

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Diplomová práce

Teplovní komfort na území Borských polí

Thermal comfort in the area of Borská pole

Bc. Markéta Solarová

Plzeň 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

„Teplotní komfort na území Borských polí“

vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 24.04.2023

v. r. *Markéta Solarová*

Zásady pro vypracování práce

1. Stanovte cíle práce.
2. Proved'te rozbor problematiky teplotního komfortu ve městech.
3. Stanovte metodiku výzkumu.
4. Proved'te terénní šetření a měření na území Borských polí.
5. Výsledky zpracujte analytickými a syntetickými metodami.
6. Diskutujte výsledky.
7. Proved'te zhodnocení a shrnutí výsledků.

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce doc. RNDr. Janu Koppovi, Ph.D. za cenné rady a odborný dohled při vypracovávání mé diplomové práce.

Obsah

Úvod.....	6
1 Cíle práce	8
2 Přehled problematiky	9
2.1 Vymezení pojmu teplotní komfort.....	9
2.1.1 Venkovní teplotní komfort	10
2.2 Metody hodnocení venkovního teplotního komfortu	12
2.3 Městské klima.....	15
2.3.1 Metody a nástroje ke studiu městského klimatu.....	16
2.3.2 Tepelný ostrov města	17
2.3.3 Místní klimatické zóny.....	19
2.4 Strategie pro zlepšení městského teplotního komfortu.....	22
2.4.1 Modifikace městské struktury.....	22
2.4.2 Využití reflexních a propustných materiálů	24
2.4.3 Městská zeleň.....	25
2.4.4 Vodní prvky.....	28
2.4.5 Shrnutí	29
3 Metodika praktické části.....	31
4 Topoklimatické charakteristiky území	35
4.1 Charakteristika území	35
4.2 Klasifikace městských povrchů	38
4.3 Klimatické poměry.....	42
4.3.1 Teplota vzduchu.....	42
4.3.2 Vlhkost vzduchu	45
4.3.3 Globální radiace.....	47

4.3.4	Srážkové poměry	49
4.3.5	Vývoj teploty vzduchu	50
5	Povrchové teplotní mapování území Borských polí	54
5.1	Experimentální měření	58
6	Dotazníkové šetření	60
7	Zhodnocení výsledků a porovnání subjektivního vnímání a objektivních podmínek	70
8	Diskuze	74
	Závěr	76
	Seznam použitých zdrojů	78
	Seznam tabulek.....	89
	Seznam obrázků	90
	Seznam grafů.....	91
	Seznam map.....	93
	Seznam příloh.....	94
	Přílohy	
	Abstrakt	
	Abstract	

Úvod

Urbanizace je jedním z aspektů dramatické změny krajinného pokryvu. Městská krajina je charakteristická výrazně odlišnými strukturami povrchu, než které nalezneme v přírodní. Urbanizace tedy mění charakter i kompozici území. Značná část městského prostředí je pokryta antropogenně přeměněným povrchem, konkrétně nepropustnými plochami, a tím ovlivňuje teplotní režim krajiny. Vzniká specifické městské klima. Pokud je městské prostředí teplejší než jeho okolí, nazýváme tento fenomén teplený ostrov města. Vyšší teploty, které jsou v městském prostředí způsobené mnoho faktory, mají vliv na lidské zdraví a celkovou udržitelnost městských oblastí. Také vzhledem ke globální změně klimatu je v současnosti důležité studování teplotního zatížení měst.

Teplotní komfort v městském prostoru je zásadním parametrem určujícím směr k udržitelnému rozvoji měst. Zkoumání teplotního komfortu je komplexní koncept zahrnující fyzické, fyziologické a psychické aspekty, které odrážejí spokojenost s teplotním prostředím. Je tedy podstatné zkoumat fyzické prostředí z hlediska topoklimatických podmínek městské oblasti, ale také subjektivní složku teplotní pohody. Zacílení na zmírňování rizik a pomoci obyvatelům měst lépe se přizpůsobit možným účinkům globálního oteplování a tepelného ostrova města na městský teplotní komfort, je zásadní. Proto existuje mnoho adaptačních strategií na zlepšení teplotního komfortu ve městech.

Struktura teoretické práce byla vytvořena tak, aby shrnovala základní informace a prolínající se témata spojující teplotní komfort ve městech. Kdy v tomto tématu největší roli hraje člověk, klima a město. Proto je první část teoretického základu sestrojena tak, aby vysvětlovala vztah člověka a klimatu k teplotnímu komfortu. První je představen a definován pojem teplotního komfortu, venkovního a městského venkovního komfortu a také jaké jsou způsoby jeho hodnocení a měření. Další část teoretické části se zabývá vztahem klimatu a města, definuje specifika městského klimatu a sním spojenou problematiku. A poslední část zkoumá vztah člověka k městu, z pohledu městského plánování a možných strategií pro zlepšení městského teplotního komfortu. Záměrem praktické části práce je představení a analyzování prostorového detailu na úrovni jednotlivých městských prvků k lepšímu pochopení vazeb mezi teplotou a detaily struktury města. Studijní oblastí je území Borských polí. Praktická část obsahuje objektivní topoklimatické charakteristiky, klasifikaci jednotlivých struktur města,

povrchové teplotní mapování a představení dotazníkového šetření. V závěru jsou diskutovány subjektivní vnímání respondentů a objektivní fyzické podmínky na sledovaném území

1 Cíle práce

Struktura teoretické práce byla vytvořena tak, aby shrnovala základní informace a prolínající se témata spojující teplotní komfort ve městech. Kdy v tomto tématu největší roli hraje člověk, klima a město.

Praktická část práce kombinuje objektivní termální mapování oblasti, se subjektivním vnímáním zjištěným dotazníkovým šetřením. Detailněji mapuje objektivní a subjektivní aspekty teplotního komfortu na území Borských polí.

Pro práci byly stanoveny následující cíle:

1. Charakterizovat topoklimatické poměry a klasifikovat typy městského povrchu na území Borských polí.
2. Zjistit a popsat oblasti s nejvyšší povrchovou teplotou na území Borských polí s využitím povrchového termálního mapování
3. Provést dotazníkové šetření na území Borských polí za účelem komparace subjektivního vnímání teplotního komfortu a objektivních podmínek

2 Přehled problematiky

2.1 Vymezení pojmu teplotní komfort

Než začneme diskutovat o teplotním komfortu, musí být pojem sám definován. V zásadě existují tři různé přístupy k teplotnímu komfortu, psychologický, termofyziologický a přístup založený na tepelné bilanci lidského těla. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) definovala teplotní komfort jako stav, při kterém je člověk spokojený s teplotním prostředím, tento přístup se ztotožňuje s psychologickým pojetím (Olesen & Brager, 2004). Tento stav myslí, je subjektivně ovlivněný individuálními a sociálními faktory. Přesto, že je tento přístup obklopen individuální variabilitou, psychologické aspekty jsou velmi důležitými faktory, zejména pro určování venkovního teplotního komfortu. Termofyziologická definice komfortu je založena na aktivaci tepelných receptorů v kůži (Mayer, 1993). A poslední základní přístup, spojený s tepelnou bilancí lidského těla, definuje, že je stav tepelné pohody dosažen, když jsou tepelné toky do a z lidského těla vyrovnané a teplota kůže a rychlost pocení jsou v rozmezí komfortu, který závisí pouze na metabolismu (Fanger, 1982).

V odstavci výše jsme se seznámili se základními přístupy k vnímání teplotního komfortu, mimo těch zmíněných existuje mnoho dalších, které se specializují na teplo nebo chlad. Pro teplotní komfort neexistuje žádný absolutní standard. V roce 1962 Macpherson definoval šest faktorů ovlivňující teplotní komfort. Jednalo se o čtyři fyzikální proměnné, těmi jsou teplota vzduchu, rychlost větru, relativní vlhkost a střední radiační teplota, dále dvě individuální proměnné izolace oblečení a rychlost metabolismu (Lin & Shiming, 2008). Obecně lze tyto faktory seskupit do dvou kategorií na osobní faktory a faktory prostředí. Tyto základní parametry byly doplněny o další specifické proměnné, jako např. autoři Epstein a Moran ve své publikaci uváděly fyzikální faktory: teplota vzduchu, vlhkost, rychlost proudění vzduchu, tlak, intenzita světla a osobní parametry jako věk, pohlaví, zdravotní stav, genetické predispozice. Zmiňovali také další parametry jako intenzita lidské činnosti, hluk, typ oděvu, sociální podmínky (práce, bydlení, momentální psychický stav jedince) (Epstein & Moran, 2006).

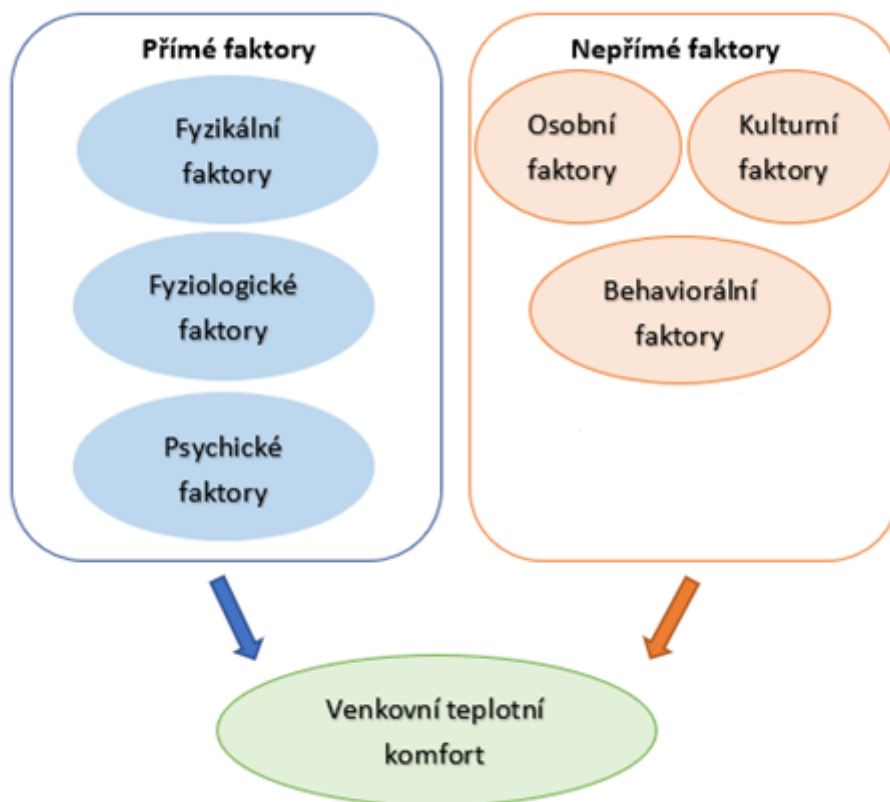
2.1.1 Venkovní teplotní komfort

Když je definovaný pojem a faktory, který obecně teplotní komfort ovlivňují, další část se zabývá venkovním teplotním komfortem. Odlišné je vnímání komfortu ve vnitřních a venkovních podmínkách. Touto problematikou se podrobně zabýval autor Höppe (2002), zmiňoval problematiku využívání třech základních, výše zmiňovaných, definic teplotní pohody pro posouzení venkovního teplotního komfortu, došel k závěru, že obecně nelze použít všechny ze zmíněných definic. Měření venkovní tepelné pohody je složité, protože tento stav je závislý na kombinovaných účincích různých parametrů mikroklimatu. V souladu s tím je teplotní komfort popsán řadou indexů a modelů teplotního komfortu.

Indexy tepelné pohody ve vnitřních prostorech se snáze definují díky relativní stabilitě vnitřního prostředí (z hlediska teploty vzduchu, vlhkosti, sálání a proudění vzduchu). Naopak kvůli prostorové variabilitě jako sluneční expozice, rychlost větru a také časové variabilitě parametrů je kvantifikace venkovní pohody složité (Coccolo a kol., 2016). Výzkum venkovního prostředí přináší různé situace a problémy, s nimiž se ve studiích zabývající se teplotním komfortem se vnitřních prostorech nesetkáme. Sluneční záření za horkého dne může působit specifické nepohodlí, naopak v zimě může působit potěšení. V nezastíněných místech za horkých dnů mohou být chodci vystaveny mnohem vyšším povrchovým teplotám, než je okolní teplota vzduchu. Další ze zmíněných specifických faktorů pro venkovní podmínky je rychlost větru. Vítr do určité rychlosti může za horkých dní působit příjemně, v zimě naopak. Tyto faktory je nutné zahrnout do hodnocení subjektivního vnímání teplotního komfortu (Givoni a kol., 2003).

Venkovní tepelnou pohodu tedy může ovlivnit mnoho faktorů, které lze klasifikovat jako přímé nebo nepřímé, jak je znázorněno na obrázku 1. Faktory s přímým vlivem na venkovní tepelnou pohodu jsou fyzické (teplota vzduchu, tepelné záření, vítr a relativní vlhkost), fyziologické (teplota kůže) a psychické aspekty. Nepřímé faktory jsou například behaviorální, osobní, sociální a kulturní faktory (Aslam & Rana, 2022).

