech. Obrázky 20-37 znázorňují vztah/závislost mezi naměřenými hodnotami jednotlivých indexů SVF (které představují zastínění budovami, stromy nebo jinými překážkami jednotlivých stanovišť) podle zvoleného kritéria.

Číslo stanoviště	Fotografie stanoviště	Fisheye fotografie	SVF	Hodnota SVF
1,8				0.656
2				0.410
3				0.192
4				0.167
5				0.693
6				0.771
7				0.219

Obr. 20: Číslo stanoviště, fotografie stanoviště, Fisheye fotografie a hodnoty jednotlivých stanovišť.

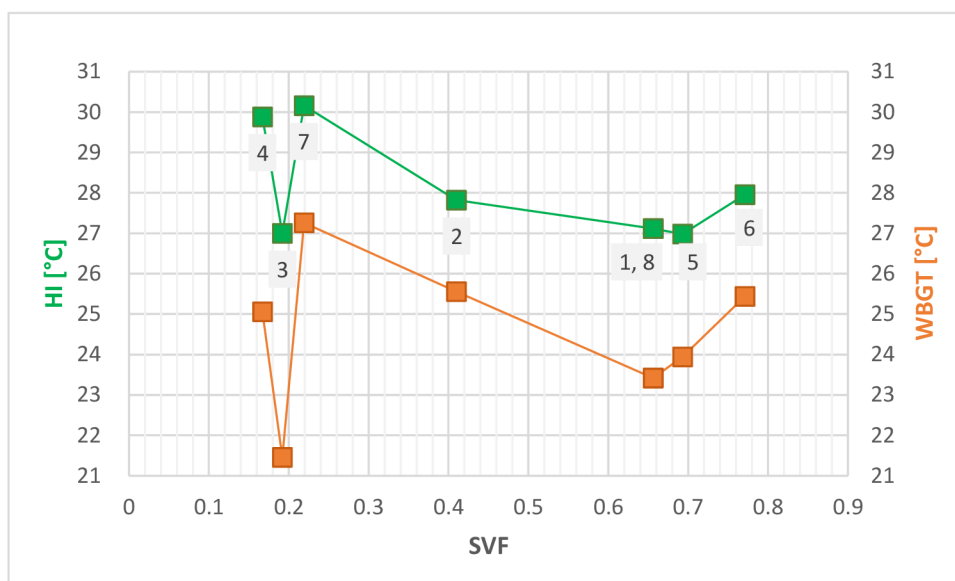
3.2.1 Přímé indexy – HI a WBGT



Obr. 21: Závislost průměrných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť za všechna měření během všech let. Čísla, která jsou zvýrazněna šedě, představují čísla stanovišť.

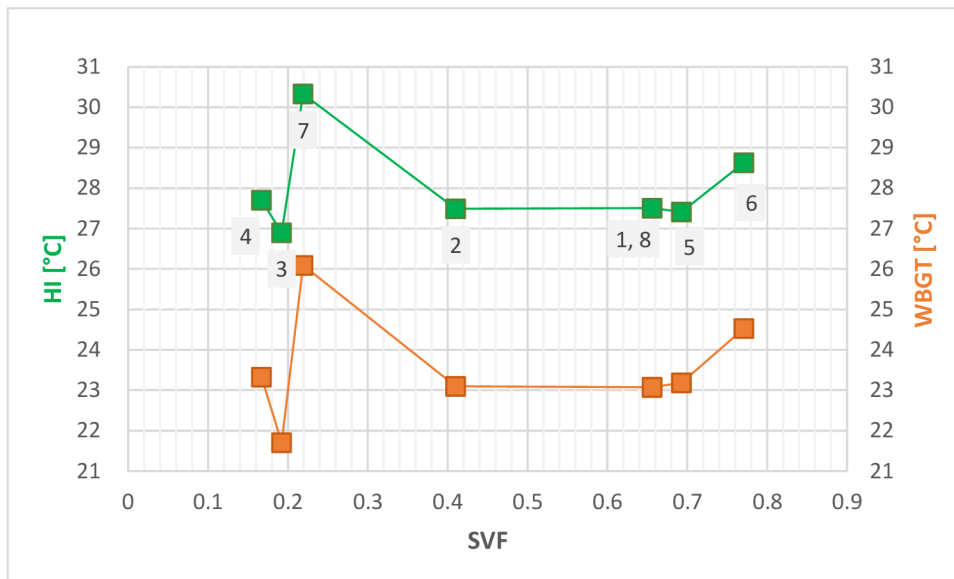
Na obr. 21 jsou zobrazeny průměrné hodnoty přímých indexů – HI a WBGT pro každé stanoviště ze všech měřících tropických dní od roku 2019 do roku 2022. U obou indexů lze vidět, že nejnižších průměrných hodnot dosahuje stanoviště č. 3 – ulice Odborů, kde hodnota SVF má hodnotu 0,192. Stanoviště je stíněno vysokými budovami a stromy z toho důvodu je hodnota SVF takto nízká a celý den je zde stín. Průměrná hodnota WBGT za všechna měření zde dosahuje 22,0 °C, což znamená střední riziko tepelného stresu a průměrná hodnota HI za všechna měření je na tomto stanovišti 27,2 °C. Lze vidět, že hodnoty u obou indexů kopírují stejnou křivku – stejné pořadí. Druhým nejchladnějším stanovištěm je u HI i WBGT st. č. 2 – zastávka Novoměstská radnice (SVF = 0,410), která je téměř srovnatelná se stanovištěm č. 1,8 – Karlovo náměstí (SVF = 0,656) a stanovištěm č. 4 – ulice Myslíkova (SVF = 0,167). Nejhorším stanovištěm je u obou indexů st. č. 7 – ulice Resslerova se SVF 0,219, průměrná hodnota WBGT zde dosahuje 26,6 °C, což představuje vysoké riziko tepelného stresu. Toto stanoviště se nachází vedle vytížené silnice a také v blízkosti vysokých budov. SVF je zde nízký tzn. že poměr viditelné oblohy je na tomto stanovišti malý a taktéž se zde nenachází žádné prvky zeleně ani vodní prvky. Příčinou těchto vysokých hodnot tedy může být uchování dlouhodobého záření, které způsobuje zvýšení hodnot a tím i tepelný stres.

Důležitou roli zde ale hraje i orientace budov, díky které na tomto stanovišti dopadá sluneční záření až cca. do 16 hod.



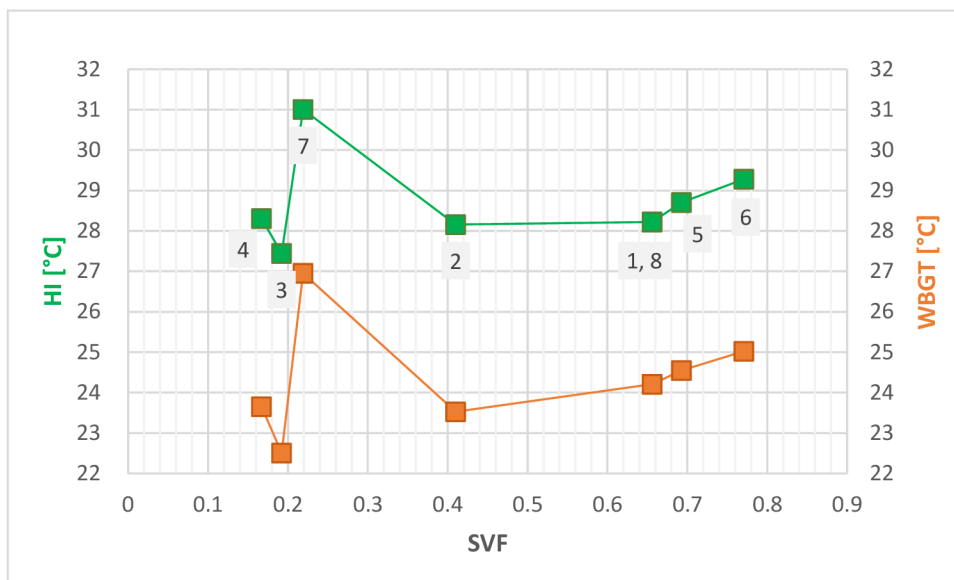
Obr. 22: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc červen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 22 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů HI a WBGT za měsíc červen ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc červen zastupuje pouze jeden den 27. 6. 2019, protože jiný den v červnu nebyl tropický. Nejchladnějším stanovištěm u HI i WBGT je stanoviště č. 3 – ulice Odborů. Průměrná hodnota HI zde dosahuje 21,5 °C a hodnota WBGT 27,0 °C. V případě Heat indexu je druhým nejchladnějším stanovištěm st. č. 5 – Náplavka, kde hodnota SVF je 0,693, což je druhé stanoviště s největší viditelnou plochou oblohy. Zatímco v případě WBGT je druhým nejchladnějším stanovištěm Karlovo náměstí, kde se nachází vzrostlé stromy i vodní prvek (kašna) a hodnota SVF je zde 0,656. Nejhorším stanovištěm je opět st. č. 7 – ulice Resslerova (SVF = 0,219), kde průměrná hodnota HI je 30,2 °C a hodnota WBGT 27,3 °C. Z obr. 22 lze také vidět, že v případě HI je druhým nejhorším stanovištěm st. č. 4 ulice Myslíkova (0,168), kde je hodnota HI pouze o 0,2 °C nižší než na stanovišti ulice Resslerova. Mezi nejnižší hodnotou a nejvyšší hodnotou HI jsou 3,2 °C a mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou WBGT 5,2 °C. K tomuto rozdílu hodnot dochází na stanovištích s podobnou hodnotou SVF – nejnižší hodnoty nastaly u stanoviště č. 3 se SVF 0,192 a nejvyšší u stanoviště č. 7 se SVF 0,219. Avšak obě stanoviště se liší svým prostředím – st. č. 7 bez prvků zeleně a vodního prvku, naopak st. č. 3 se vzrostlými stromy a vodním prvkem.



Obr. 23: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc červenec a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

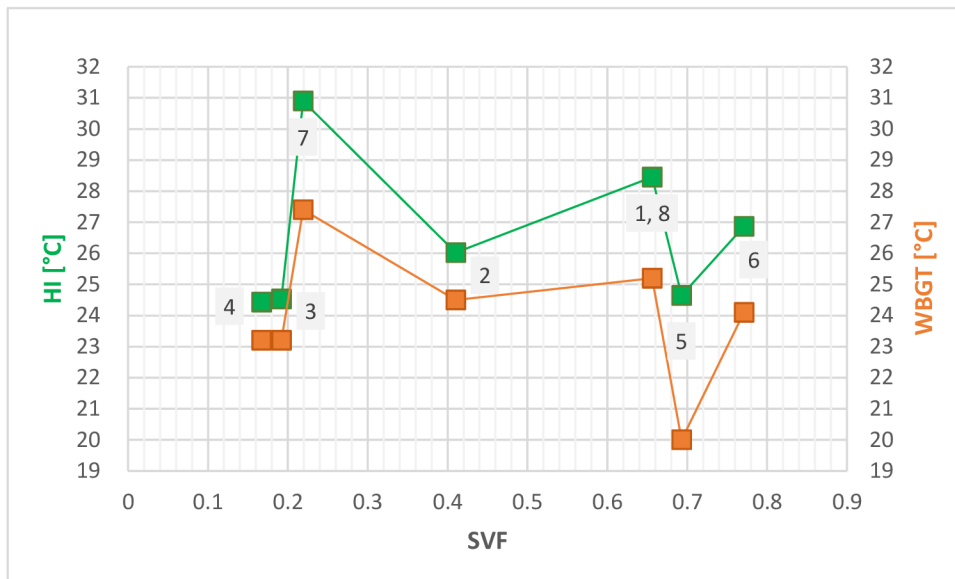
Obr. 23 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů HI a WBGT za měsíc červenec ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc červenec zastupuje pět dní 02. 07. 2019, 24. 07. 2021, 13. 07. 2022, 19. 07. 2022 a 20. 07. 2022. Průběhy křivek průměrných hodnot jsou u obou indexů podobné. Nejnižší hodnoty jsou naměřeny na stanovišti č. 3 – ulice Odborů (SVF = 0,192) a nejvyšší na st. č. 7 – ulice Resslerova (SVF = 0,214). Podobně jako u červnového dne (obr. 17) tak i tady je v případě HI druhým stanovištěm s nejnižší hodnotou stanoviště č. 5 – Náplavka (0,693). Avšak průměrná hodnota HI je na stanovišti. č 4 – Myslíkova (SVF = 0,167) na rozdíl od červnového dne nižší než hodnota na st. č. 6 – Jiráskovo náměstí (SVF = 0,771). Průměrné hodnoty jsou na stanovištích ulice Myslíkova, zastávka Novoměstská radnice, Karlovo náměstí a Náplavka u obou indexů podobné, liší se max. o 0,2 °C, což je zajímavé protože každé stanoviště má jinou hodnotu SVF – ulice Myslíkova představuje nejnižší hodnotu SVF (0,167), zatímco Karlovo náměstí a Náplavka téměř nejvyšší (0,656 a 0,693).



Obr. 24: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc srpen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

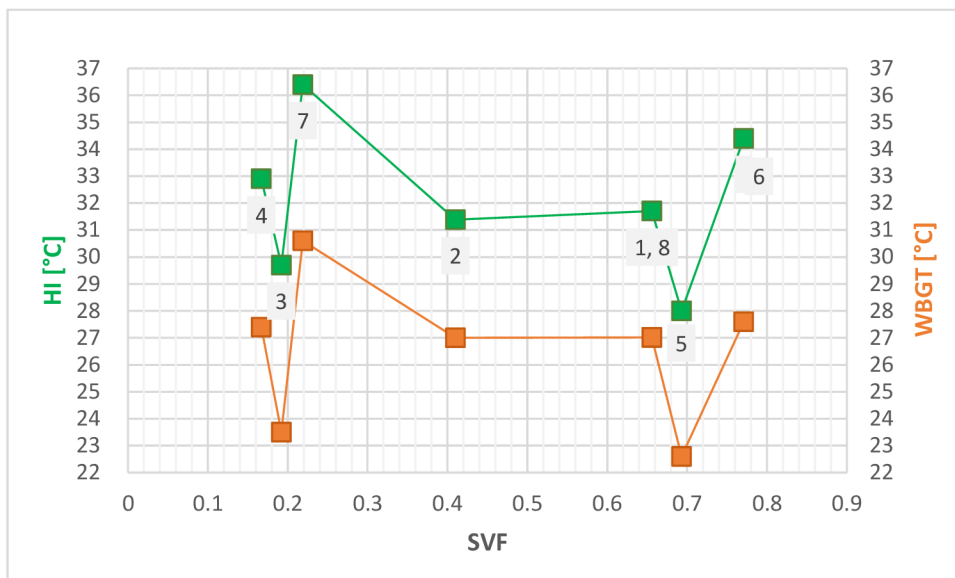
Obr. 24 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů HI a WBGT za měsíc srpen ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc srpen zastupuje pět dní: 27. 08. 2019, 28. 08. 2019, 17. 08. 2022 a 25. 08. 2022. Pořadí stanovišť u obou indexů je od nejnižších hodnot po ty nejvyšší podobný jako u červnových a červencových měření. Nejchladnějším stanovištěm je opět stanoviště ulice Odborů a stanovištěm s nejvyššími hodnotami je ulice Resslerova. Liší se pouze pořadí u průměrných hodnot HI u stanoviště Karlovo náměstí a Náplavka, kdy průměrná hodnota u Náplavky je tentokrát vyšší.

Pro porovnání hodnot HI a WBGT v jednotlivých měřicích okruzích v závislosti na hodnotách SVF u jednotlivých stanovišť byl vybrán ze všech naměřených tropických dní nejteplejší den 20. 7. 2022. V tomto dni byly naměřeny nejvyšší průměrné hodnoty HI, WBGT, PET i UTCI a také průměrná teplota vzduchu. Současně byla tento den naměřena nejvyšší teplota vzduchu a to 37,4 °C. Jednalo se o skoro jasný den s průměrnou oblačností 2/8 a s nižší vlhkostí vzduchu (v průměru 28 %). Tento den došlo také k překročení všech hodnot představující vysoké až extrémní hodnoty tepelného stresu u všech pozorovaných biometeorologických indexů (HI – 27x, WBGT – 9x, PET – 17x i UTCI – 8x) (kap. 3.1.4).



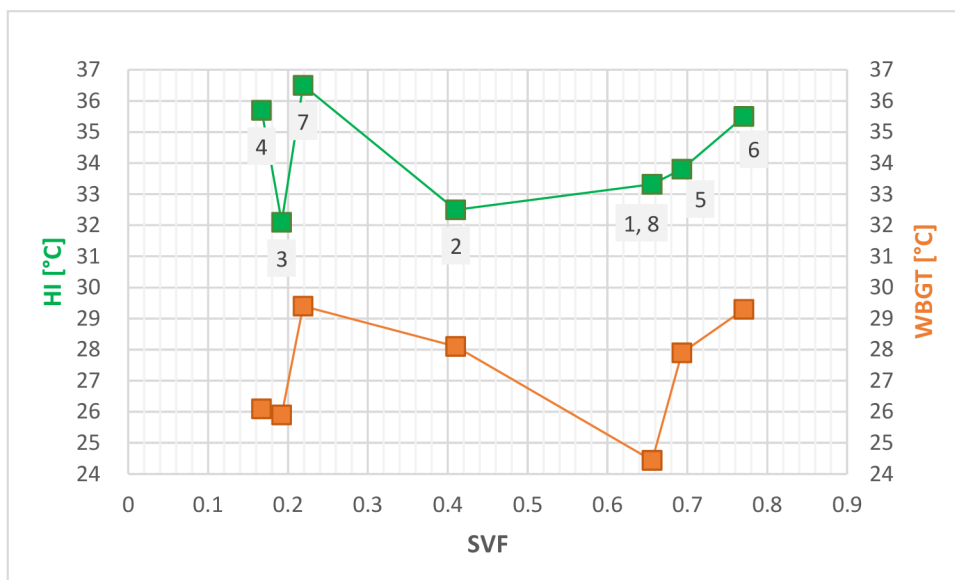
Obr. 25: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 1. okruh (9:00 – 11:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Z obr. 25 lze vidět, že nejchladnějším stanovištěm z hlediska WBGT během prvního měřicího okruhu je zřetelně stanoviště č. 5 - Náplavka, ale u HI tomu tak není. Je to možné z toho důvodu, že WBGT do svého výpočtu bere v úvahu i množství dopadajícího slunečního záření a stanoviště Náplavka byla během tohoto okruhu stále ve stínu. Z hlediska HI jsou stanoviště s nejnižšími hodnotami stanoviště č. 4 – ulice Myslíkova, č. 3 – ulice Odborů a č. 5 – Náplavka. Nejvyšší hodnoty jsou u obou indexů naměřeny na st. č. 7 – ulice Resslerova. Rozdíl mezi nejvyšší hodnotou a tou nejnižší je u HI 6,3 °C, přičemž velký rozdíl je i mezi hodnotami SVF. Vysvětlením může být rozdílné prostředí na těchto stanovištích. Zatímco ulice Resslerova je od rána vystavena přímému slunečnímu záření a nachází se v blízkosti vysokých budov, kde se uchovává dlouhovlnné záření, Náplavka je během prvního okruhu ve stínu. To stejné nastává i z hlediska WBGT, kde rozdíl mezi těmito stanovišti je 7,3 °C.