Obrázek 1: Přímé a nepřímé vlivy působící na venkovní teplotní komfort



Zdroj: vlastní zpracování dle: (Lai, a další, 2020)

Venkovní komfort je zásadním parametrem pro hodnocení kvality městského mikroklimatu a také určuje vodítka směrem k budoucímu udržitelnému rozvoji měst (Coccolo a kol., 2016). Městské venkovní tepelné prostředí obecně čelí dvěma velkými výzvám: globálnímu oteplování a městským tepelným ostrovům. Během několika desetiletí svět zaznamenal rychlý nárůst městského obyvatelstva (Seto a kol., 2012). Tento nárůst vede k modifikaci městského využití půdy a krajinného pokryvu, což v konečném důsledku způsobuje environmentální a ekologické problémy. Tento stav ovlivňuje kvalitu života v městských oblastech tím, že mění jejich životní prostředí, mimo jiné zhoršuje kvalitu ovzduší a zvyšuje intenzitu extrémních klimatických jevů, jako jsou silné srážky a rozvoj městských teplotních ostrovů (Naim & Kafy, 2021), tento pojem je definován níže. Urbanizace tedy dramaticky mění krajinný pokryv a vede k redukcii zeleně a vodních ploch a zvyšuje množství nepropustných (zastavěných) ploch, ty můžeme chápat jako silnice nebo budovy (Qu a kol., 2020). Tyto městské modifikované

povrchy se snadněji přehřívají a vedou k vyšším povrchovým teplotám. Vodní prvky a městské vegetace naopak působí chladícím efektem (Masson a kol., 2020).

Vysoká teplota ve městech má vliv na lidské zdraví a může způsobit velmi vážné zdravotní potíže, zejména u zranitelných skupin. Mnoho studií dokázalo, že teplotní stres zvyšuje pravděpodobnost kardiovaskulárních a dalších onemocnění (Huang a kol., 2010). Přehřáté městské povrchy, teplo vyzařované antropogenní činností a krátkovlnné a dlouhovlnné sluneční záření může způsobovat zvýšení teploty, tedy snížení teplotního komfortu obyvatel měst. Teplotní pohoda přímo souvisí a je jednou z faktorů ovlivňující venkovní aktivity na ulicích, náměstích, městských parcích a podobně. Minimalizací venkovního nepohodlí se může zvýšit vitalita a návštěvnost místa během například extrémních teplot (Givoni a kol., 2003). Protože teplotní stres ovlivňuje kvalitu života (Hondula a kol., 2015). Aby bylo možné analyzovat městské tepelné prostředí, jsou v této kapitole uvedené faktory měřeny specifickými metodami, které jsou diskutovány níže.

2.2 Metody hodnocení venkovního teplotního komfortu

Výše byly popsány faktory hrající roli ve vnímání venkovního teplotního komfortu, tato část práce se zaměřuje na přehled nejpoužívanějších indexů a modelů analyzující venkovní komfort. Ze souhrnu indexů teplotní pohody vyvinutých v průběhu minulých let, pouze několik je používaných, ale také použitelných pro venkovní prostředí. Tyto indexy jsou založeny na principu tepelné výměny a můžeme je kategorizovat do empirických indexů, jako je index nepohodlí, zdánlivá teplota, wind-chill index. A racionálních indexů, ty jsou založeny na lidské tepelné bilanci, příkladem je predikovaný průměr hlasu (PMV; z angl. predicted mean vote) fyziologická ekvivalentní teplota (PET; z angl. physiological equivalent temperature), standardní efektivní teplota (SET; z angl. standard effective temperature) a univerzální index tepelného komfortu (UTCI; z angl. universal thermal climate index) (Manavvi & Rajasekar, 2022).

Teplotní modely jsou založeny na energetické bilanci člověka a ukazují vztah mezi metabolickými aktivitami, oblečením a parametry prostředí jako je teplota vzduchu, střední radiační teplota (MRT; z angl. mean radiant temperature), rychlost větru, sluneční záření a relativní vlhkost (Coccolo a kol., 2016). Výběr vhodného modelu je při výzkumu venkovního tepelné pohody zásadní, Potchter a kol. (2018) shrnuli modely použité ve 117 studiích od roku 2001 do roku 2017 a zjistili, že PET, PMV, UTCI, SET jsou čtyři

nejčastěji používané modely a byly použity v 53,3 % studií. Samotnou metodu PET ze sledovaných článků využilo 30,2 % výzkumů.

S metodou PET se tedy ve výzkumných článcích hodnotících venkovní pohodlí setkáme nejčastěji a výhodou je možnost využití v různých klimatických podmínkách (Manavvi & Rajasekar, 2022). Dle Höppe (1999) je PET definována jako teplota vzduchu, při které se udržuje rovnováha vnitřní a povrchové teploty lidského těla, za uvažovaných podmínek. Jedná se o index měřený ve stupních Celsia ($^{\circ}\text{C}$), díky tomu je interpretace srozumitelná i pro širší společnost bez odborné znalosti této oblasti (Chen & Ng, 2012). Jedná se o často používaný index, protože dokáže integrovat teplotu vzduchu, relativní vlhkost, sluneční záření a rychlost větru ve složitém a komplexním městském prostředí. Z literatury se dozvíme, že byl komfortní interval PET přizpůsoben různým klimatickým podmínkám, jeho hodnota je závislá například na podnebném pásu dané lokality. Komfortní interval pro západní a střední Evropu je 18 až 23 $^{\circ}\text{C}$ (Matzarakis & Mayer, 1996), pro horské vlhké klima Tchaj-wanu se pohybuje mezi 26 až 30 $^{\circ}\text{C}$ (T. Lin s kol., 2010) a pro pobřežní středomořské klima je jeho hodnota kolem 20 až 25 $^{\circ}\text{C}$ (Cohen a kol., 2013). Rozsahy PET hodnot můžeme vidět na obrázku 2. Výpočet PET je také možné prostřednictvím modelu RayMan, tento model umožňuje odhadnutí střední radiační teploty, což je jeden z nejobtížněji vypočitatelných parametrů. Dle autorů Geletič a kol. (2020) je definice střední radiační teploty následující, „Střední radiační teplota je rovnoměrná teplota okolních ploch, při níž se sdílí sáláním stejně tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí.“ Hodnoty radiační teploty můžeme docílit buďto radiometry, nebo jí můžeme vypočítat z výsledné teploty kulového teploměru a teploty vzduchu, ale je nutné zohlednit proudění vzduchu, tedy rychlost větru. Na střední radiační teplotu působí tepelné záření okolních povrchů jako jdou silnice, stěny budov, chodníky, ale také vegetace a stromy (Geletič a kol., 2020). Model RayMan, který dokáže spočítat zmíněnou střední radiační teplotu, je velký přínos pro odborníky na urbanismus, kteří nejsou odborníky na klimatologii, jedná se totiž se o model, který není komplikovaný (Gómez a kol., 2013).

Obrázek 2: Příklad rozsahů hodnot PET

Teplotní vnímání	PET
Velmi horko	> 41
Horko	35 - 41
Teplo	29 - 35
Spíše teplo	23 - 29
Komfortně	18 - 23
Spíše chladno	13 - 18
Chladno	8 - 13
Zima	4 - 8
Velmi zima	< 4

Zdroj: vlastní zpracování dle: (Gómez a kol., 2013)

Druhým široce využitelným indexem, též patřící do racionálních indexů, je UTCI. Index je vyjádřen jako ekvivalentní teplota ve stupních celsia (°C) referenčního prostředí, která je ekvivalentní ke skutečné teplotě prostředí a u konkrétní osoby vyvolá stejnou fyziologickou reakci. Vyjadřuje se 10 bodovou teplotní stupnicí od +46 °C, vyjadřující extrémní teplotní zátěž, do -40 °C, vyjadřující extrémní chlad. Neutrální teplota je definována mezi 9 °C až 26 °C (Błażejczyk a kol., 2010). Dalším ze skupiny racionálních indexů je PMV. PMV je založený na Fangerově modelu tepelné bilance a je definován jako průměrný teplotní vjem skupiny lidí. Souvisí s predikovaným procentem nespokojených, indikátor popisuje počet lidí nespokojených s teplotním prostředím. Jedná se o sedmibodovou stupnici od +3 (Horko) do -3 (Zima), kterou můžeme vidět na obrázku 3 (Coccolo a kol., 2016).

Obrázek 3: Sedmibodová stupnice PMV

Body	Pocit
+ 3	Horko
+ 2	Teplo
+ 1	Mírně teplo
0	Neutrálně
- 1	Mírně chladno
- 2	Chladno
- 3	Zima

Zdroj: (Vavrečková a kol., 2019)

Pouhé vyhodnocování mikrometeorologických podmínek ve spojení s výměnou tepla a lidské energetické bilance nemůže zcela vysvětlit venkovní komfort. Proto se výzkumy, zabývající se venkovním pohodlím, zaměřují na lidi a na adaptivní strategie. Došlo tedy k přechodu od čistě fyziologického přístupu. Klade se důraz na psychologické, sociokulturní, prostorové, osobní a behaviorální faktory (Nikolopoulou, 2011). Další metody hodnocení teplotního komfortu zmiňované v literatuře jsou rozhovory, dotazníky, hlasování a pozorování (Chen & Ng, 2012).

Dotazník je užitečným nástrojem pro hodnocení teplotní pohody osob z několika důvodů. Prvním z nich je možnost identifikace míst diskomfortu. V těchto místech lidé mohou pociťovat nepohodlí v důsledku vysoké teploty, slunečního záření nebo dalších faktorů. Tyto informace lze použít k úpravám prostředí ke zlepšení teplotní pohody (Chen & Ng, 2012). Dotazníkové šetření pomáhá porozumět, jak lidé subjektivně vnímají venkovní teplotní podmínky jako je teplota, vlhkost, rychlost větru a sluneční záření. Zmíněné porozumění může být použito k designu venkovních prostor, které budou pro lidi pohodlnější a příjemnější. Dotazník může být použit k porovnání teplotní pohody v různých lokalitách jako jsou různé části města. Tyto informace lze použít k identifikaci oblastí, které jsou pro lidi obzvláště nepříjemné, nebo oblastí, které jsou pohodlnější a příjemnější (Shah a kol., 2022).

2.3 Městské klima

Urbanizace mimo jiné vedla ke změně fyzického prostředí měst a ke změně klimatu ve městech. Změny způsobené procesem urbanizace městského klima ovlivnily velmi výrazně, dle autorů Tam a kol. (2015) výrazněji než současná globální změna klimatu. Téma městského klimatu je rychle rozvíjející se oblastí a mnoho měst bylo zkoumáno z hlediska městského klimatu (Masson a kol., 2020). Města jsou složité entity, proto je velmi problematické definovat městské klima a také specifika, které jej ovlivňují. Ale ve srovnání s velkoplošnými systémy ovlivňující počasí a klima (oceány, kontinenty, pohoří, anticyklóny a cyklóny) lze města považovat z meteorologického hlediska za malé objekty. V místním měřítku však města přispívají ke změně povrchové a atmosférické charakteristiky území a blízkého okolí. Města významným způsobem lokálně ovlivňují a často zesilují extrémní vlivy počasí (Oke a kol., 2017).

Městské klima se vyznačuje několika specifickými rysy. Prvním z nich je vyšší teplota. Teplota vzduchu ve městech, zejména v noci, je často mnohem vyšší než v mimo-

městském prostředí. U velkých měst je někdy rozdíl teplot až o 10°C. Specifické jsou vysoké povrchové teploty, které jsou daleko vyšší ve srovnání mimoměstským prostředím, s výjimkou měst v pouštním klimatu. Městské klima je dále specifické změnou v proudění vzduchu (Tam a kol., 2015). Aerodynamicky drsný městský povrch při mírném nebo silném větru proudění vzduchu zpomaluje a mírně jej natáčí ve směru tlakového gradientu. To může vést například k recirkulaci znečišťujících látek a stoupajícímu pohybu vzduchu nad městem, což může mít za následek tvorbu urbanisticky ovlivněné oblačnosti a srážek (Masson a kol., 2020). Změněné proudění vzduchu a městská cirkulace zmíněné výše vedou k vzestupnému proudění nad městy, to může zvýšit městskou oblačnost a srážky, zejména letní konvektivní srážky (Pielke Sr, 2013). Konvergentní proudění a zčásti vyšší městská mezní vrstva napomáhá vytvářet kupovité oblaky za příznivého počasí a způsobuje zvýšenou oblačnost nad velkými aglomeracemi jako je Paříž, Londýn nebo Moskva (Theeuwes a kol., 2019). Změny povrchových charakteristik města, například větší množství nepropustných ploch, jsou důležité pro městské klima v kontextu rozsáhlých klimatických změn. Zmíněná nepropustnost městských povrchů vede k vyšším povrchovým teplotám, které zvyšují teplotní stres obyvatel měst. Dalším negativním vlivem specifického městského prostředí je rychlý odtok srážkových vod, ten je podpořený právě velkou koncentrací nepropustných ploch. Srážková voda dopadající na nepropustné povrchy se nevsakuje, ale odtéká standardně do kanalizace. Pokud je intenzita srážkového úhrnu vyšší kanalizační systémy nestíhají pobírat srážkovou vodu, a to může způsobit lokální povodně (Ministerstvo životního prostředí, 2015). Proto úpravy povrchu, které pomáhají městským oblastem být méně zranitelné vůči dopadům změny klimatu, jsou důležité (Masson a kol., 2020).

2.3.1 Metody a nástroje ke studiu městského klimatu

Ke studiu městského klimatu je kromě znalostí fyzikálních, biofyzikálních (a případně socioekonomických) procesů, nezbytný adekvátní popis města a jeho okolí. Podstatnými faktory jsou: využití území/mapování krajinného pokryvu, morfologické parametry, architektonický a urbanistický popis, údaje o městské vegetaci a socioekonomických procesech. Při takém výzkumu se můžeme setkat s problémy dostupnosti dat, časovou nebo finanční náročností a konzistentností zdrojů dat. Velkým pokrokem ve studiu městského klimatu je homogenizace popisu využití městského území, a to prostřednictvím univerzální klasifikace městského a mimoměstského využití

půdy/krajinného pokryvu zvanou místní klimatické zóny (LCZ), definováno níže (Masson a kol., 2020). Primární metodou získávání dat o teplotním prostředí města je prostřednictvím měření. K dlouhodobému sledování dat standartně bývá využita meteorologická stanice. Vzhledem k tomu, že meteorologické stanice mohou zaznamenávat parametry tepelného prostředí pouze v omezeném měřítku, využívají se další metody. Možným způsobem, jak získat prostorová data ve městech je provádění mobilní měření. K měření lze také například využít jízdní kola, ty lze přeměnit v mobilní měřicí platformy.