Obr. 26: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 2. okruh (11:00 – 13:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

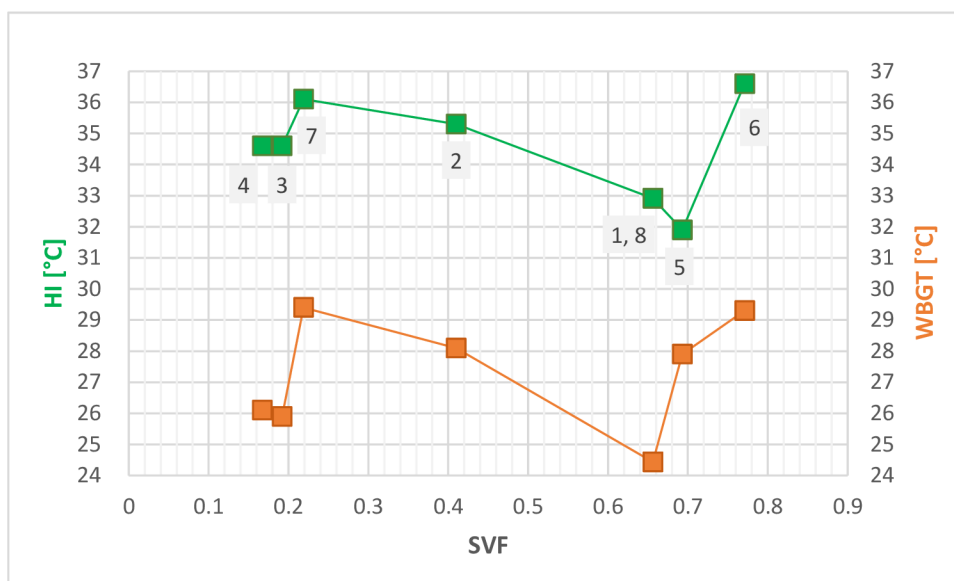
Z obr. 26 je patrné, že nejchladnějším stanovištěm z hlediska HI a WBGT je opět stanoviště č. 5 - Náplavka, které je během tohoto okruhu stále ve stínu. Nejvyšší hodnoty těchto indexů jsou opět zaznamenány na st. č. 7 – ulice Resslerova. Pořadí se mění akorát u stanoviště č. 7 – Jiráskovo náměstí, na kterém je naměřena druhá nejvyšší hodnota HI i WBGT.



Obr. 27: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 3. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

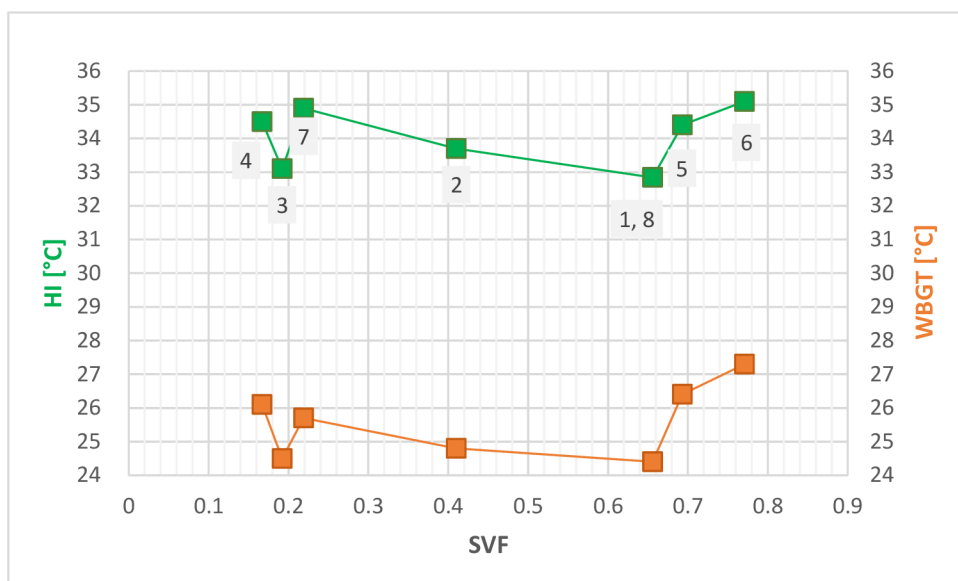
Na obr. 27 lze vidět, že pořadí stanovišť se během třetího okruhu změnilo. Nejmenší průměrná hodnota z hlediska WBGT byla naměřena na stanovišti Karlovo náměstí. Oproti třetímu okruhu došlo u tohoto stanoviště k poklesu hodnoty tepelné

zátěže u WBGT o 2,5 °C. Dle mého názoru docházelo k ochlazování stanoviště vzrostlými stromy, které je neúčinnější během nejvyšších teplot vzduchu. Na stanovištích ulice Resslova (SVF = 0,214) a Jiráskovo náměstí (SVF = 0,771) byly naměřeny podobné hodnoty, přičemž rozdíl mezi hodnotami SVF je mezi těmito stanovišti velký. Nejnižší hodnota u HI byla zaznamenána na stanovišti č. 3 – ulice Odborů, naopak nejvyšší hodnota byla naměřena v ulici Resslova. Druhá nejvyšší hodnota byla naměřena na stanovišti č. 4 ulice Myslíkova, kde ale hodnota tepelné zátěže WBGT nebyla extrémní na rozdíl od stanoviště ulice Resslova nebo Jiráskovo náměstí.



Obr. 28: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 4. okruh (15:00 – 17:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

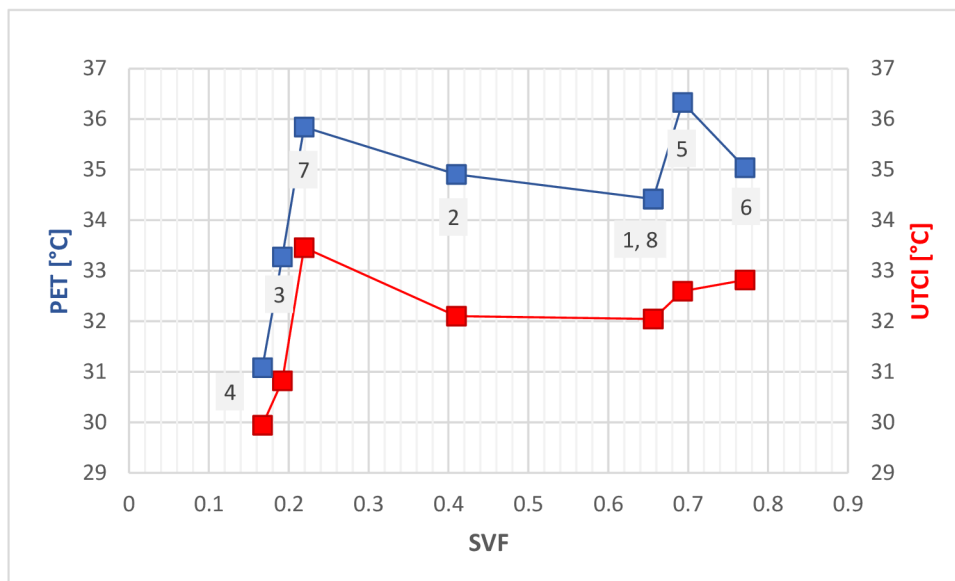
Pořadí stanovišť od nejnižší hodnoty WBGT po tu nejvyšší zůstává stejný jako v případě třetího okruhu (obr. 28). V případě HI byla maximální hodnota (36,6 °C) naměřena na stanovišti Jiráskovo náměstí, kde byla ale srovnatelná extrémní tepelná zátěž podle WBGT stejná jako na stanovišti ulice Resslova. Zajímavé je, že nejnižší hodnota HI byla naměřena na stanovišti Náplavka, přičemž nejnižší hodnota tepelné zátěže z hlediska WBGT byla naměřena na stanovišti Karlovo náměstí.



Obr. 29: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 5. okruh (17:00 – 19:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

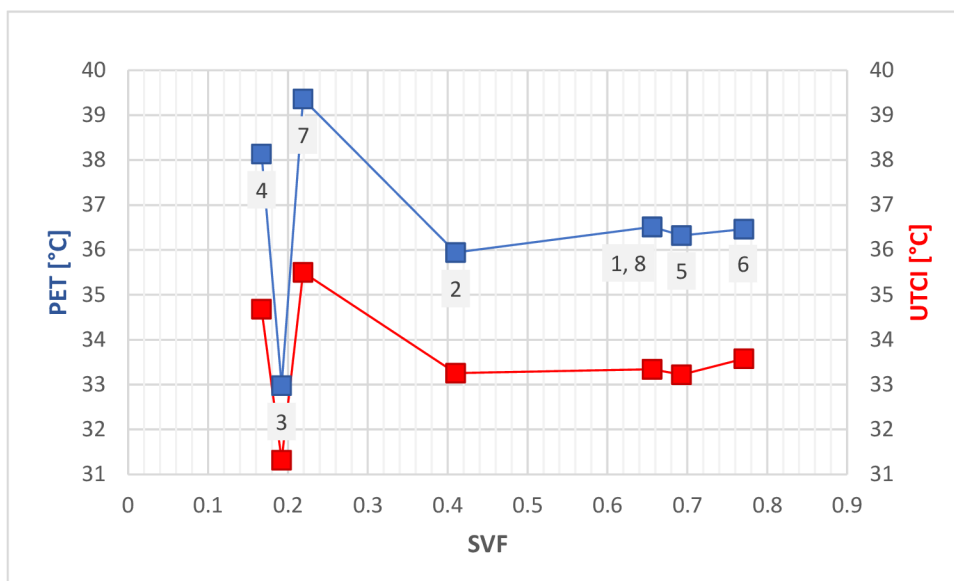
Rozdíl mezi hodnotami HI a WBGT je nejvíce viditelný v pátém okruhu (obr. 29). Hodnoty WBGT jsou nižší než v ostatních okruzích, zatímco v případě HI jsou v posledním okruhu u všech stanovišť téměř nejvyšší. Nejvyšší hodnota WBGT je naměřena na stanovišti Jiráskovo náměstí a druhá nejvyšší na stanovišti Náplavka. Tepelná zátěž z hlediska WBGT byla během pátého okruhu na stanovišti Resslerova nižší než na stanovišti Jiráskovo náměstí, Náplavka i Myslíkova, což je zajímavé, protože až do čtvrtého okruhu zde byla tepelná zátěž ze všech stanovišť nejvyšší. Nejvyšší hodnota HI byla zaznamenána také na Jiráskovo náměstí a druhá nejvyšší na Náplavce. Tepelná zátěž se tedy na stanovišti Náplavka během dne zhoršuje, zatímco na stanovišti v ulici Resslerova se snižuje.

3.2.2 Racionální indexy



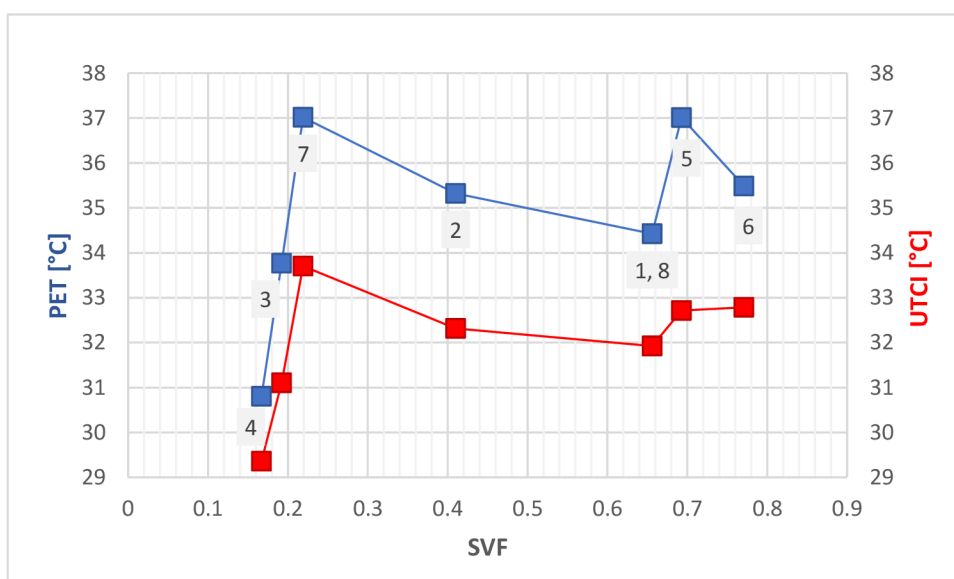
Obr. 30: Závislost průměrných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť za všechna měření během všech let. Čísla, která jsou zvýrazněna šedě, představují čísla stanovišť.

Na obr. 30 jsou zobrazeny průměrné hodnoty racionálních indexů – PET a UTCI pro každé stanoviště ze všech měřících tropických dní od roku 2019 do roku 2022. PET index je efektivní teplota referenčního prostředí (kancelář, domov – kde se člověk cítí příjemně), která by u člověka způsobila stejnou fyziologickou odezvu jako prostředí, které je předmětem studie, tj. stejnou teplotu pokožky a těla. Nejhorší stanoviště z hlediska tohoto indexu je Náplavka (č. 5), kde průměrná hodnota dosahovala 36,3 °C, což představuje silný tepelný stres. Druhým nejhorším stanovištěm je stanoviště v ulici Resslova (č. 7). Nejnižší průměrná hodnota byla zaznamenána na stanovišti v ulici Myslíkova (č. 4). UTCI oproti PET vychází z novějšího fyziologického modelu a jako referenční podmínky a fyzickou aktivitu uvádí chůzi 4 km/h. Z hlediska tohoto indexu je nejhorším stanovištěm ulice Resslova. Stanoviště s nejnižší průměrnou hodnotou UTCI indexu se nachází v ulici Myslíkova. Zajímavé je, že obě tyto stanoviště mají podobnou hodnotu SVF (0,167 a 0,214).



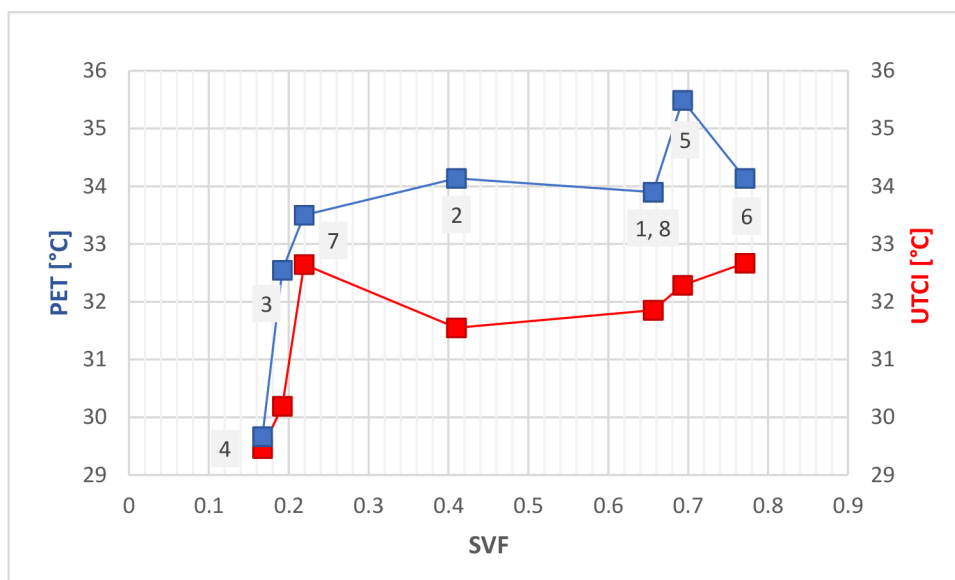
Obr. 31: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc červen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 31 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů PET a UTCI za měsíc červen ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc červen zastupuje pouze jeden den 27. 6. 2019, protože jiný den v červnu nebyl tropický. Nejnižší průměrné hodnoty obou indexů byly naměřeny na stanovišti ulice Odborů (č. 3), naopak nejvyšší na stanovišti ulice Resslerova (č. 7). Průměrné hodnoty na stanovištích č. 2, 1/8, 5 a 6 byly u obou indexů srovnatelné.



Obr. 32: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc červenec a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 32 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů PET a UTCI za měsíc červen ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc červenec zastupuje pět dní 02. 07. 2019, 24. 07. 2021, 13. 07. 2022, 19. 07. 2022 a 20. 07. 2022. Za měsíc červenec dosáhlo nejvyšší průměrné hodnoty PET indexu stanoviště Náplavka, která byla srovnatelná s hodnotou zaznamenané na stanovišti v ulici Resslerova. Nejnižší průměrná hodnota PET indexu byla naměřena na stanovišti ulice Myslíkova. Rozdíl mezi nejnižší průměrnou a nejvyšší průměrnou hodnotou bylo 6,2 °C. V případě UTCI indexu byla nejvyšší průměrná hodnota naměřena na stanovišti ulice Resslerova a nejnižší taktéž na stanovišti ulice Myslíkova. Stanoviště Náplavka je u tohoto indexu srovnatelné se stanovištěm Jiráskovo náměstí.

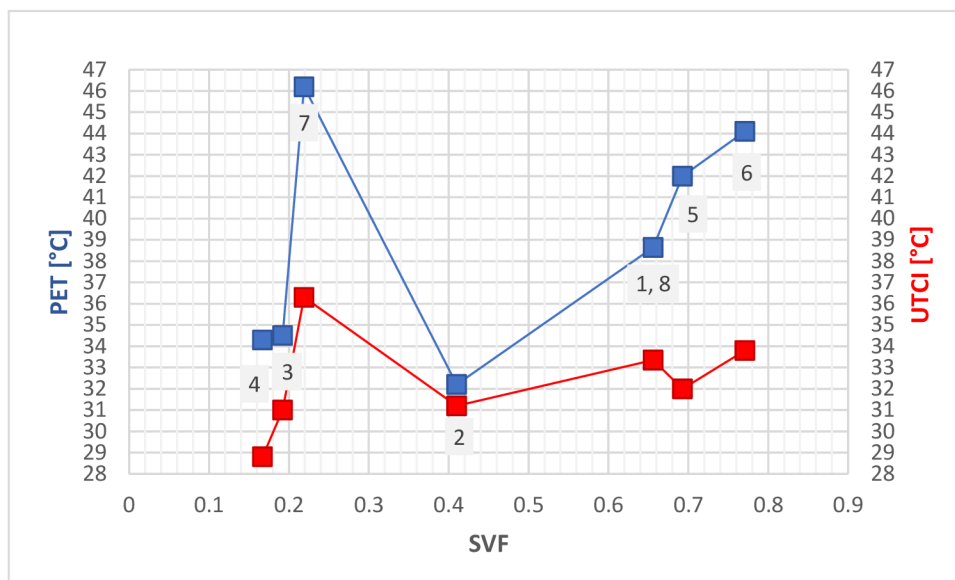


Obr. 33: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc srpen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 33 zobrazuje závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů HI a WBGT za měsíc srpen ze všech roků a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť. Měsíc srpen zastupuje pět dní: 27. 08. 2019, 28. 08. 2019, 17. 08. 2022 a 25. 08. 2022. Zatímco pořadí stanovišť z hlediska průměrných hodnot se v případě UTCI indexu oproti červnu a červenci nemění, u PET indexu ke změně dochází. Nejvyšší průměrná hodnota PET indexu je zaznamenána na stanovišti Náplavka. Rozdíl mezi stanovištěm Náplavka a druhým nejhorším stanovištěm Jiráskovo náměstí je 1,4 °C, což je nejvyšší rozdíl ze všech měřících měsíců. V srpnu také došlo ke snížení

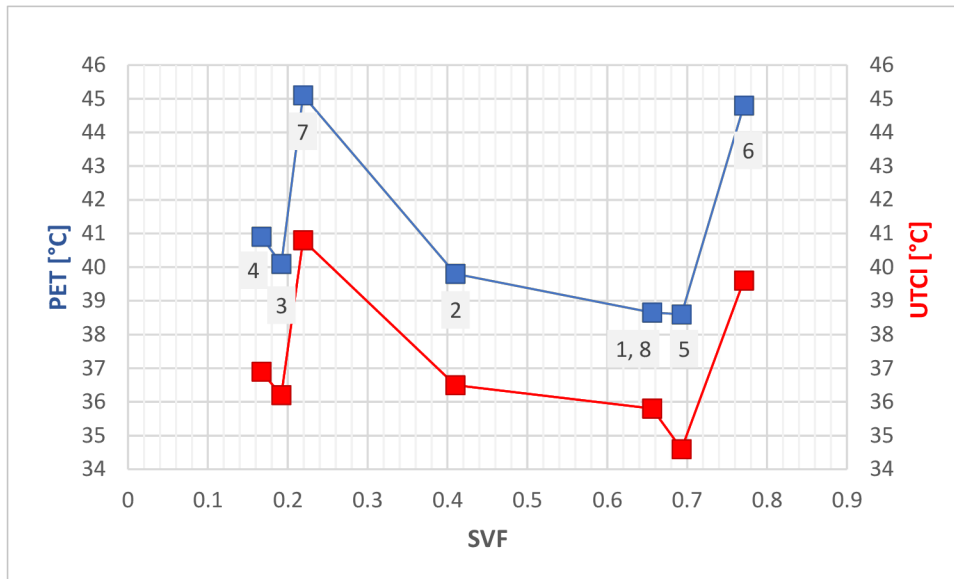
průměrné hodnoty PET indexu na stanovišti ulice Resslova oproti červnu a červenci až o 6 °C. Stanovištěm s nejnižší průměrnou hodnotou je opět ulice Myslíkova.