Kromě pevných a mobilních meteorologických stanic lze ke studiu městského teplotního prostředí využít i techniku dálkového průzkumu Země. S pomocí satelitu a letadla může teplotní dálkové snímání poskytnout data o povrchové teplotě prostředí pro relativně velké území. Další metodou je simulace. Simulace městského venkovního teplotního prostředí lze provádět v různých měřících od města, čtvrti, sousedství až po jednu nebo několik budov. Příkladem simulace je: numerologické modelování jako je model energetické bilance (EBM) a computational fluid dynamics (CFD) (Lai a kol. 2019). Dostupná data jsou například z portálů z Google Maps Street View a OpenStreetMap (OSM), které jsou velmi nápomocná například při popisu morfologických charakteristik města.

2.3.2 Tepelný ostrov města

Tento pojem přímo souvisí se specifickým městským klimatem a městem obecně. Městské klima je velmi silně ovlivňováno člověkem. Městský tepelný ostrov (UHI; angl. urban heat islands) je reprezentativní fenomén změny klimatu ve městech. Je charakteristický zejména zvýšením teploty vzduchu ve městech (Kim & Brown, 2021). Jedná se o antropogenně vytvořený fenomén. Města můžeme definovat jako mozaiku různých roztržitých městských struktur. Jsou charakteristický komplexními interakcemi mezi zastavěným územím, biologickými a přírodními prvky, jako jsou zelené a vodní plochy, které jsou významně ovlivněny lidskou činností.

Městské ekosystémy můžeme obecně charakterizovat dvěma typy krajinného pokryvu: nepropustným a vegetačním povrchem. Tyto prvky jsou důležité prediktory teploty povrchu v městských oblastech (Osborne & Alvares-Sanches, 2019). Nepropustné povrchy způsobují nárůst teploty povrchu, kvůli absorpci a uložení sluneční energie během dne. Vegetace naopak má ochlazující účinek, zejména díky denní transpiraci a

zastínění povrchu. Množství těchto dvou prvků ve městě silně ovlivňuje složení městské krajiny a její mikroklimatické podmínky. (Morabito a kol., 2021).

K UHI dochází, pokud je městské prostředí teplejší než jeho okolí, tento efekt způsobuje, že městské centrum může být teplejší až o 10 °C (Tam a kol., 2015). To je do jisté míry způsobeno již zmíněnou strukturou povrchu. UHI je nejnáze pozorovatelný v noci a v zimních měsících. Během dne sluneční záření ohřívá městské povrchy, toto uložené teplo se uvolňuje v noci a omezuje noční ochlazování vzduchu ve městech a vytváří UHI. Efekt je nejsilnější po západu slunce a až do poloviny noci. Přítomnost propustných půd a vegetace způsobuje transpiraci a tím zmírňuje tento efekt, totožně jako stínící efekty vegetace (Masson a kol., 2020). Velikost a intenzita UHI je jedinečná v každém městě, a to zejména kvůli různým místním fyziografickým rysům a klimatickým podmínkám.

UHI obecně více pocítujeme v mírné podnebí než v tropických oblastech. Intenzitu UHI ovlivňují i další faktory, například vítr. Pokud je ve městech bezvětří nebo slabý vítr intenzita UHI se zvyšuje. Mezi vlivy UHI zahrnujeme snížení evapotranspirace z důvodu rozsáhlých nepropustných povrchů a menšího množství vegetace. Dalším vlivem UHI je nižší albedo kvůli zastavěnému území nebo odklizení sněhu ve městech. Efekt UHI dále ovlivňuje a zesiluje přímé uvolňování tepla do atmosféry lidskou činností jako je vytápění budov a generování tepla z místní infrastruktury, jedná se zejména o vlivy průmyslu, dopravních prostředků a komerčních budov (Oke, 2002).

UHI je také často spojen se znečištěním ovzduší ve městech pravdou je, že atmosférické znečišťující látky ale významně nemění teplotu vzduchu měst. Pouze v extrémně znečištěných velkoměstech, jako je Dillí, může velmi vysoká úroveň městského znečištění aerosolem mírně ovlivňovat městské podnebí (Pandey a kol., 2012). Kombinace výše zmíněných faktorů ovlivňuje radiační rovnováhu a nárůst lokálních teplot. V typickém městském prostředí je více energie mířeno do ohřevu povrchu a méně do odpařování, což způsobuje rostoucí akumulaci tepla a zvýšení povrchové teploty. UHI lze zkoumat ve dvou vrstvách: canopy urban heat island (CUHI) a surface urban heat island (SUHI) (Hu a kol., 2019). Pojem SUHI můžeme definovat jako vysokou povrchovou teplotu ve městech, která je z pravidla mnohem vyšší než v okolních oblastech (Clinton & Gong, 2013).

Díky městskému prostředí, který způsobuje vyšší povrchové teploty můžeme pozorovat SUHI. Povrchová teplota SUHI je výrazně odlišná od okolní teploty vzduchu, a to

zejména ve dne. SUHI je přímým hnacím motorem UHI prostřednictvím výměny tepla s atmosférickou mezní vrstvou. K hodnocení SUHI se používá dálkový průzkum Země. Dostupnost celosvětově rozsáhlého pokrytí družicovými senzory, jako jsou MODIS, Landsat a ASTER, poskytuje bohatou datovou sadu umožňující srovnání charakteristik SUHI (Masson a kol., 2020). Teplota povrchu je velmi důležitým faktorem pro analýzu teplotních podmínek v kompaktně zastavěném území. Podmínky povrchu lze analyzovat pomocí map využití půdy a krajinného pokryvu. Pomocí map teploty povrchu lze definovat hotspoty pro vypracování zmírňujících opatření pro nastolení teplotní pohody ve městském prostředí (Aslam & Rana, 2022). Jako hotspot se označuje oblast nebo místo, kde je teplota výrazně vyšší než v okolí. Existují různé přístupy k detekci UHI, běžné metody zahrnují použití klimatických dat, satelitních snímků nebo matematického modelování. Prostřednictvím těchto metod můžeme porovnávat meteorologickou proměnnou nebo indikátor mezi dvěma místy (Tam a kol., 2015).

V minulosti výpočet UHI byl primárně zaměřen na rozdíl teplot zemského povrchu mezi městskými a venkovskými regiony, vegetací a zastavěnými oblastmi a propustnými a nepropustnými povrchy, což bylo subjektivní, protože nebyla aplikována žádná jednotná metrická kritéria (Hu a kol., 2019). Novým trend pro klasifikaci fenoménu UHI jsou místní klimatické zóny, zavedené Stewartem a Okem.

2.3.3 Místní klimatické zóny

Koncept místních klimatických zón neboli LCZ, poskytuje standardní rámec pro klasifikaci městského povrchu podle urbanistické morfologie a vlastností zemského povrchu. LCZ jsou regiony s jednotnými rysy z hlediska krajinného pokryvu, struktury povrchu, stavebních materiálů a lidských činností. Místní klimatické zóny můžeme rozřadit do dvou nadřazených kategorií a to „built types“ a „land cover types“ (Stewart a kol., 2014).

LCZ zahrnují 10 městských tříd a většinou závisí na výšce budov a hustotě budov a také popisují specifickou městskou strukturu, jak můžeme vidět na obrázku 4. Pro výzkum LCZ je využíváno meteorologických stanic a mobilního měření k získání teploty vzduchu různých LCZ. Ukázalo se však, že tato měření jsou nedostatečná pro komplexní popis prostorových změn teploty vzduchu. Měření prováděné v několika lokacích nemohou zobrazit podrobné prostorové rozložení teploty v městských oblastech (Geletič a kol., 2016). Odvozování rozdílů teplot zemského povrchu z leteckých nebo satelitních snímků

může být proto optimálním přístupem kvůli komplexnímu prostorovému pokrytí. Přestože satelitní snímky mohou dosáhnout relativně velkého prostorového pokrytí, na úrovni města nebo regionu, rozlišení zůstává omezené. V současné době nelze získat data ve vysokém prostorovém a časovém rozlišení. Jako alternativy však mohou být použity simulační nástroje různých modelů (Middel a kol., 2014). LCZ se používá pro makro/meziúroveň, takže na mikroúrovni je tento koncept nepoužitelný. Metoda LCZ se osvědčila pro mapování teplotních změn v rychle se vyvíjejícím městském prostředí. Koncepte může zlepšit teplotní prostředí zastavěné území navržením zelených ploch, které poskytnou chladivý efekt. Mapy LCZ mohou urbanistům pomoci vytvořit nové rozvojové politiky tím, že rozšíří strategie o další faktory, jako je městská struktura. Koncept LCZ se také pravděpodobně ukáže jako užitečný pro návrhy reagující na klimatické změny (Bechtel a kol., 2015).

Obrázek 4: Vybrané místní klimatické zóny v Plzni



Zdroj: převzato z (Masson a kol., 2020), obrázky: (Google earth, 2023), (Kaše, 2017), (Industriální zóna Borská pole, nedatováno), vlastní zpracování

Níže si popíšeme vybrané v České republice nacházející se místní klimatické zóny (Geletič & Lehnert, 2017).

- LCZ 2: středně vysoká kompaktní zástavba. Jedná se o, již z názvu napovídající, hustou zástavbu středně vysokých budov, které mají nejčastěji 3 až 9 pater. Jsou tvořeny především kamenem, cihlou, dlaždicemi a betonem. V blízkém okolí se nachází z větší části nepropustné povrchy. Nejčastějším zástupcem této kategorie v České republice jsou historická centra měst. Nachází se zde malé množství či žádná zeleň. Na obrázku 4 je viditelný příklad okolí plzeňského náměstí. Pro toto území je relativně vysoká náchylnost k vyšším teplotám a to zejména z důvodu velkého množství nepropustných ploch.
- LZC 3: nízká kompaktní zástavba. Území je tvořeno hustou zástavbou nízkých budov, které mají většinou jedno až tři patra. Jsou tvořeny konstrukčními materiály jako kámen, cihla, dlaždice a beton. V okolí se nenachází mnoho vegetace. Území, obdobně jako u LCZ 2, převážně tvoří nepropustné povrchy. Typickým zástupcem této skupiny jsou řadové rodinné domy. Na obrázku 4 je uvedený příklad z městské části Plzeň Lobzy. Tato kategorie má zvýšenou náchylnost k vysoké teplotě.
- LCZ4: vysoká rozvolněná zástavba. Jedná se o vyšší paneláková sídliště, která jsou tvořena budovy, které mají více než deset pater. Jsou tvořeny převážně betonem, ocelí, sklem a kamenem. V blízkém okolí se nachází propustné povrchy, jako vegetace a roztroušené stromy, a také nepropustné plochy. V Plzni je velké množství panelákových sídlišť, jedno z nich můžeme vidět na obrázku 4, konkrétně panelákové sídliště v Lobzích. Stejně jako LCZ3 má tato kategorie zvýšenou náchylnost k vysoké teplotě.
- LCZ6: nízká rozvolněná zástavba. Jedná se o území s otevřeným uspořádáním nízkých budov, typickým příkladem jsou rodinné domy. V okolí budov převažují propustné plochy nad nepropustnými. Konstrukčními materiály budov je kámen, cihla, dlaždice a beton. Jelikož se zde nachází větší množství propustných ploch, náchylnost k vyšší teplotám je zde určena jako střední.
- LCZ8: nízká zástavba s rozlehlými objekty. Jedná se o otevřené uspořádání rozlehlých nízkopodlažních budov, které mají jedno až tři patra. Charakteristické jsou rozsáhlé průmyslové závody, jako je v této práci zájmové území Borských polí, viditelné také na obrázku 4. V okolí se většinou nenachází stromy ani vegetace, jelikož prostor mezi budovami bývá vyplněný neprostupnými plochami. Oblasti mají střední náchylnost k vyšším teplotám.

- LZC10: těžký průmysl. Typicky komplexy středně vysokých průmyslových objektů. Objekty bývají tvořeny betonem, ocelí a dalšími kovy. V okolí je velmi nízký podíl zeleně a stromů. Příkladem v Plzni by mohl být bývalý průmyslový areál Škodovky.

2.4 Strategie pro zlepšení městského teplotního komfortu

Tato část práce popisuje různé strategie pro zlepšení městského teplotního komfortu. Cílem strategií je pomoci obyvatelům měst lépe se přizpůsobit možným účinkům globálního oteplování a UHI na městský teplotní komfort a zlepšit teplotní pohodu v městských otevřených prostranstvích. Městské plánovací politiky a rozvojové strategie výrazně ovlivňují městskou strukturu a hustotu zástavby (Aslam & Rana, 2022). Rozvojová politika a rozhodnutí místní úřadů má významný dopad na vznik nebo zvětšování efektu UHI. Úprava městské geometrie, použití vegetace, reflexních povrchů nebo vodních ploch se řadí mezi často používané opatření ve studiích zabývajících se zmírněním teplotního stresu ve městech (obrázek 5). V následující části práce si popíšeme jejich účinky na teplotní prostředí.