Pro porovnání racionálních indexů (PET a UTCI) v jednotlivých měřicích okruzích v závislosti na hodnotách SVF u jednotlivých stanovišť byl také vybrán den 20. 7. 2022, což je nejteplejší den ze všech měřicích dní.



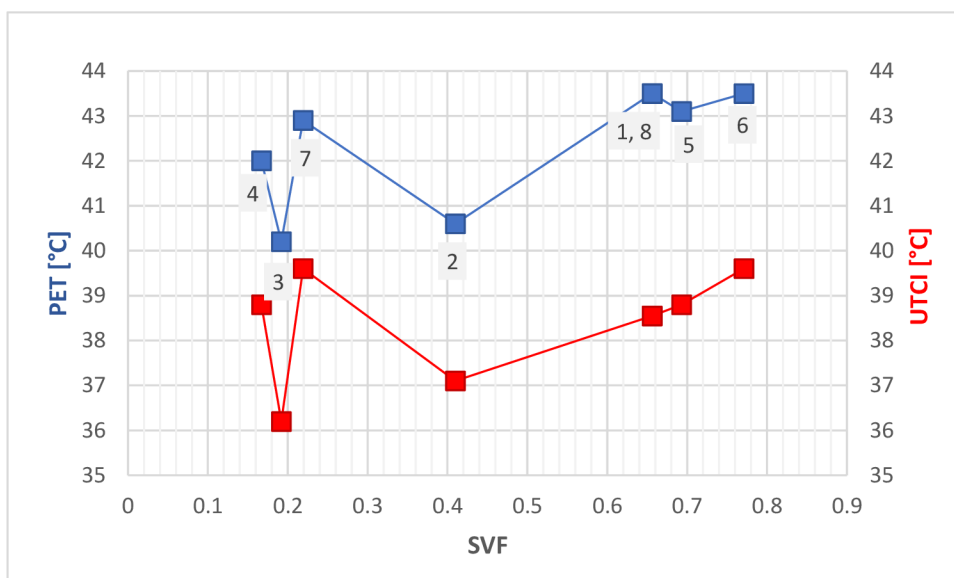
Obr. 34: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 1. okruh (9:00 – 11:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

K největšímu rozpětí hodnot PET indexu došlo během prvního měřicího okruhu (obr. 34). Mezi nejnižší hodnotou na stanovišti zastávka Novoměstská radnice (č. 4) a nejvyšší hodnotou na stanovišti v ulici Resslova (č. 7) je rozdíl 14 °C. Druhá nejvyšší hodnota PET indexu byla naměřena na stanovišti Jiráskovo náměstí (č. 6). Mezi stanovišti s podobným SVF (0,167, 0,192 a 0,214) je rozdíl hodnot cca. 12 °C. Vysoké hodnoty na stanovišti v ulici Resslově jsou způsobeny přímým vlivem slunečního záření během prvního kola měření a nepřítomností prvků zeleně a vodních prvků. Zajímavé je, že hned během prvního okruhu dosáhla hodnota na stanovišti Resslova velmi vysoké hodnoty (46,2 °C), která představuje vysoké riziko vysoké tepelné zátěže. V případě UTCI indexu je nejnižší hodnota zaznamenána na stanovišti v ulici Myslíkova, naopak nejvyšší opět na stanovišti Resslova. Rozdíly mezi jednotlivými stanovišti není v případě UTCI až tak výrazný (max. 7,5 °C).



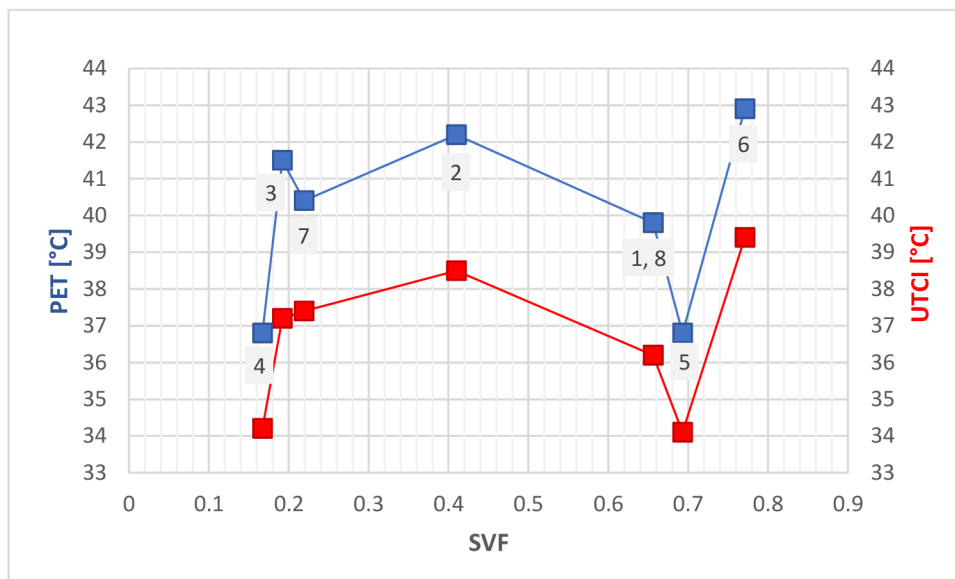
Obr. 35: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 2. okruh (11:00 – 12:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Průběh křivek naměřených hodnot jsou u obou indexů téměř totožné (obr. 35). Nejvyšší hodnota PET i UTCI indexu je naměřena na stanovišti ulice Resslerova (č. 7) a druhá nejvyšší hodnota s minimálním rozdílem je zaznamenána na stanovišti Jiráskovo náměstí (č. 6). Nejnižší hodnoty jsou naměřeny na stanovišti Náplavka (č. 5).



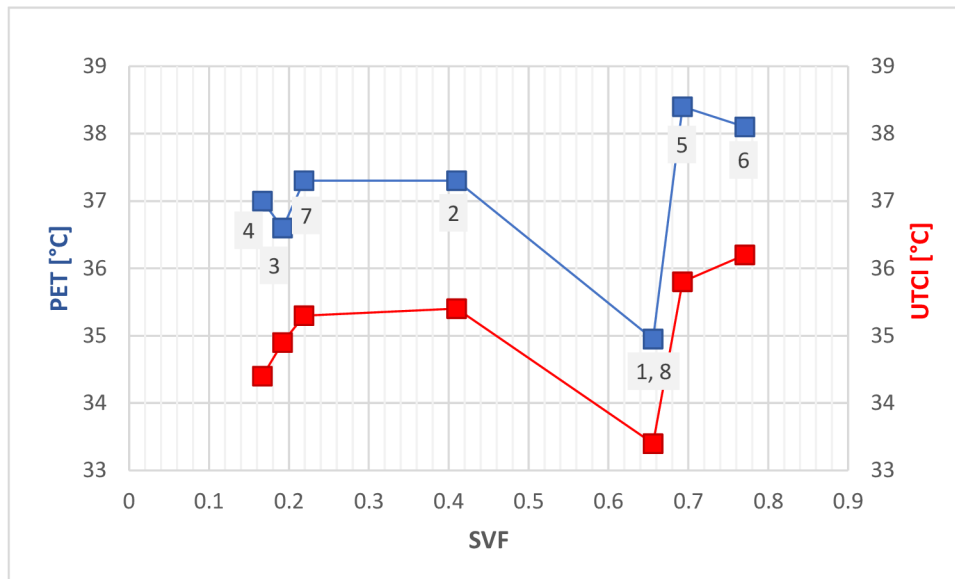
Obr. 36: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 3. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Nejvyšší hodnoty PET indexu během třetího okruhu jsou zaznamenány na stanovišti Karlovo náměstí (č. 1,8), na Jiráskovo náměstí (č. 6) a na Náplavce (č. 5), tedy na stanovištích s podobně vysokým SVF (0,656; 0,771; 0,693) (obr. 36). Nejnižší hodnota je naměřena na stanovišti v ulici Odborů (č. 3). V případě UTCI indexu je také nejchladnějším stanovištěm ulice Odborů, kde je silná zátěž teplem (36,2 °C). Nejvyšší hodnoty jsou naměřeny na stanovištích ulice Resslerova (č. 7) a Jiráskovo náměstí mezi nimiž je v hodnotách minimální rozdíl.



Obr. 37: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 4. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Z obr. 37 je patrné, že nejnižší hodnota u obou indexů byla stejně jako během prvního měřicího okruhu naměřena na stanovišti ulice Myslíkova (č. 4). Ve čtvrtém okruhu došlo ke snížení tepelné zátěže i na stanovišti Náplavka (č. 5), kde hodnoty dosahují podobných hodnot jako na stanovišti ulice Myslíkova. Nejvyšší hodnoty obou indexů byly naměřeny na stanovišti Jiráskovo náměstí (č. 6). Rozdíl v nejnižší a nejvyšší hodnotě mezi stanovištěm s nejnižším SVF (0,167) a nejvyšším SVF (0,771) je u PET indexů 6 °C a u UTCI indexu 5,2 °C. Zajímavostí je, že během čtvrtého okruhu došlo ke zvýšení tepelné zátěže na stanovišti ulice Odborů (č. 3), kde bývá v jiných okruzích oproti jiným stanovištím příjemněji.