Obrázek 5: Vybrané adaptační strategie na zlepšení teplotního komfortu



Zdroj: vlastní zpracování dle: (Shooshtarian a kol., 2018)

2.4.1 Modifikace městské struktury

První možnou strategií je úprava městské geometrie (urban geometry). Z pohledu teplotního prostředí města se geometrie hodnotí pomocí následujících parametrů: faktor pohledu na oblohu, poměr výšky a šířky ulice a orientace pouličního kaňonu. Pouliční kaňon je ulice lemovaná budovy na obou stranách, která vytváří prostředí podobné kaňonu (Lai a kol., 2017). Při faktoru pohledu na oblohu se hodnotí množství oblohy

viděné z daného bodu. Pokud je tato hodnota nižší znamená to, že je ve výhledu více překážek (budov, stromů atd.). Účinkem toho je méně slunečního záření a zároveň více dlouhovlnného záření z rozehrátých městských povrchů. Studie o vlivu faktoru pohledu ukazují, že nižší denní teplota vzduchu a vyšší noční teplota vzduchu obvykle koreluje s nízkou hodnotou faktoru pohledu. Tento efekt je připisován menšímu pronikání slunečního záření do městských kaňonů během dne. V noci naopak rozehráté městské povrchy sálají teplo a tím zvyšují teplotu vzduchu. Kompaktní městské prostory se vyznačují sníženou expozicí slunečnímu záření, čímž vytvářejí větší teplotní pohodu v horkém klimatu (Charalampopoulos a kol., 2013). Tato strategie byla reálně navržena na Tchaj-wanu, kde bylo cílem vytvoření více stínu prostřednictvím budov a stromů, tak aby se zlepšila teplotní pohoda. Pro městské plánování je faktor pohledu přínosným indikátorem, protože nižší hodnota faktoru pohledu spolu s kombinací zeleně zlepšuje teplotní podmínky. Na rozdíl od toho lokality s vysokými hodnoty faktoru pohledu jsou hodnoceny nízkou úrovní teplotního komfortu (Lin a kol., 2010).

Orientace městského kaňonu také značně ovlivňuje množství slunečního záření. Ulice orientované na sever/jih jsou obecně teplotně komfortnější než ulice orientované na západ/východ, primárním důvodem je částečné zastínění budovami. Orientace městského kaňonu je také rozhodujícím parametrem pro rychlost vzduchu. Faktor poměru výšky a šířky je definován jako poměr mezi průměrnou výškou stěn kaňonu a šířkou kaňonu. Vyšší poměr stran má za následek vyšší noční teplotu vzduchu (Shooshtarian a kol., 2018). V několika studiích byla uvedena jasná korelace mezi teplotním komfortem chodců a poměrem mezi výškou a šířkou stran, i tento faktor je důležité promítnout do městského plánování. I přesto, že tento faktor nese významný vliv na teplotní komfort obyvatel, několik studií došlo k závěru, že jiné vlivy městské geografie jsou podstatnější (Lin a kol., 2010).

Městská geometrie také ovlivňuje proudění vzduchu ve městech, pozitivním přínosem větru je snížení UHI a teplotního stresu ve městech. Čím má městské prostředí kompaktnější zástavbu, tím více zabraňuje proudění vzduchu. Snížení rychlosti větru však v létě může zhoršovat městské teplotní prostředí. Rychlost větru 1-1,5 m/s snižuje teplotu vzduchu téměř o 2 °C (Lai a kol., 2019). Obecně můžeme shrnout, že hluboké městské kaňony mají nižší teploty vzduchu a v létě nabízejí příznivější teplotní podmínky, to zejména kvůli menší úrovni vystavení slunečnímu záření.

Městská geografie je zkoumána ve dvou měřítcích: makro a mikro. V makro měřítku je zájmovou oblastí celé město a týká se úrovní kompaktnosti nebo rozptýlenosti a rozsahem infrastruktury. Naproti tomu mikro měřítko se týká rysů města, jako je hustota a výška zástavby, tvar ulic, prostupnost, rozložení využití území a charakteristiky urbanistického vzhledu. Je důležité pochopit, že teplotní komfort ovlivňuje kombinace různých městských struktur, proto je nutné zkoumat tyto faktory komplexně (Jamei a kol., 2016).

Výběr opatření je obtížný zejména v mírné podnebí, kde je vyžadován kompromis mezi horkým a chladným obdobím. Navrhování městské struktury tedy do značné míry závisí na místním kontextu a geografických charakteristikách zkoumané oblasti. Konkrétní příklady strategií na zmírnění teplotního stresu jsou přístřešky a různé stínící zařízení.

2.4.2 Využití reflexních a propustných materiálů

Dalším možným opatřením jsou reflexní povrchy. Městské povrchy absorbují sluneční záření a tím značně přispívají k rozvoji UHI. Pro snížení účinků městského tepelného ostrova můžeme na fasády, střechy budov a na chodníky ve městech používat přírodní nebo umělé materiály s vysokou odrazivostí slunečního záření. Reflexní povrch absorbuje výrazně méně slunečního záření a má tak nižší povrchovou teplotu. Reflexní střechy, jako opatření pro lepší teplotní komfort ve městech, jsou více efektivní na nižších budovách, kde mají větší chladicí účinek pro chodce a obecně obyvatele měst (Ban-Weiss & Berardi, 2017). Nad rámec již zmíněných přínosů reflexní střechy snižují také spotřebu energie. Povrch střechy se méně zahřívá a tím zůstává budova chladnější a potřeba klimatizování je nižší. S tím také souvisí snížené znečištění ovzduší a nižší emise skleníkových plynů z uspořené spotřeby energie.

Dalším moderní opatřením jsou takzvané „chladivé povrchy“ (cooling pavements). Tmavé silnice často absorbují až 95 % slunečního záření a přehřívají okolí. To významně přispívá k problematice tepelných městských ostrovů také proto, že tyto povrchy tvoří přibližně jednu třetinu městských povrchů. Řešením této problematiky může být využití „chladivých“ povrchů. Ty můžeme rozdělit do dvou kategorií na povrchy s reflexní vrstvou, například s reflexním nátěrem. Druhou kategorií jsou propustné povrchy, například propustný beton, porézní asfalt nebo propustné betonové dlažby (Wang a kol., 2021). Chladicí účinek u reflexních povrchů je způsoben zejména zvýšeným množstvím odraženého slunečního záření. Účinnost reflexních povrchů je často hodnocena pomocí indexu sluneční odrazivosti, hodnoty indexu se pohybují od nuly do jedné. Výzkumy

dokázaly, že zvýšení albeda vozovky o 0,1 může snížit maximální povrchovou teplotu o 6 °C (Li a kol., 2013). Pozitivem reflexních povrchů mimo jiné jsou snížené náklady na pouliční osvětlení a zvýšená bezpečnost řidiče (Cool Pavements, 2023). Některé výzkumy uvádějí, že zvýšený odraz slunečního záření může zvýšit tepelnou expozici chodců a způsobit nepohodlí a oslnění. Velké množství odraženého může také způsobovat ohřev například okolních stěn a tím zvyšovat chladicí zátěž budov (Taleghani, 2018).

Propustné plochy mají výhodu infiltrace do nižších vrstev povrchu a tím snížení teploty především odpařováním. Porézní struktura propustných povrchů také významně prospívá k lepšímu hospodaření s městskými dešťovými vodami. Propustné chodníky mohou být jak vegetační, tak nevegetační. Výhodou vegetačních propustných povrchů je snižování teploty prostřednictvím vegetační transpirace (Qin, 2015). Účinnost propustných povrchů při zmírňování UHI však může být ovlivněn několika faktory. Jejich odpařovací chladicí účinek je do značné míry podmíněn dostupností vlhkosti. Rychlost odpařování je dalším důležitým faktorem pro ochlazující účinek propustných povrchů, který může být ovlivněn drsností povrchu a povětrnostními podmínkami, jako je rychlost větru, sluneční záření, teplota a vlhkost (Wang a kol., 2021).

2.4.3 Městská zeleň

Další strategií je aplikace vegetace. Města jsou obecně považována za nehostinné území pro zeleň kvůli velkému množství nepropustných povrchů, snížené úrovni půdní vlhkosti, nedostatku živin, malému prostoru na zakořenění a přítomnosti látek znečišťujících vzduch a vodu. Vegetace v městských prostranstvích může různými způsoby přispět ke kvalitnímu městskému životu. Vegetace pozitivně ovlivňuje městský teplotní komfort zejména tím, že poskytuje stín, zpomaluje vítr a snižuje teplotu vzduchu (Lai a kol., 2019). Obecně plochy zeleně ovlivňují teplotní komfort prostřednictvím čtyř mechanismů: evapotranspirace, stínění, fotosyntéza a zachycení dlouhovlnného záření. Tyto mechanismy samozřejmě do značné míry závisí na zdraví rostliny, kvalitě půdy a dostupnosti vody (Broadbent a kol., 2018).

Stromy účinně snižují tepelné záření v městských prostranstvích. Odrazem a absorpcí mohou stromy odstranit velké množství krátkovlnného slunečního záření. Kromě blokování krátkovlnného záření vegetace snižuje dlouhovlnné záření kvůli poklesu povrchové teploty v důsledku transpirace (Chatzidimitriou & Yannas, 2015). Zelené

plochy jsou obvykle chladnější než zastavěné území v okolí, teplotní rozdíl mezi nimi je až 7 °C (Lai a kol., 2019).

Díky schopnosti vegetace snižovat povrchovou teplotu, využívá se ve městech vertikální zeleň nebo zelené střechy, ty výrazně zlepšují venkovní teplotní komfort. Snížená povrchová teplota zelené střechy však může mít vzhledem k výšce, kde je aplikovaná zanedbatelný vliv na teplotní prostředí na úrovni chodců (Bianco a kol., 2017). Kromě přímého ochlazování transpirací stromy snižují teplotu vzduchu nepřímo pomocí stínění. Právě v důsledku, že stromy poskytují stín, jsou při zlepšování teplotního prostředí obvykle účinnější než nízká vegetace (Lai a kol., 2019).

V tomto odstavci představíme příklady vegetačních prvků ke zlepšení teplotního komfortu ve městě. Prvním příkladem jsou pouliční stromy. Stromy mají schopnost upravovat mikroklima. Množství pozitivních faktorů, které stromy přináší závisí na celkové výšce, geometrii koruny a listech stromu. Určujícím faktorem intenzity pozitivního přínosu stromu je také druh stromu. Existují různé klasifikace stromů podle jejich velikosti, typu nebo faktoru jaké množství slunečního záření propouští. Často používaný je index listové plochy, který je vyjádřen jako bezrozměrná jednotka listové plochy na jednotu zemského povrchu. Dle indexu je možné srovnávání různých druhů stromů s ohledem na jejich schopnost filtrovat sluneční záření (Montague & Kjølgren, 2004). Stromy měřitelně zlepšují teplotní komfort (dle PET hodnot), kdy nejlepších podmínek je dosaženo hustým porostem stromů v kombinaci s nízkou vegetací. Výsadba pouličních stromů je slibnou strategií v boji s teplotním stresem ve městech. Chladicí potenciál stromů také závisí na okolním prostředí, jako geometrie, výška a hustota budov a také na povrchových materiálech prostředí. Schopnost stromů zlepšovat teplotní podmínky je ohrožen tlakem na rozvoj infrastruktury, problémy s údržbou a špatnou dostupností vody. Pro městské plánování je podstatná efektivnost, klíčem pro zlepšení teplotní pohody je optimální rozložení jednotlivých nebo shluků stromů, které mohou poskytnout maximální úroveň zastínění (Jamei a kol., 2016).

Dalším prostorově rozsáhlejším prvkem jsou městské parky. Účinnost městských parků při boji proti teplotnímu stresu na jedné straně závisí na velikosti a struktuře parku, typu rostlin, míře zastínění a frekvenci zavlažování, a na druhé straně na vlastnostech referenční městské oblasti, jako je městská struktura a klimatické podmínky. Parky neposkytují chladicí efekt pouze pro chodce v parku, ale také zastavěnému území

v blízkosti parku, tento efekt se ale rychle snižuje vzdáleností od okraje parku (Brown, a kol., 2015).

Dalším vegetačním prvkem jsou zelené střechy. Obecně nadzemní plochy zeleně jsou v posledních letech velmi oblíbené, zejména proto, že je možné tento typ opatření aplikovat i v hustě zastavěných městských oblastech. Zelené střechy jsou střechy, které jsou pokryty vegetací, která je zasázena do substrátu. Zelené střechy jsou považovány za jeden z nejpraktičtějších nástrojů pro zmírnění UHI efektu. Zelené střechy navíc nejen přímo přispívají k městskému ochlazování tím, že snižují teplotu vzduchu a povrchu na úrovni střechy, ale také vedou k výraznému snížení přehřívání budov, což je zásadní pro téma přehřívání měst. Zelené střechy můžeme kategorizovat na základě výšky substrátu, rozmanitosti vegetace, zavlažování, nákladů na údržbu, celkové hmotnosti, ale také podle toho, v jakém podlaží se nachází. Tyto parametry ovlivňují například akumulaci tepla (Jamei a kol., 2021).

Dalším příkladem nadzemní plochy zeleně jsou zelené stěny, ty můžeme rozdělit na zelené fasády a živé stěny (living walls) (Susca a kol., 2022). Zelené fasády mají pokryté stěny budov popínavými rostlinami (líány nebo révy), což z nich dělá flexibilní a adaptabilní nástroj. Pozitiva a přínosy jsou stejné jako u jiných forem vegetačních prvků ve městech. Popínavé rostliny mohou buď přímo porůstat fasádu, problémem tohoto typu je, že úponky mohou poškodit povrch stěn. Další možností je stěnu opatřit podpůrnou konstrukcí, která napomáhá růstu popínavých rostlin (Hunter a kol., 2014). Živé stěny jsou novodobá inovace a umožnily použití opatření zelených stěn na vysokých budovách, jak tato stěna vypadá můžeme vidět na obrázku 6 níže. Jeden typ funguje na principu aplikace lehké a propustné sítě do které jsou jednotlivé rostliny vkládány. Druhý typ se odlišuje složením, hmotností a samotnou montáží. Jedná se o nádoby upevněné na konstrukci, do kterých se vkládají rostliny a substrát. Pokud vezmeme v úvahu, že ve městech rozsah stěn může být dvojnásobný než rozsah střech, tak zelené stěny mají větší potenciál než zelené střechy (Susca a kol., 2022).

Také existují opatření pro další městské struktury jako jsou například parkoviště. Parkoviště jsou většinou tvořena nepropustným materiálem a zvyšují teplotní stres ve městě. Možností je vytváření takzvaných zelených parkovišť. Opatření se zaměřuje na snížení množství umělého povrchu a jeho nahrazení vegetací. Použitím vegetačních prvků se snižuje akumulace tepla (Ruefenacht & Acero, 2017).

Obrázek 6: Největší londýnská „living wall“



Zdroj: (Porada, 2013)

Shrnutím je, že vegetační prvky neslouží pouze jako prostředek v boji proti městským tepelným ostrovům, ale také například pomáhají k nižší spotřebě energie. Stromy zastíňují budovy a tím snižují potřebu klimatizace. Vegetace sama o sobě zlepšuje kvalitu ovzduší, ale prostřednictvím výše zmíněné úspory energie navíc snižuje související znečištění ovzduší a emise skleníkových plynů. Vegetace dokáže zadržovat a filtrovat dešťovou vodu, tím za prvé zlepšuje kvalitu vody, ale také snižuje odtok a tím zajišťuje lepší hospodaření s dešťovou vodou. V neposlední řadě je významná estetická přidaná hodnota zeleně a díky tomu zlepšená kvalita života.

2.4.4 Vodní prvky

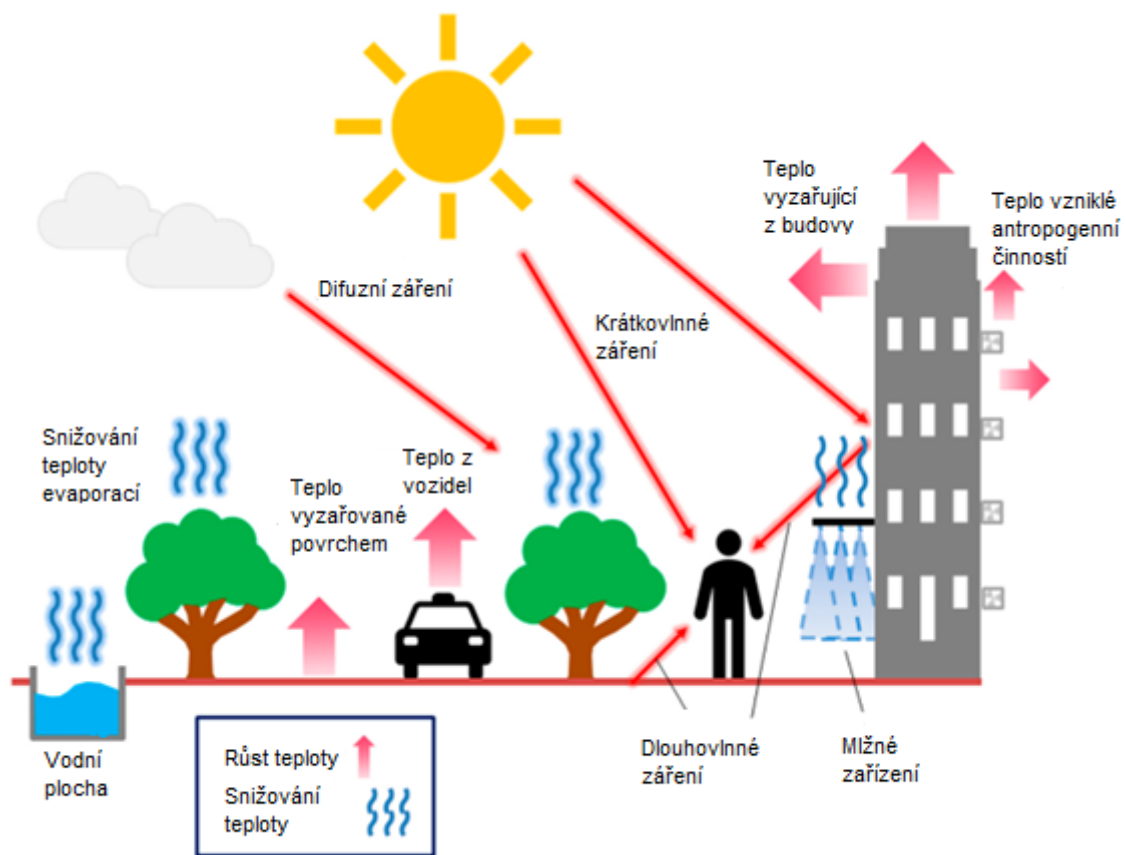
Vodní plochy jsou dalším opatřením často zmiňovaným v literatuře. Primární účinek vodních ploch je ochlazování teploty vzduchu prostřednictvím výparu. Tepelná kapacita vody je přibližně čtyřikrát vyšší než u běžně používaných městských materiálů, jako je beton, asfalt, žula a šterk. To znamená, že vodní plocha dokáže absorbovat stejné množství slunečního záření, a přitom vykazuje mnohem nižší nárůst teploty než běžné stavební materiály a chodníky. Vodní plochy lze tedy považovat za pohlcovače tepla v městských prostorech. Chladicí účinek vodní plochy závisí na mnoha faktorech, jako je

velikost, geometrie, umístění, směr větru a podíl zastavěného území v okolí vodní plochy (Chatzidimitriou & Yannas, 2015). Chladící účinek vody je o to větší, pokud je rozprašována. Fontány nebo přístroje vytvářející mlhu mohou snížit teplotu vzduchu v průměru o 0,7 až 3 °C. Tento efekt je však extrémně lokální a fontány jako takové nepřispívají k ochlazení na úrovni města nebo městských částí. Naopak velké vodní plochy v městském prostředí mohou mít znatelný vliv na teploty vzduchu ve městech (Reducing heat with water, nedatováno).

2.4.5 Shrnutí

Obecně můžeme v pár bodech shrnout. Kompaktní prostor poskytuje lepší městské teplotní prostředí než otevřený prostor v horkých dnech. Severojižně orientované ulice nabízejí větší množství stínění než východozápadně orientované ulice. Reflexní povrch absorbuje méně slunečního záření, a má tak nižší povrchovou teplotu než tradiční městské povrchy. Chladný povrch tak ve srovnání s tradičními materiály vyzařuje méně dlouhovlnného záření a teplota okolního vzduchu je nižší. Vegetace snižuje teplotu vzduchu prostřednictvím transpirace. Povrchová teplota v městském prostředí lze snížit, použitím zelené plochy, zelené stěny nebo zelené střechy. Vodní plochy snižují teplotu vzduchu ve venkovních prostorech pomocí odpařování vodní páry. Souhrn vlivů městského prostředí na teplotní komfort můžeme vidět na obrázku 7. Přehřáté městské povrchy, teplo vyzařované antropogenní činností a krátkovlnné a dlouhovlnné sluneční záření může způsobovat zvýšení teploty, tedy snížení teplotního komfortu obyvatel měst. Vodní prvky a městské vegetace naopak působí chladícím efektem (Wai a kol., 2021).

Obrázek 7: Vztah mezi teplotním komfortem a městským prostředím



Zdroj: vlastní zpracování dle (Wai a kol., 2021)

3 Metodika praktické části

Prvním vytyčeným cílem je charakteristika topoklimatických poměrů v zájmovém území. Pro tvorbu zásadních mapových výstupů byl využit program ArcGIS 10.8.1. Mapové podklady a základní data byla získána z portálů ČÚZK (2023), TUTA Plzeň (2023), GEOREAL spol. s. r. o. Plzeň (2022) a z mapového portálu města Plzně (2020). Pro všechny mapové výstupy byl zvolen souřadnicový systém S-JTSK / Krovak East North. Pro geografické charakteristiky byl využit digitální model reliéfu České republiky 5. generace, tedy DMR 5G (ČÚZK, 2023). K nastínění klimatických poměrů byla využita data meteostanice ZČU. Je zde vypočítán denní a měsíční průměr archivovaných hodnot meteorologických ukazatelů. Dále práce prezentuje maximální a minimální hodnoty, jedná se o nejnižší a nejvyšší denní hodnoty. Pro vizualizaci dat jsou vytvořeny grafy v programu Excel. Nejčastěji byly použity sloupcové a spojnicové, či kombinované grafy. V programu Statistica byly vytvořeny krabicové grafy, ty se využívají pro vizualizaci kvantitativních dat. Graf obsahuje pozici mediánu a ukazuje pozici dolního a horního kvartilu, tedy 25 % a 75 % kvantilu. To odpovídá kvantilovému rozpětí. Graf také identifikuje odlehle a extrémní hodnoty (Wikipedia, 2022). Pro popis srážkových poměrů byl využit klimadiagram, ten vyjadřuje vztah mezi průměrnými měsíčními teplotami a sumou srážek za měsíce. Klimadiagram je složený ze tří základních os, na ose x jsou uvedené měsíce od ledna do prosince. Na levé ose y je uvedená průměrná měsíční teplota a na pravé ose y srážky. Pro určení vývoje teploty byla použita regresní analýza trendu v časových řadách a odhad trendu časové řady pomocí klouzavých průměrů. Byl použit klouzavý průměr o dvanácti obdobích. Časová řada byla rozložena na jednotlivé složky pomocí aditivního rozkladu, tedy:

- $Y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t$

kde Y_t je náhodná veličina v čase t , T_t je trendová složka této veličiny, S_t sezónní složka, C_t cyklická složka a ε_t je náhodnou složkou této veličiny v čase t . Předpověď očekávané a budoucí teploty probíhala na základě jednoduché lineární regrese.

Dalším krokem byla klasifikace typů povrchů. Základním podkladem pro sestrojení mapy struktury území byla ortofoto mapa získaná z portálu ČÚZK (2023). Podstatné bylo rozlišení dvou základních městských povrchů, tedy nepropustných ploch a ploch zeleně. Výsledná klasifikace zahrnovala pět kategorií:

- Nepropustné plochy

- Plochy budov
- Plochy zeleně
- Propustné plochy
- Vodní plochy

Nepropustnými plochami jsou myšlené zejména plochy asfaltu, betonu a nepropustné dlažby. Propustné plochy jsou území tvořená pískem, štěrkem nebo hlínou. Klasifikace byla vytvořena v programu ArcMap za pomoci podkladové ortofoto mapy. V ArcCatalogu byl pro každou kategorii vytvořen shapefile. Typy povrchů byly kategorizovány na podkladové mapě ortofoto v měřítku 1:1000, následně byl pro každou plochu vytvořen polygon v souboru shapefile.

Dalším zásadním bodem praktické části práce je sestavení mapy teploty povrchu. Zdrojová data byla získána z programu Landsat 9. Landsat je nejdéle fungující projekt dálkového průzkumu země, který zprostředkovává kompletní snímkování Země z vesmíru prostřednictvím družicových technologií. Jedná se o jedinečný zdroj dat pro oblasti zemědělství, geologie, regionálního plánování, vzdělávání, mapování a výzkumu globálních změn. Landsat 9 je družice vypuštěná 27. září 2021, poskytuje data, která jsou radiometricky a geometricky lepší, než družice Landsat předchozí generace (USGS, 2023). Landsat 9 má prostorové rozlišení 30 m. Data jsou volně dostupná pro širokou veřejnost, podmínkou je pouze zaregistrování na webových stránkách: EarthExplorer (nedatováno). Postup výpočtu povrchové teploty pro sledované území zahrnuje 6 kroků (Učební materiály z geoinformatiky, 2023; Dr. Jayanta Das, 2022). Všechny výpočty jsou provedené v programu ArcGis prostřednictvím funkce Raster Calculator. Všechna potřebná metadata jsou obsažena v balíčku staženém z webových stránek EarthExplorer.

Prvním krokem je konverze digitálních hodnot na hodnoty záření na vrcholu atmosféry, značené jako TOA. Převod je zajištěn vzorcem:

$$TOA(L) = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Kde jsou parametry vyjádřeny jako:

- M_L = Radiance multiplicative Band no. 10, hodnotu zjistíme ve stažených metadatach z Landsat 9
- Q_{cal} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN), Band 10, tedy stažený raster tif

- $AL = \text{Radiance add band no. 10}$, hodnotu zjistíme ve stažených metadatech z Landsat 9

Druhým krokem je konverze zjištěné TOA na zjevnou teplotu, značenou BT, pomocí tepelné konstanty kterou obsahují metadata. Výpočet:

$$BT = k_2 / \ln (k_1/TOA+1)) - 273,15$$

Kde jsou parametry vyjádřeny jako:

$K_1 = k_1$ constant band no.10, hodnotu zjistíme ve stažených metadatech z Landsat 9

$K_2 = k_2$ constant Band no.10, hodnotu zjistíme ve stažených metadatech z Landsat 9

Třetím krokem je výpočet NDVI (Normalizovaný vegetační index), k tomu potřebujeme do programu přidat pásma band 4 a band 5 (raster tif). Výpočet vypadá takto:

$$NDVI = (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4})$$

Čtvrtým krokem je zjištění podílu vegetace. K tomu musíme znát minimální a maximální hodnoty vypočítané NDVI v minulém kroku. Výpočet:

$$P_v = \text{Square} ((NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}))$$

Pátým krokem je výpočet emisivity povrchu, značenou ϵ , ta vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve porovnání s absolutně černým tělesem (Plánka, nedatováno). ϵ je průměrná emisivita vypočítaná z hodnot NDVI. Výpočet:

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986$$

Posledním krokem je výsledný výpočet teploty povrchu, značené LST. Výpočet vypadá takto:

$$LST = BT / (1 + 0.00115 * BT / 1.4388) * \ln (\epsilon))$$

Posledním krokem byl získán výsledný raster o velikosti pixelů 30x30m. Ten bylo nutné převést na souřadnicový systém S-JTSK / Krovak East North. Transformace datového souboru raster probíhala funkcí Project Raster. Závěrem bylo oříznutí rastrového podkladu dle sledovaného území funkcí Extract by Mask. Výsledná mapa je prezentována syntézou podkladové teplotní mapy povrchu a struktury města popsané výše. Průměrná, maximální a minimální povrchová teplota Borských polí a jednotlivých typů povrchů byla vypočítána funkcí Zonal Statistics as Table.