Obr. 38: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 5. okruh (17:00 – 19:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Z obr. 38 lze vidět, že hodnota PET indexu u všech stanovišť kromě stanoviště Náplavka (č. 5) klesla. Na Náplavce došlo naopak ke zvýšení hodnoty o 1,6 °C. Nejpříjemněji bylo během pátého okruhu na stanovišti Karlovo náměstí (č. 1,8). Nejvyšší hodnoty obou indexů byly naměřeny na stanovištích s podobným SVF (0,693 a 0,771). K největšímu rozdílu (3, 5 °C) mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou u PET indexu došlo mezi stanovišti s podobným SVF (st. 1,8 a st. 5), ale s jiným prostředím. Na Karlově náměstí se nachází vzrostlé stromy, zatímco na Náplavce se žádné prvky zeleně ani stínící prvky nenachází.

4 Diskuze

Tato diplomová práce je zaměřena na kvantifikaci vlivu zastínění na biometeorologické podmínky na vybraných stanovištích v centru Prahy na základě terénního cvičení. K určení množství dopadajícího záření na jednotlivá stanoviště byly pořízeny fotografie pomocí Fisheye objektivu (rybí oko). Z těchto fotografií byla následně v softwaru RayMan vypočítaná hodnota SVF, která je klíčovým ukazatelem pro vyhodnocení zastínění. Pro vyhodnocení SVF byla tedy použita fotogrammetrická metoda. Z důvodu většího počtu dat byla k datům z roku 2021 a 2022 přidána i data z roku 2019, která byla naměřena pro účely bakalářské práce (Chlapcová, 2020).

4.1 Vyhodnocení rozdílu v charakteru počasí mezi jednotlivými dny

Z výsledků je patrné, že nejvyšší hodnoty biometeorologických indexů byly naměřeny v roce 2022 (tab. 8). Nejvyšší hodnota průměrné teploty a průměrné hodnoty těchto indexů byly zaznamenány 20. července 2022. V tento den byla také naměřena nejvyšší teplota vzduchu a to 36,9 °C. Z tab. 9–12 lze vidět, že k častějšímu překročení vysoké tepelné zátěže u všech indexů a zároveň i k překročení na více stanovištích během jednoho dne docházelo v roce 2022. Nejčastěji k tomu docházelo během druhého a třetího okruhu. Co se týče největšího počtu překročení hodnot zvýšené až vysoké tepelné zátěže je na tom nejhůř 20. července 2022.

Nejvyšší hodnota (31,6 °C) představující extrémní riziko tepelné zátěže z hlediska WBGT byla naměřena 17. srpna 2022 opět na stanovišti v ulici Resslerova. Současně byla v této ulici, ve stejný čas (během třetího okruhu – 14:02 SELČ) zaznamenána nejvyšší hodnota HI (36,9 °C).

Z hlediska PET indexu byla extrémní hodnota tepelného stresu (52,7 °C) zaznamenána ve 13:53 SELČ 19. července 2022 na Náplavce. Naopak maximální hodnota UTCI (40,8 °C) byla zaznamenána o den později (20. 07. 2022) opět v ulici Resslerova. Zajímavé je, že kromě UTCI byly všechny indexy naměřeny během třetího okruhu po pravém poledni, které je ve 13:00 hod.

Stanovištěm s nejhorsím tepelným komfortem bylo stanoviště v ulici Resslerova a s tím nejlepším ulice Odborů, kde k překročení hodnot došlo pouze jednou.

4.2 Vliv SVF na biometeorologické podmínky

V rámci bakalářské práce (Chlapcová, 2020) byla vyhodnocena jednotlivá měření, která probíhala na stejných stanovištích během devíti dní v roce 2019. Z výsledků bylo patrné, že nejchladnějším stanovištěm je ulice Odborů, a naopak nejteplejším je ulice Resslerova, kde docházelo k nejčastějšímu překročení hodnoty (28,1 °C) extrémního rizika tepelné zátěže z hlediska WBGT. Ulice Resslerova ale nebylo jediné stanoviště, kde k tomu docházelo. Dalšími stanovišti, na kterých došlo k překročení této hodnoty bylo Jiráskovo náměstí nebo Náplavka. Z výsledků této práce bylo dále zjištěno, že biometeorologické podmínky na stanovišti Náplavka jsou srovnatelné se stanovištěm Karlovo náměstí. Otázkou bylo jaký vliv na výsledky mělo zastínění stanoviště, z toho důvodu byla provedena tato diplomová práce.

První, kdo použil k posouzení efektu MTO v městském prostředí SVF byl Oke (1981). SVF vyjadřuje poměr otevřené oblohy, kterou lze vidět z určitého místa, k celkové obloze, kterou by bylo možné vidět bez okolních budov a jiných překážek (stromy, sloupy nebo lampy) (Miao a kol. 2019). Hodnota SVF se pohybuje od 0 do 1, kdy 0 znamená, že je obloha zcela pokryta překážkami, zatímco 1 znamená zcela otevřenou oblohu (Dirksen a kol. 2019).

Stanoviště lze z hlediska SVF rozdělit do tří skupin – stanoviště s nízkou hodnotou SVF, stanoviště se středně vysokou hodnotou SVF a stanoviště s vysokou hodnotou SVF. Do první skupiny patří stanoviště ulice Odborů (č. 3), ulice Myslíkova (č. 4) a ulice Resslerova (č. 7). Do druhé lze zařadit stanoviště zastávka Novoměstská radnice (č. 2) a do té třetí Karlovo náměstí (č. 1,8), Náplavku (č. 5) a Jiráskovo náměstí (č. 6) (tab. 13).

Tab. 13: Rozdělení jednotlivých stanovišť do jednotlivých skupin podle hodnoty SVF. Žluté jsou zvýrazněny stanoviště s vysokým SVF, tmavě modře stanoviště se středně vysokým SVF a světle modře stanoviště s nízkým SVF.

	1., 8.	2	3	4	5	6	7
SVF	0,656	0,410	0,192	0,167	0,693	0,771	0,219
skupina	3	2	1	1	3	3	1

Nízké hodnoty SVF na stanovištích z první skupiny (tab. 13) nám říkají, že tyto stanoviště se nacházejí na místech, ze kterých je vidět velmi malý podíl oblohy. Jsou tedy obklopeny zástavbou, zelení anebo jejich kombinací. Stanoviště Novoměstská radnice (skupina 2) se nachází na místě, kde se nachází vzrostlé stromy a podíl viditelné oblohy menší, ale ne úplně malý. Na stanovištích ze třetí skupiny jsou hodnoty SVF vyšší a představují větší podíl viděné oblohy. Přímo charakteristiku těchto stanovišť lze vidět na obr. 20.

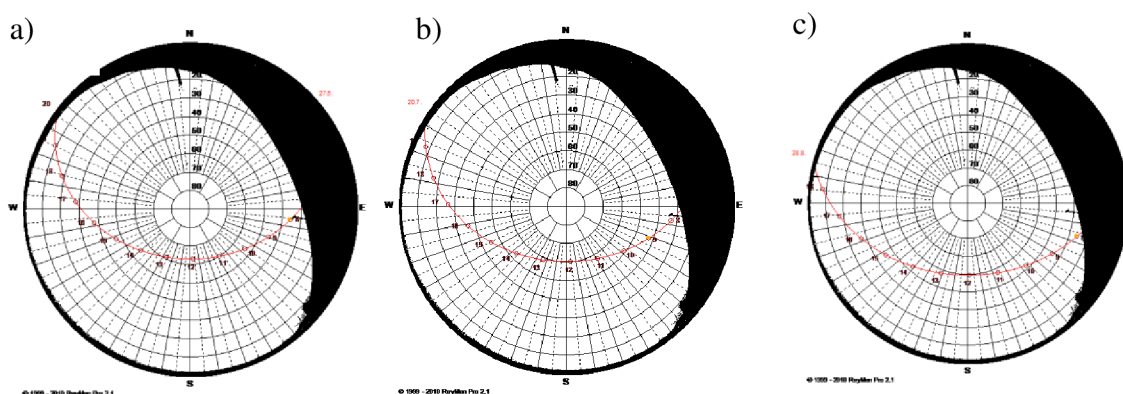
Pro vyhodnocení výsledků byly biometeorologické indexy rozděleny na přímé (HI a WBGT) a racionální (UTCI a PET). Data byla pro účely výsledků z důvodu představení základního chování jednotlivých stanovišť zprůměrována za všechny roky (obr. 21, 30). Dále byla zprůměrována i za jednotlivé měřicí měsíce (červen, červenec a srpen) (obr. 22-24 a 31-33). Pro přehled chování indexů na jednotlivých stanovištích během dne byly indexy zkoumány i v rámci jednotlivých měřicích okruhů (obr. 25-29 a 35-38).

Pokud se podíváme na vyhodnocení výsledků z průměrovaných hodnot obou skupin indexů za všechny roky, je vidět, že pokud by se při vyhodnocování nepočítalo se stanovištěm v ulici Resslerova tak s rostoucí hodnotou SVF rostou i hodnoty daných indexů. Z obr. 21 a 30 je patrné, že u racionálních indexů je tento jev výraznější, než je tomu v případě přímých indexů. Důvodem může být využití rozdílných prvků vstupujících do výpočtu jednotlivých indexů, kdy racionální indexy kombinují mimo povětrnostní parametry i termofyziologické (oblečení a lidské aktivity) parametry. Současně oproti přímých indexů porovnávají fyziologické reakce s referenčním prostředím (Blazejczyk a kol. 2012, Chen a Matzarakis 2014 - PET index s referenčním prostředím v klidu (v kanceláři nebo doma) a UTCI s fyzickou aktivitou – chůzí 4 km/h (Blazejczyk a kol. 2012). Vysoké hodnoty na stanovišti ulice Resslerova, která sice patří do první skupiny s nízkým SVF lze vysvětlit světovou orientací ulice (od západu na východ), díky které je stanoviště téměř celý den vystaveno slunečnímu záření. Lze tedy říct, že SVF není jediným faktorem, který ovlivňuje biometeorologické indexy v městském prostředí.

V případě přímých indexů (HI a WBGT) došlo v pořadí jednotlivých stanovišť mezi měřicími měsíci (červen, červenec a srpen) pouze k nepatrným změnám. Nejchladnějším stanovištěm bylo ulice Odborů a stanovištěm s největší tepelnou zátěží v případě obou indexů byla ulice Resslerova, což je zajímavé, protože

obě stanoviště patří do stejné skupiny s nízkým SVF. Vysvětlením je právě světová orientace ulice Resslerova viz. výše. Měsíc červen se od července a srpna lišil v pořadí druhého nejteplejšího stanoviště. V červnu jím bylo stanoviště v ulici Myslíkova, a naopak v ostatních měsících to bylo stanoviště Jiráskovo náměstí. Hlavním důvodem je, že v červnu se ve výsledcích počítalo pouze s jedním dnem, zatímco v červenci s pěti a v srpnu se čtyřmi.

V případě racionálních indexů (PET a UTCI) došlo v pořadí stanovišť mezi jednotlivými měsíci k výraznějším změnám. Nejvýraznější změna je nejvíce vidět u stanoviště Náplavka. V červnu v odpoledních hodinách již cca. od 17:00 SELČ díky kopci na západě toto stanoviště nebylo vystaveno přímému slunečnímu záření (Obr. 39–a)). Zatímco v červenci (obr. 39–b) a hlavně v srpnu (obr. 39–c) zde přímé sluneční záření dopadalo déle, protože dopadalo více od jihu. Na obr. 33 je názorně vidět rostoucí závislost hodnot těchto indexů s rostoucím SVF.



Obr. 39: Poloha Slunce na obloze během dne a) 27. 06. 2019, b) 20. 07. 22 a c) 28. 08. 2022, na stanovišti Náplavka, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

U obou skupin biometeorologických indexů je patrná závislost mezi naměřenými hodnotami těchto indexů a zastíněním stanoviště. Během prvního okruhu byla nejvyšší tepelná zátěž naměřena na stanovišti v ulici Resslerova s hodnotou SVF (0,214). Velmi vysoká tepelná zátěž (z hlediska všech indexů) byla naměřena i na stanovištích Náplavka (0,693) a Jiráskovo náměstí (SVF = 0,771). Pokud by se do vyhodnocení nepočítalo stanoviště v Resslerově ulici, tak by byla patrná lineární závislost těchto indexů s rostoucím SVF. Tu lze patrně vidět z obr. 36-38 - průběh třetího až pátého okruhu (v ulici Resslerova už byl stín), kdy nejnižší hodnoty jsou naměřeny v ulici Myslíkova (0,167) a nejvyšší na Jiráskovo náměstí s nejvyšší hodnotou SVF.

Pro příští studii by bylo vhodné zvážit vynechání měření na stanovišti č. 7 – ulice Resslova, která díky své orientaci (západ – východ) narušuje lineární průběh závislosti naměřených hodnot jednotlivých indexů se zvyšující se hodnotou SVF. Dále se nabízí zjištění vlivu jednotlivých proměnných na výsledné indexy.

Výsledky potvrdily, že nejhorší tepelná zátěž z hlediska racionálních indexů (PET a UTCI) byla na stanovišti Náplavka. Náplavka bývá hlavně během letních měsíců hojně navštěvovaným místem z důvodů konání kulturních a společenských akcí. Na tomto stanovišti se sice nachází vodní prvek – řeka Vltava, ale díky příhodné orientaci boční kamenné zdi nábřeží vůči slunce a absence stínících prvků jsou zde během horkých dní výrazně zhoršené zátěžové podmínky. Jiné studie prokázaly, že míra zastínění stanoviště bývá v tomto ohledu rozhodujícím faktorem (Middel a kol. 2016). Což prokazuje zjištěná hodnota SVF (0, 693), která značí velký poměr otevřené oblohy. V případě tohoto stanoviště se tedy nabízí opatření ve formě stínících prvků, které by zamezily množství dopadajícího slunečního záření.

5 Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit vliv SVF na biometeorologické prvky v centru Prahy. Data byla naměřena na osmi stanovištích v rámci okruhu mezi Karlovým náměstím a Náplavkou v šestnácti dnech od června do srpna 2019, 2021 a 2022.

Výsledky ukázaly, že z hlediska HI a WBGT je nejteplejším stanovištěm ulice Resslova a nejchladnějším ulice Odborů. Naopak z hlediska PET a UTCI indexu bylo stanovištěm s nejhorší tepelnou zátěží stanoviště Náplavka a stanovištěm s nejmenší tepelnou zátěží ulice Myslíkova.

V případě racionálních indexů (PET a UTCI) je závislost mezi naměřenými hodnotami a rostoucími hodnotami SVF lépe zřetelná. Nejmenší tepelná zátěž byla zaznamenána na stanovištích s menší hodnotou SVF – ulice Myslíkova (0,167), ulice Odborů (0,192), zatímco nejvyšší tepelná zátěž byla zaznamenána na stanovištích s vyšší hodnotou SVF – Náplavka (0,693) a Jiráskovo náměstí (0,771). Zvýšená tepelná zátěž byla naměřena i na stanovišti v ulici Resslova, kde je hodnota SVF nízká (0,219). V tomto případě zhoršený tepelný komfort není dán zastíněním stanoviště, ale světovou orientací ulice Resslova (od západu na východ). Z toho důvodu sem téměř celý den dopadá přímé sluneční záření. Naopak na stanovišti Karlovo náměstí, kde je hodnota SVF také vyšší (0,656), tepelná zátěž nebyla tak vysoká z důvodu přítomnosti vzrostlé zeleně.

Z uvedených výsledků vyplývá, že z hlediska teplotního komfortu by bylo vhodné na stanovištích s vyšší hodnotou SVF potřeba územního plánování nebo alespoň instalování stínících prvků. Další možností je zvážit konání kulturních (zejména celodenních) akcí na Náplavce, řešením by byl jejich přesun např. do parku na Karlově náměstí.

6 Literatura

6.1 Odborné publikace

Blazejczyk, K., Epstein, M., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B., 2012: Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, roč. 56, č. 3, s. 515–535.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G., 2012: Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, roč. 56, č. 3, s. 481-494. ISSN 1432-1254. DOI: 10.1007/s00484-011-0454-1.

Dirksen M., Ronda R. J., Theeuwes N. E., Pagani G. A., 2019: Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*, roč. 30. 100498. ISSN 2212-0955. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100498.

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

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

Hanzlíková, H., Plavcová, E., Kynčl, J., Kříž, B., & Kyselý, J., 2015. Contrasting patterns of hot spell effects on morbidity and mortality for cardiovascular diseases in the Czech Republic, 1994–2009. *International Journal of Biometeorology*, roč. 59, č. 11, str. 1673–1684. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0974-1>

Hämmerle M., Gál T., Unger J., Matzarakis A., 2011: Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. 105, č. 3/4, str. 521-527. 1434-4483. ISSN 0177798X, DOI: 10.1007/s00704-011-0402-3.

Chapman L., Thornes J. E., Bradley A.V., 2002: Sky-view factor approximation using GPS receivers. *International Journal of Climatology*. *International Journal of Biometeorology*, roč. 22, č. 5, str. 615–621. ISSN 0899-8418, 1097-0088. DOI: 10.1002/joc.649.

Chen L., Ng E., An X., Ren Ch., dirks M., Wang U., He Z., 2012: Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, roč. 32, č. 1, str. 121-136. ISSN 1097-0088. DOI: 10.1002/joc.2243.

Chen Y., Matzarakis A., 2017: Modified physiologically equivalent temperature—basics and applications for western European climate. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. 132, str. 1275-1289. ISSN 0177798X. DOI: 10.1007/s00704-017-2158-x.

Chen, Y.-C.; Lin, T.-P.; and Matzarakis, A., 2014: Comparison of mean radiant temperature from field experiment and modelling: a case study in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. 118, č. 3, str. 535–551. doi: 10.1007/s00704-013-1081-z.

Cheung H., Coles D., Levermore G., 2016: Urban heat island analysis of Greater Manchester, UK using sky view factor analysis. *Building Services Engineering Research and Technology*, roč. 37, č. 1, str. 5–17. ISSN 0143-6244, 1477-0849. DOI: 10.1177/0143624415588890.

Chlapcová, L., 2020: Vliv městského prostředí na tepelný komfort. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 65 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Chlapcová, L., Urban, A., Kyselý, J., 2021: Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž v centru Prahy, *Meteorologické zprávy*, roč. 74, str. 113–120.

Jabbar K. J., Hamoodi M. N., Hameedawi A. N., 2022: Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, roč. 1129, č. 1. 012038. ISSN 1755-1307, 1755-1315. DOI: 10.1088/1755-1315/1129/1/012038.

Johnson G., Watson I., 1984: The Determination of View-Factors in Urban Canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, roč. 23, str. 329-335. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0329:TDOVFI>2.0.CO;2.

- Liang J., Gong J., Sun J, Liu J., 2017: A customizable framework for computing sky view factor from large-scale 3D city models, *Energy and Buildings*, roč. 149, str. 38–44. ISSN 0378-7788 DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.05.024.
- Lemke, B., Kjellstrom, T., 2012. Calculating Workplace WBGT from Meteorological Data: A Tool for Climate Change Assessment. *Industrial Health*, roč. 50, str. 267-78. DOI: 10.2486/indhealth.MS1352.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G., 1999: Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Climatology*, roč. 43, str. 76–84. DOI: 10.1007/s004840050119.
- Miao Ch., Yu S., Hu Y., Zhang H., He X., Chen W., 2019: Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. *Building and Environment* 168, 106497. ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106497.
- Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M., Roth, M., 2018: Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Climate*, roč. 25, str. 120-134. ISSN: 2212-0955, DOI: 10.1016/j.uclim.2018.05.004.
- Mironovova, M., Havliš, H., 2011: Calculation of GDOP Coefficient.
- Moran, J.M., Morgan, M.D. 1989: *Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather*. Macmillan Publication Co, New York.
- Muñoz, D., Beckers, B., Besuievsky, G, Patow, G., 2018: A technique for massive sky view factor calculations in large cities. *International Journal of Remote Sensing*, roč. 39, č. 12, str. 4040–4058. ISSN 0143-1161. DOI: 10.1080/01431161.2018.1452071.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A., 2017: *Urban Climates*. Cambridge University Press, USA. ISBN 978-1-107-42953-6.
- Oke T. R., 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, roč. 1, č. 3, str. 237-254. ISSN 1097-0088. DOI: 10.1002/joc.3370010304.
- Ratti C., Richens P.: Urban texture analysis with image processing techniques. In: Augenbroe G, 712 Eastman Ch. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures* held in Atlanta, Georgia, 1999.