Pro detailnější mapování teplotního režimu bylo provedeno experimentální měření. Měření probíhalo na odlišných typech povrchu. Cílem bylo sledování vývoje teploty vzduchu na odlišném typu povrchu. Při experimentálním měření bylo využito přístrojů pro záznam meteorologických dat. Použity byly přístroje Kestrel 5000 a Kestrel 4000. Každý přístroj byl upevněn cca jeden metr nad povrchem, použité bylo „stínítko“ pro zamezení vlivu přímého slunečního záření. Jeden z přístrojů byl upevněn na rozsáhlé asfaltové ploše, druhý na ploše nízké zeleně.

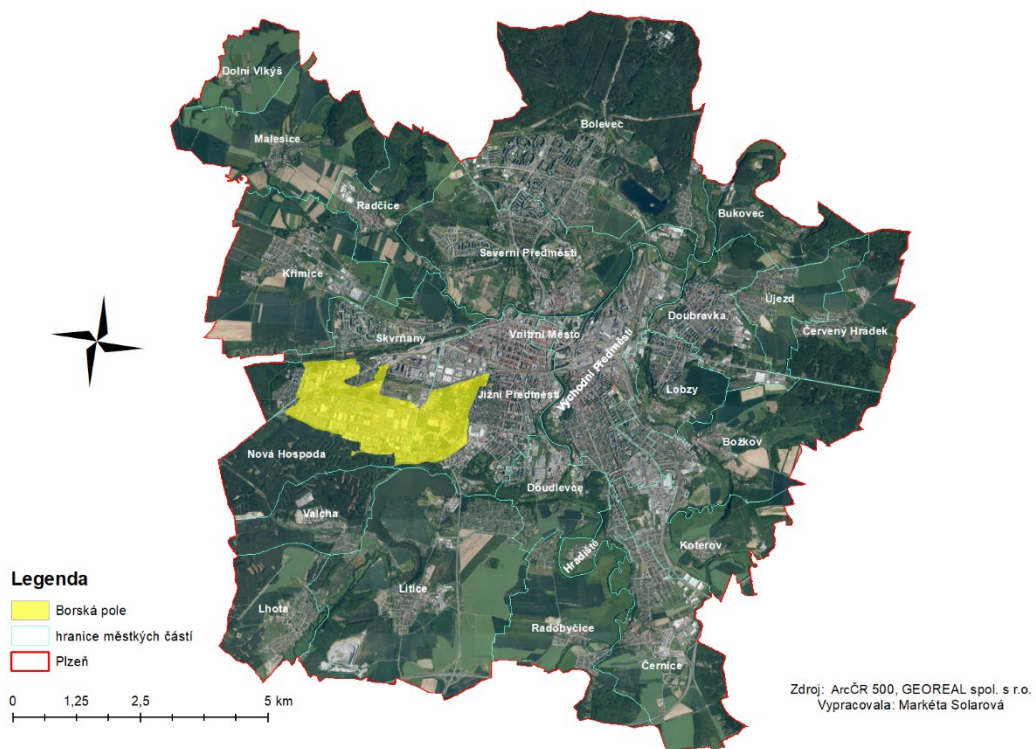
Poslední bodem praktické části je dotazníkové šetření uskutečněné na území Borských polí. Zvolena byla metoda osobního dotazování na vytyčených místech. Forma osobního dotazování je v práci zvolena z několika důvodů. Prvním důvodem bylo zajištění, že respondenti se v průběhu dotazování fyzicky nacházejí na sledovaném území práce. Druhým důvodem je získání co nejpřesnějších informací o aktuálním teplotním komfortu respondentů. Výhodou metody osobního dotazování je kontrola tazatele nad jeho průběhem a možnost vysvětlení podstaty dotazníkového šetření a upřesnění pokládaných otázek. K dotazování byla vybrána čtyři frekventovaná místa na území Borských polí. Konkrétně dvě zastávky na základě největších obrátů z ročenky 2020, dále byla vybrána dvě parkoviště u obchodních středisek Tesco a Makro. Jako metodou sběru dat byl použit jednoduchý náhodný výběr, nebylo potřebné použití stratifikovaného výběru, jelikož zájmovými skupinami byli návštěvníci Borských polí. Byla provedena pilotáž na malém vzorku respondentů. Závěrem pilotáže bylo poupravení délky dotazníku. Vzhledem k tomu, že pro výsledek výzkumu bylo nutné provádět dotazování během horkých dní, byl dotazník zkrácen z důvodu, že příliš dlouhý dotazník pro respondenty byl nekomfortní. Dotazník měl dále obsahovat pocitové mapování na území Borských polí. Bohužel při testování dotazníku na malém vzorku jsme zjistili, že většina osob není schopna určit místa, kde se cítí komfortně a nekomfortně na sledovaném území. Důvodem je, že respondenti většinou nenavštěvují jiná místa ve sledovaném území, než ta, kde bylo prováděno dotazníkové šetření. Na základě toho pocitové mapování do dotazníku nebylo nezahrnuto. Program Statistica byl využit na popisné statistiky obsahující informace o průměru, maximální hodnotě, minimální hodnotě a směrodatné odchylce u sledovaného souboru. V programu byly dále vytvořeny kategorizované krabicové grafy dle pohlaví a místa dotazování.

4 Topoklimatické charakteristiky území

4.1 Charakteristika území

Odstavce níže obsahují základní informace o území a metodiku vymezení oblasti. Území Borských polí je součástí města Plzně. Nachází se na jihozápadním okraji města (mapa 1). Borská pole jsou nejvýznamnější industriální zónou města. Značná část území byla zapojena do projektu městského industriálního parku Plzeň – Borská pole. Jedná se o jeden z nejdůležitějších rozvojových projektů městské správy v oblasti hospodářského rozvoje. Prostřednictvím zmíněného projektu se do oblasti soustředilo množství zahraničních výrobních investic a území disponuje velkým počtem pracovních míst (Králová, 2019). Z toho důvodu je území z větší části tvořeno výrobními budovami, sklady a komerčními nemovitostmi.

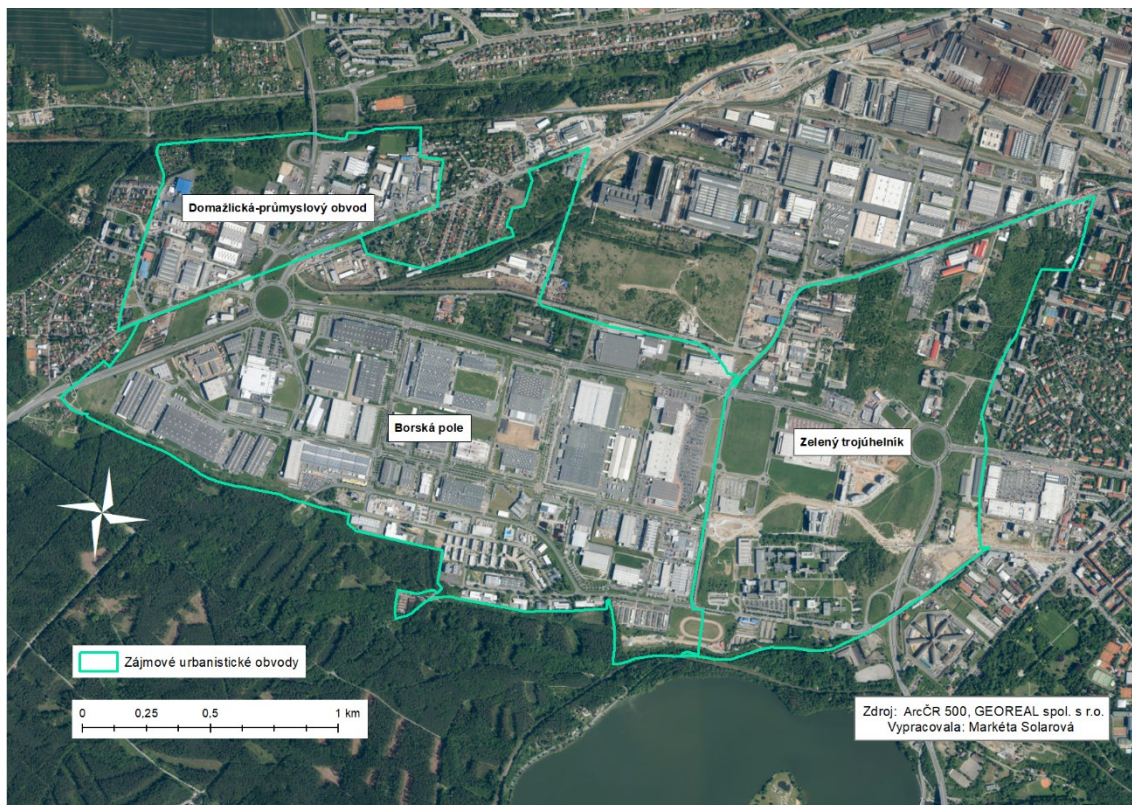
Mapa 1: Lokalizace Borských polí na území města Plzně



Hlavní myšlenkou výběru lokality je kompaktně vymezené území Borských polí s podobnou strukturou povrchu. Na základě této myšlenky území Borských polí je vymezeno prostřednictvím urbanistických obvodů, které na sebe plynule navazují využitím území, ale také se do jisté míry od sebe odlišují, tak aby bylo možné zkoumat široké spektrum povrchů a struktur území. Vymezení je viditelné na mapě 2. Takto

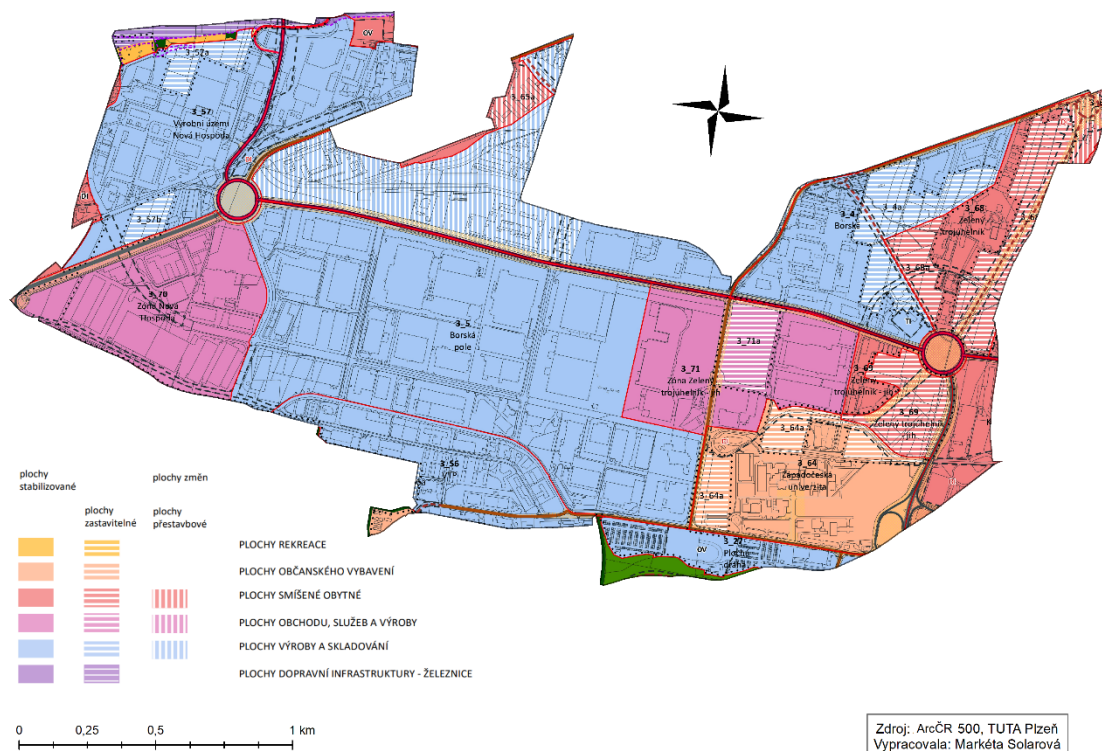
vymezené území obsahuje urbanistické obvody Borská pole (054), Domažlická – průmyslový obvod (087) a Zelený trojúhelník (055). Rozloha takto vymezeného území je 4,65 km².

Mapa 2: Vymezení území Borských polí



Rozlohou je největší urbanistický obvod Borská pole, poté Zelený trojúhelník a Domažlická – průmyslový obvod. Na území Borských polí žije 212 obyvatel, z toho nejvyšší počet obyvatel se nachází v urbanistickém obvodu Zelený trojúhelník (200 obyvatel), poté v Domažlická – průmyslový obvod (12) a urbanistický obvod Borská pole je čistě průmyslový a nikdo zde trvale nebydlí (Digitální Plzeň, 2022). Při prvním pohledu na ortofoto na mapu 2 je viditelná velmi specifická struktura území ta bude detailněji popsána v odstavcích níže.

Mapa 3: Územní plán města Plzně na území Borských polí



Urbanistické obvody Borská pole a Domažlická-průmyslový obvod jsou v územním plánu města Plzně charakterizované jako plochy průmyslových areálů, také geograficky na sebe souvisle navazují. Většinu rozlohy, výše zmiňovaných obvodů, zaujímají plochy pro výrobu a skladování. Na ploše urbanistického obvodu Borská pole můžeme vidět (mapa 3) dvě od okolního území odlišné plochy obchodu, služeb a výroby, těmi jsou obchodní řetězce Makro a Tesco, jinak rozsáhlá část území je tvořena plochy výroby a skladování. Část Domažlického průmyslového obvodu tvoří plochy smíšené obytné a plochy rekreace. Území urbanistického obvodu Zelený trojúhelník je definované jako plocha areálů občanské vybavenosti a v současnosti již plynule navazuje na nákupní centrum Borská pole podobnou strukturou území. Na ploše v územním plánu označené jako „plochy zastavitelné“ č. 3_71 viditelné na mapě 3 právě probíhá výstavba nového obchodního domu s nábytkem Sconto (Plzeňský deník, 2022). Vzniká zde kompaktní oblast plochy obchodu, služeb a výroby. Zelený trojúhelník se do jisté míry odlišuje od zbytku území, a to jak jinou strukturou území, plochy obytné smíšené, tak množstvím zeleně. Další jedinečností z pohledu využití ploch je zde komplex Západočeské univerzity. Urbanistický obvod Zelený trojúhelník je do jisté míry zahrnut kvůli

meteorologické stanici, která se nachází v areálu Západočeské univerzity, ale také kvůli možnému kontrastu a porovnání ploch jiného charakteru.

Morfologicky se zájmové území nachází na náhorní planině na levém břehu Radbuzy, územím prochází rozvodnice řek Mže a Radbuzy. Rozkládá se na rovinatém území, jak je viditelné v příloze A, které se mírně svažuje k jihu k údolní nádrži České údolí. Reliéf území Borských polí můžeme celkově charakterizovat jako terasovitou plochu mírně skloněnou k jihu. Nejvyšší bod území se nachází výšce 372,6 m n. m. a najdeme ho v západní části území. Nejnižší bod se nachází v nejjižnějším cípu oblasti, kde území svažuje k údolní nádrži České údolí. Geograficky území Borských polí spadá do Plzeňské kotliny, která je součástí centrální části Plzeňské pahorkatiny (Česká geologická služba, 2018).

Při pohledu na sklonitost, jedná se o homogenní území. Sklonitost území je jeden z důležitých topografických faktorů, který ovlivňuje mikroklima. Mikroklima se může výrazně lišit od regionálního klimatu. Sklonitost do jisté míry determinuje délku a intenzitu vystavení povrchu slunečnímu záření a množství slunečního záření absorbovaného povrchem (Bennie a kol., 2008). Nižší sklonitost způsobuje vyšší intenzitu a délku slunečního záření. Většina území má velmi nízkou sklonitost do 2,71 % (příloha B).

Dalším topografickým faktorem je expozice svahů, tu můžeme vidět v příloze C. Jižní svahy na severní polokouli jsou obecně více vystavené slunečnímu záření. Z toho můžeme usuzovat, že jižně orientované plochy budou více přehřívány. Jelikož jižní část území mírně svažuje k jihu, můžeme vidět, že i plochy jsou orientované na jih. Přesně opačný příklad je viditelný v severní části území, která mírně svažuje k severu, tedy i plochy jsou spíše orientované k severu.

4.2 Klasifikace městských povrchů

Pro určení klimatu ve městě je zásadní mapování krajinného pokryvu a popis morfologických parametrů města. Ve městech se obecně nachází větší množství nepropustných ploch, které mají odlišné charakteristiky od přírodních povrchů, jako je zeleň. Nepropustné povrchy mají větší schopnost absorbování sluneční energie a jsou tedy náchylnější k přehřívání povrchu. Množství nepropustných povrchů k celkové rozloze sledovaného území silně ovlivňuje mikroklimatické podmínky (Morabito a kol.,

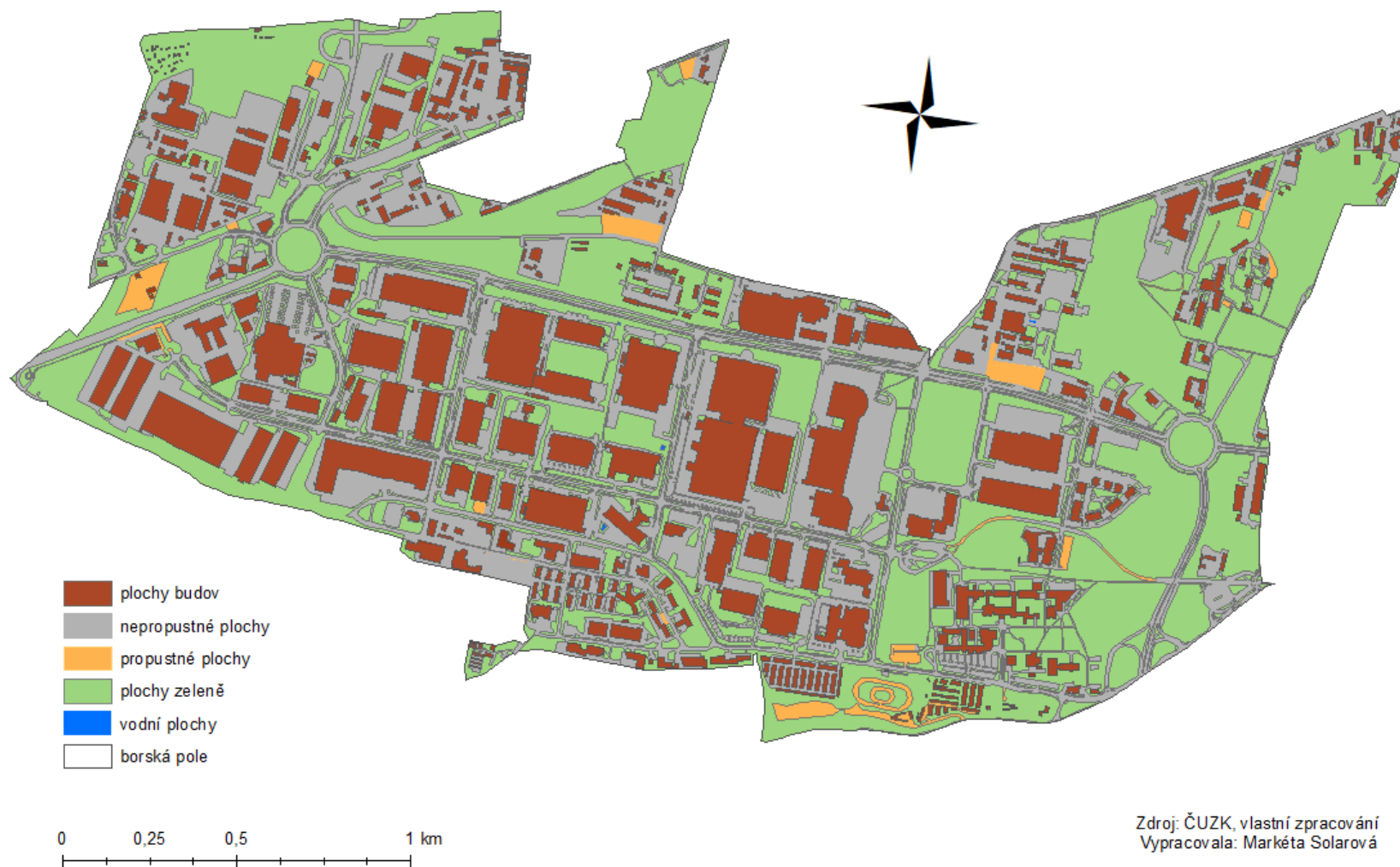
2021). Odstavce níže se detailněji zabývají strukturou území Borských polí. Jak již bylo zmíněno v metodice práce povrchy jsou rozděleny na budovy, nepropustné plochy, plochy zeleně, vodní prvky a ostatní plochy.

Tabulka 1: Podíl jednotlivých ploch na rozloze Borských polí

Druh plochy	Rozloha (m²)	Podíl celkové rozlohy
plochy budov	934 011	20,07%
nepropustné plochy	1 641 206	35,27%
plochy zeleně	1 999 140	42,96%
vodní plochy	658	0,01%
ostatní plochy	78 032	1,68%
Celkem Borská pole	4 653 048	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

Mapa 4: Klasifikace typu povrchů na území Borských polí



Výslednou klasifikaci pokryvu můžeme vidět na mapě 4. Zejména asfaltové a betonové plochy jsou nejčastější zástupci ploch nepropustných. Celkově 35,3 % území Borských polí je tvořeno nepropustnými plochami. Nepropustné plochy obklopují budovy nejčastěji v podobě asfaltového parkoviště, ty jsou prostorově objemné především u nákupních center a u firem s velkým množstvím zaměstnanců, kterých je na Borských polích mnoho. Jelikož Borská pole disponují hustou silniční sítí, plochy silnic tvoří také významnou část nepropustných ploch. Procento ploch budov je také významné, celkově 20 %, jelikož se zde nachází velké plochy výrobních hal, skladů a nákupních center. Velké množství prostorově rozsáhlých budov najdeme především v centrální části území, kde sídlí velké firmy jako Panasonic, Daikin a JTEKT a kde najdeme nákupní centrum Tesco. Jedná se o rozsáhlé nízké budovy s malou hustotou zástavby. Největší souvislá plocha budovy je 64 624 m² velká. Podobnou charakteristiku budov najdeme také ve východní části území, kde převažují plochy výroby. Nárůst podílu nepropustných povrchů má za následek horké městské prostředí, které způsobuje UHI efekt (Jamei a kol., 2019). Odlišná struktura zástavby je viditelná v západní části, kde je zástavba velmi řídká a převažují zde plochy vegetace. Plochy zeleně tvoří 43 % území Borských polí. Rozsáhlé části zájmové oblasti jsou nevyužívané a porostlé neudržovanými náletovými dřevinami. Tyto plochy najdeme hlavně v severním a severozápadním cípu území. Rozsáhlé plochy zeleně se dále nachází na území Zeleného trojúhelníku, ty se postupem času vytrácejí z důvodu nové výstavby. Další významnou plochu vegetace najdeme v severovýchodním cípu, kde se území svažuje k Vejprnickému potoku. Na základě vlastního terénního průzkumu se v centrální části oblasti, kolem velkých budov, nachází hlavně nízká vegetace, která z důvodu sečení a nedostatku vláhy během letních měsíců nevykazuje dostatečnou kvalitu. Vodní plochy tvoří nevýznamný podíl rozlohy. Jedná se o požární a retenční nádrže, žádná větší vodní plocha ani vodní tok se na území Borských polí nenachází.

Přesto, že značná část Borských polí je tvořena neudržovanou vegetací, v území převažují nepropustné plochy a plochy budov nad zelení. Tyto plochy jsou v územního plánu klasifikované jako plochy zastavitelné, předpokládáme tedy, že množství nepropustných ploch na zájmovém území se bude zvyšovat.

Další možností klasifikace povrchu je využití univerzální klasifikace městského, ale také mimoměstského krajinného pokryvu zvanou místní klimatické zóny (teoretická část odstavce 3.2.1). Metoda se využívá zejména pro charakteristiku v měřítku celých měst či větších městských částí, pro mikroměřítko se metoda nevyužívá, proto se této metody práce dotýká pouze okrajově. Největší část území, centrální část, Borských polí tvoří prostorově rozsáhlé plochy budov, sloužící většinou jako výrobní haly nebo sklady. Tyto typy budov jsou charakteristické pro kategorii LCZ8. Kategorie je obecně definována jako otevřené upořádání rozlehlých nízkopodlažních budov, které mívají obvykle 1 až 3 patra. Konstruktivním materiálem budov je nejčastěji beton, ocel a další kovy. Okolí těchto budov bývá tvořeno nepropustnými plochami jako je asfalt a beton. Obecně se jedná o prostředí s nízkým podílem vysoké vegetace. Kvůli efektu městského tepelného ostrova je obecně klima LCZ8 teplejší a sušší než okolní mimoměstské oblasti. Vysoký podíl nepropustných povrchů vede k nižší evapotranspiraci, což má za následek sušší mikroklima (Geletič & Lehnert, 2017). Dle autorů jsou areály LCZ 8 náchylné k výskytu vysokých teplot vzduchu (Středová a kol., 2015). Další méně zastoupenou kategorií je LCZC, jedná se o křoviny a nízké stromy, které nalezneme na sledovaném území zejména ve východní části (Geletič & Lehnert, 2017).

4.3 Klimatické poměry

Klimatické poměry jsou nejčastěji zjišťovány prostřednictvím pozemních meteorologických stanic. Na území Borských polí se nachází meteorologická stanice v areálu ZČU (příloha H), klimatické poměry jsou interpretovány na základě těchto dat. Borská pole se řadí dle Quitta (1971) klimaticky do mírně teplé oblasti MT 11 s dlouhým a suchým létem a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky.