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

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*, roč. 36, č. 1/2/3, str. 59–80. ISSN 0957-4352, 1741-5101. DOI: 10.1504/IJEP.2009.021817.

Urban, A., Davidkovová, H., & Kyselý, J., 2014. Heat – and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, roč. 58, č. 6, str. 1057–1068. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0693-4>.

Urban, Aleš & Kyselý, Jan., 2014. Využití biometeorologických indexů pro hodnocení kardiovaskulární úmrtnosti a nemocnosti související se stresem z horka a chladu Application of biometeorological indices for evaluation of cardiovascular mortality and morbidity due to heat and cold stress. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, str. 6-12.

Urban, J., Pikl, M., Zemek, F., Novotný, J., 2022: Using Google Street View photographs to assess long-term outdoor thermal perception and thermal comfort in the urban environment during heatwaves. *Frontiers in Environmental Science*, roč. 10, str. 1-18. ISSN 2296665X. DOI: doi.org/10.3389/fenvs.2022.878341.

Vésier, C., 2022. Social inequalities in heat-related mortality. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 60 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Yaglou, CP., Minard, D., 1957: Control of heat casualties at military training centers. *AMA Arch Ind Health*, roč. 16, č. 4, str. 302-316. 13457450.

Zeng L., Lu J., Li W., Li Y., 2018: A fast approach for large-scale Sky View Factor estimation using street view images. *Building and Environment*, roč. 135, str. 74-84. ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.009.

Zhu, S., Guan, H., Bennett, J., Clay, R., Ewenz, C., Bengert, S., Maghrabi, A., Millington, A., 2013: Influence of sky temperature distribution on sky view factor and its applications in urban heat island: INFLUENCE OF SKY TEMPERATURE

DISTRIBUTION. International Journal of Climatology, roč. 33, č. 7, str. 1837-1843. ISSN 08998418. DOI: 10.1002/joc.3660.

6.2 Internetové zdroje

Biometeorologická předpověď Českého hydrometeorologického ústavu. Tepelná zátěž lidského organismu. ČHMÚ: info [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/bio/mapy.php?type=UTCI>.

NATIONAL WEATHER SERVICE (NWS), 2023. Heat index [online]. [cit. 2023. 03. 02]. Dostupné z WWW: <https://www.weather.gov/safety/heat-index>.

UTCI, 2023. UTCI [online]. [cit. 2023-02-03]. Dostupné z WWW: <http://utci.org/>.

6.3 Ostatní zdroje

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

7 Seznam obrázků

Obr. 1: Fotografie získané pomocí objektivu rybího oka v městských lokalitách. Zobrazení různých hodnot SVF (ψ_{sky}) - a) parkoviště - $\psi_{sky} = 0,97$, b) park - $\psi_{sky} = 0,48$, c) ulice lemovaná stromy - $\psi_{sky} = 0,21$, d) uliční kaňon - $\psi_{sky} = 0,36$, e) křižovatka - $\psi_{sky} = 0,33$, f) nádvoří - $\psi_{sky} = 0,27$ (Oke a kol. 2017).

Obr. 2: Záření v otevřeném prostoru nebo v uličním kaňonu. a) Krátkovlnné záření v otevřeném prostoru, b) krátkovlnné záření v uličním kaňonu, c) dlouhovlnné záření v otevřeném prostoru, d) dlouhovlnné záření v uličním kaňonu (Dirksen a kol. 2019).

Obr. 3: Schematický plán zkoumaného území s vyznačenými stanovišti (upraveno podle www.maps.google.cz).

Obr. 4: Přenosný přístroj Kestrel 5400 (www.kestrelinstruments.com).

Obr. 5: Stanoviště č. 1, 8 – Karlovo náměstí

Obr. 6: Stanoviště č. 2 – zastávka Novoměstská radnice

Obr. 7: Stanoviště č. 3 – ulice Odborů

Obr. 8: Stanoviště č. 4 – ulice Myslíkova

Obr. 9: Stanoviště č. 5 – Náplavka

Obr. 10: Stanoviště č. 6 – Jiráskovo náměstí

Obr. 11: Stanoviště č. 7 – ulice Resslerova

Obr. 12: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 13: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Šedá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 14: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 15: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu. N = sever, S = jih, E = východ a W = západ

Obr. 16: Vstupní nastavení v RayMan Pro

Obr. 17: Poloha Slunce na obloze během dne 17. 08. 2022 na stanovišti ulice Resslerova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

Obr. 18: Poloha Slunce na obloze během dne 19. 07. 2022 na stanovišti Náplavka, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ

Obr. 19: Poloha Slunce na obloze během dne 20. 07. 2022 na stanovišti ulice Resslerova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

Obr. 20: Číslo stanoviště, fotografie stanoviště, Fisheye fotografie a hodnoty jednotlivých stanovišť.

Obr. 12: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 13: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Šedá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 14: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu, N = sever, S = jih, E = východ a W = západ.

Obr. 15: Pro demonstraci vyhodnocení SVF bylo použito stanoviště č. 7 – ulice Resslerova. Černá barva představuje budovy a bílá barva oblohu. N = sever, S = jih, E = východ a W = západ

Obr. 16: Vstupní nastavení v RayMan Pro

Obr. 17: Poloha Slunce na obloze během dne 17. 08. 2022 na stanovišti ulice Resslerova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

Obr. 18: Poloha Slunce na obloze během dne 19. 07. 2022 na stanovišti Náplavka, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ

Obr. 19: Poloha Slunce na obloze během dne 20. 07. 2022 na stanovišti ulice Resslerova, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ.

Obr. 20: Číslo stanoviště, fotografie stanoviště, Fisheye fotografie a hodnoty jednotlivých stanovišť.

Obr. 21: Závislost průměrných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť za všechna měření během všech let. Čísla, která jsou zvýrazněna šedě, představují čísla stanovišť.

Obr. 22: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc červen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť

Obr. 23: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc červenec a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 24: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za měsíc srpen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 25: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 1. okruh (9:00 – 11:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 26: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 2. okruh (11:00 – 13:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 27: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 3. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 28: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 4. okruh (15:00 – 17:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 29: Závislost zprůměrovaných hodnot přímých indexů (HI, WBGT) za 5. okruh (17:00 – 19:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 30: Závislost průměrných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť za všechna měření během všech let. Čísla, která jsou zvýrazněna šedě, představují čísla stanovišť.

Obr. 31: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc červen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 32: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc červenec a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť

Obr. 33: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za měsíc srpen a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 34: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 1. okruh (9:00 – 11:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 35: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 2. okruh (11:00 – 12:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 36: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 3. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 37: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 4. okruh (13:00 – 15:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 38: Závislost zprůměrovaných hodnot racionálních indexů (PET a UTCI) za 5. okruh (17:00 – 19:00) během 20. 07. 2022 a jednotlivých hodnot SVF daných stanovišť.

Obr. 39: Poloha Slunce na obloze během dne a) 27. 06. 2019, b) 20. 07. 22 a c) 28. 08. 2022, na stanovišti Náplavka, N = sever, S = jih, W = západ a E = východ

8 Seznam tabulek

Tab. 1: Vlastnosti měřících stanovišť. Symbol ✓ znamená přítomnost vodního prvku nebo zeleně, zatímco x znamená jeho nepřítomnost.

Tab. 2: Znázornění rizika zdravotních potíží souvisejících s tepelnou zátěží člověka (HI) (upraveno podle Blazejczyk a kol. 2012).

Tab. 3 Znázornění rizika tepelného stresu pro člověka při zvýšené fyzické námaze (např. u sportovců) (upraveno podle www.kestrelinstruments.com).

Tab. 4 Teplotní prahy (°C) tepelných vjemů, stupňů fyziologického stresu a rizika PET indexu (upraveno podle Matzarakis a kol. 1999).

Tab. 5 Znázornění zátěže, režimového doporučení a fyziologických procesů dle stupňů UTCI (upraveno podle Bröde a kol. 2012, @CHMI).

Tab. 6 Maximální teploty v jednotlivých dnech měření pro všechna stanoviště. Modré zvýraznění řádků značí chladné dny a žluté zvýraznění značí tropické dny. Tučně je zobrazena nejvyšší naměřená teplota vzduchu.

Tab. 7: Srovnání průměrných naměřených hodnot biometeorologických indexů a meteorologických prvků ze všech stanovišť v rámci všech analyzovaných dnů. Tučně jsou označeny nejvyšší hodnoty a u oblačnosti nejnižší.

Tab. 8: Srovnání maximálních naměřených hodnot biometeorologických indexů ze všech stanovišť v rámci všech analyzovaných dnů. Tučně jsou označeny nejvyšší hodnoty.

Tab. 9: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty HI na všech stanovištích, počet překročení hodnoty HI představující mírné riziko (32,1 °C) a uvedení stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

Tab. 10: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty WBGT na všech stanovištích, počet překročení hodnoty WBGT představující extrémní riziko (28 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

Tab. 11: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty PET na všech stanovištích, počet překročení hodnoty PET představující extrémní riziko (> 40 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

Tab. 12: Tabulka zobrazující nejvyšší hodnoty UTCI na všech stanovištích, počet překročení hodnoty UTCI představující extrémní riziko (32,1 – 46,0 °C) a uvedení jiných stanovišť, na kterých byla tato hodnota překročena.

Tab. 13: Rozdělení jednotlivých stanovišť do jednotlivých skupin podle hodnoty SVF. Žlutě jsou zvýrazněny stanoviště s vysokým SVF, tmavě modře stanoviště se středně vysokým SVF a světle modře stanoviště s nízkým SVF.