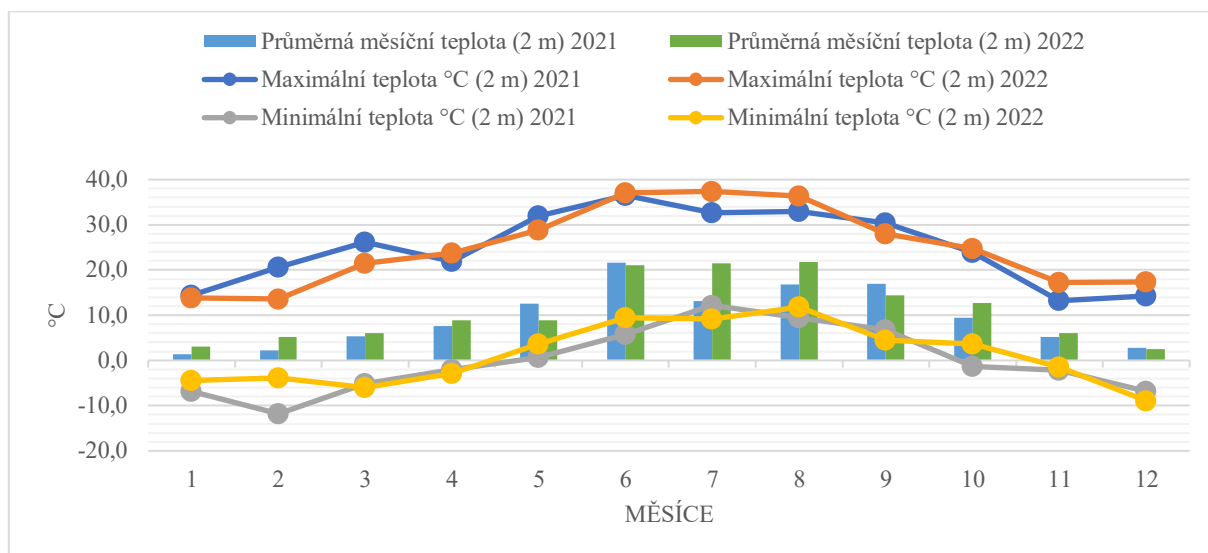
4.3.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je nejčastěji používaným ukazatelem při studiu teplotním poměrů ve městech. Jedná se o meteorologický prvek představující tepelný stav ovzduší, dle doporučení Světové meteorologické organizace mají být umístěna čidla teploměrů ve výšce 1,25 až 2,0 m nad zemí (Geletič a kol., 2020). Čidlo měřící meteorologické prvky v meteorologické stanici ZČU je umístěno ve výšce 2 m nad zemí. Standartně se teplota vzduchu měří na udržovaném trávníku. Pokud se teplota vzduchu měří v městském prostředí jsou akceptovány i jiné povrchy. Důvodem je, aby teplota byla měřena nad

charakteristických povrchem blízkého okolí dané lokality. Prostřednictvím teploty vzduchu je také definován tepelný ostrov města (Geletič a kol., 2020).

Průměrná teplota na území Borských polí za roky 2021 a 2022 činila 10,30 °C. Nejteplejším měsícem byl červenec 2022 a naopak nejchladnějším měsícem byl leden 2021. Maximální teplota vzduchu byla naměřena 20.07.2022 37,4 °C. Podrobnější výsledky jsou uvedené v grafu 1. Oproti roku 2021 jsou v roce 2022 viditelné výrazně teplejší měsíce červenec a srpen. Souhrnně na základě výsledků byl rok 2022 teplejší než rok 2021.

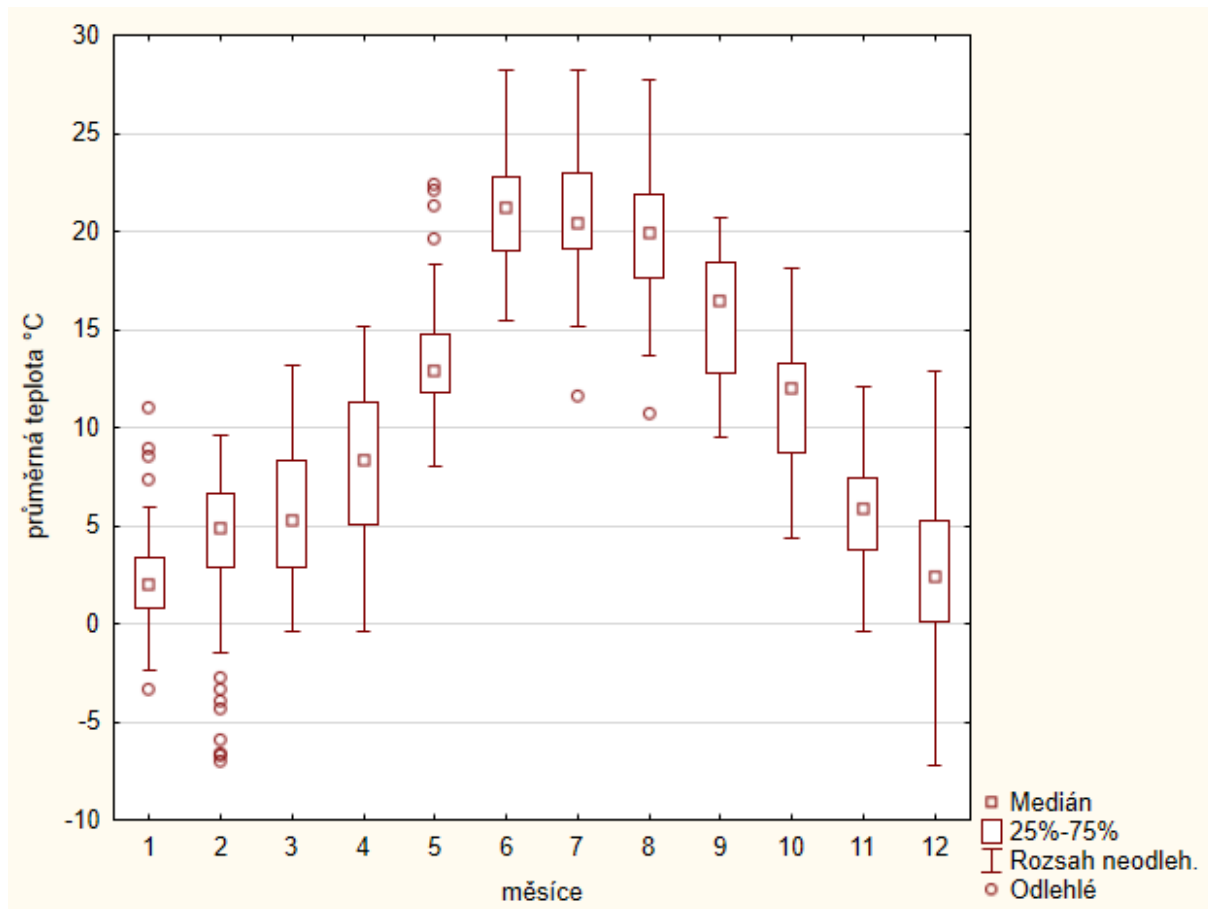
Graf 1: Měsíční hodnoty vybraných teplotních ukazatelů za roky 2021 a 2022 na území Borských polí



Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteorostanice ZČU

Krabicový graf 2 neidentifikoval žádnou extrémní hodnotu. Odlehlých hodnot bylo naměřeno několik v lednu a v únoru dále v květnu, červenci a v srpnu. Nejvyšší rozsah teplot je viditelný v prosinci, kdy se teploty pohybovaly od -7 °C do 12 °C. Medián byl nevyšší v červnu a dosahoval hodnoty 21 °C.

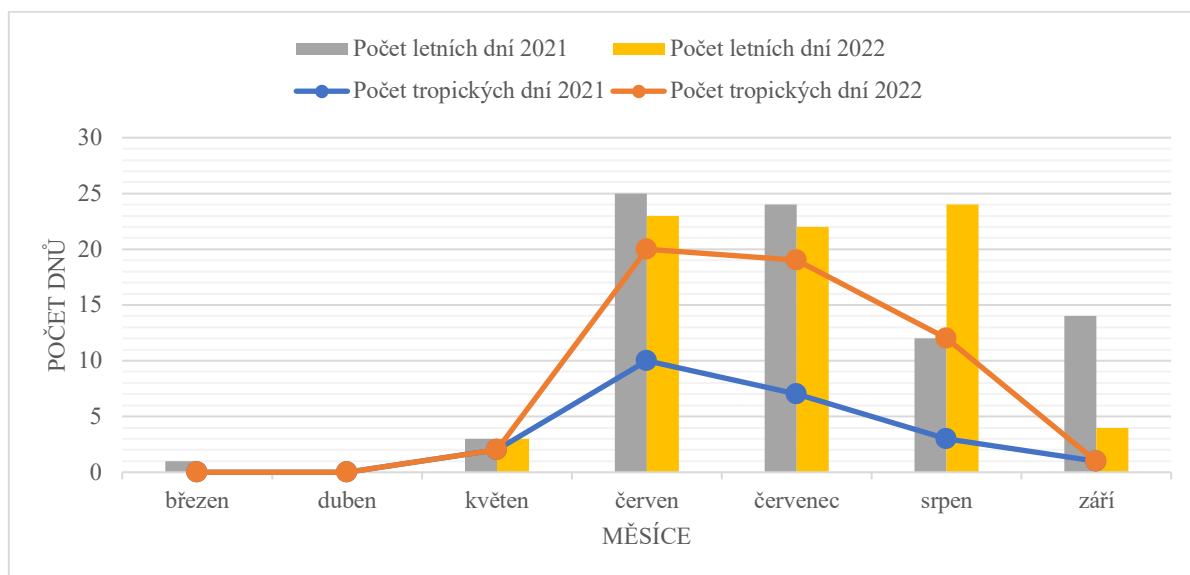
Graf 2: Krabicový graf průměrných denních hodnot teploty vzduchu za roky 2021 a 2022 na územích Borských polí



Zdroj: vlastní zpracování v programu Statistica dle dat z meteostanice ZČU

Na grafu 3 můžeme vidět počet letních a tropických dní za sledované období. Letní den, je takový den, kdy maximální teplota vzduchu dosáhla hranice 25 °C. Definice tropického dne je následující, je to den, kdy maximální teplota vzduchu překročila hranici 30 °C (Pocasi meteo aktuality, 2020). Množství tropických dní v roce 2022 podporuje tvrzení zmíněné výše, že rok 2022 byl teplejší než rok 2021. Nejvyšší počet tropických dní byl v roce 2022 v měsíci červen (20 dní), druhá nejvyšší hodnota byla naměřená v červenci 2022. Nejspíše kvůli nízkému množství tropických dní v červnu 2021, byl v tomto měsíci zaznamenán nejvyšší počet letních dní, tedy 25 dní. Druhý nejvyšší počet letních dní je viditelný červenci 2021 a srpnu 2022.

Graf 3: Počet letních a tropických dní v roce 2021 a 2022 na území Borských polí

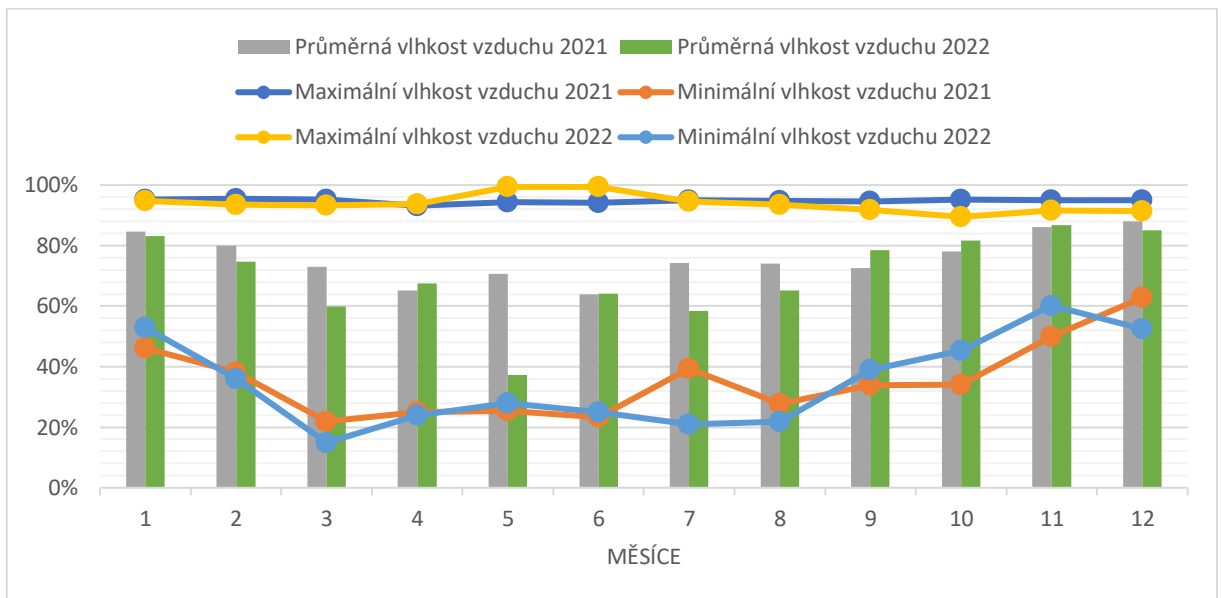


Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteorostanice ZČU

4.3.2 Vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu je jeden z faktorů prostředí, který ovlivňuje teplotní komfort. Průměrné hodnoty, také maximální a minimální hodnoty za sledované období jsou viditelné na grafu 4. Průměrné hodnoty vlhkosti vzduchu jsou nejnižší v letních měsících. V roce 2022 byly naměřeny mnohem nižší hodnoty vlhkosti vzduchu než v roce 2021. To může být zapříčiněno také nižší teplotou a vyšším úhrnem srážek v roce 2021. Nejnižší průměrná vlhkost vzduchu je evidovaná v květnu v roce 2022. Nejvyšší průměrná měsíční vlhkost vzduchu byla naměřena v prosinci 2021. Maximální měsíční hodnoty dosahují 99 % vlhkosti vzduchu. Nejnižší měsíční vlhkost vzduchu byla v březnu v roce 2022 (15 %).

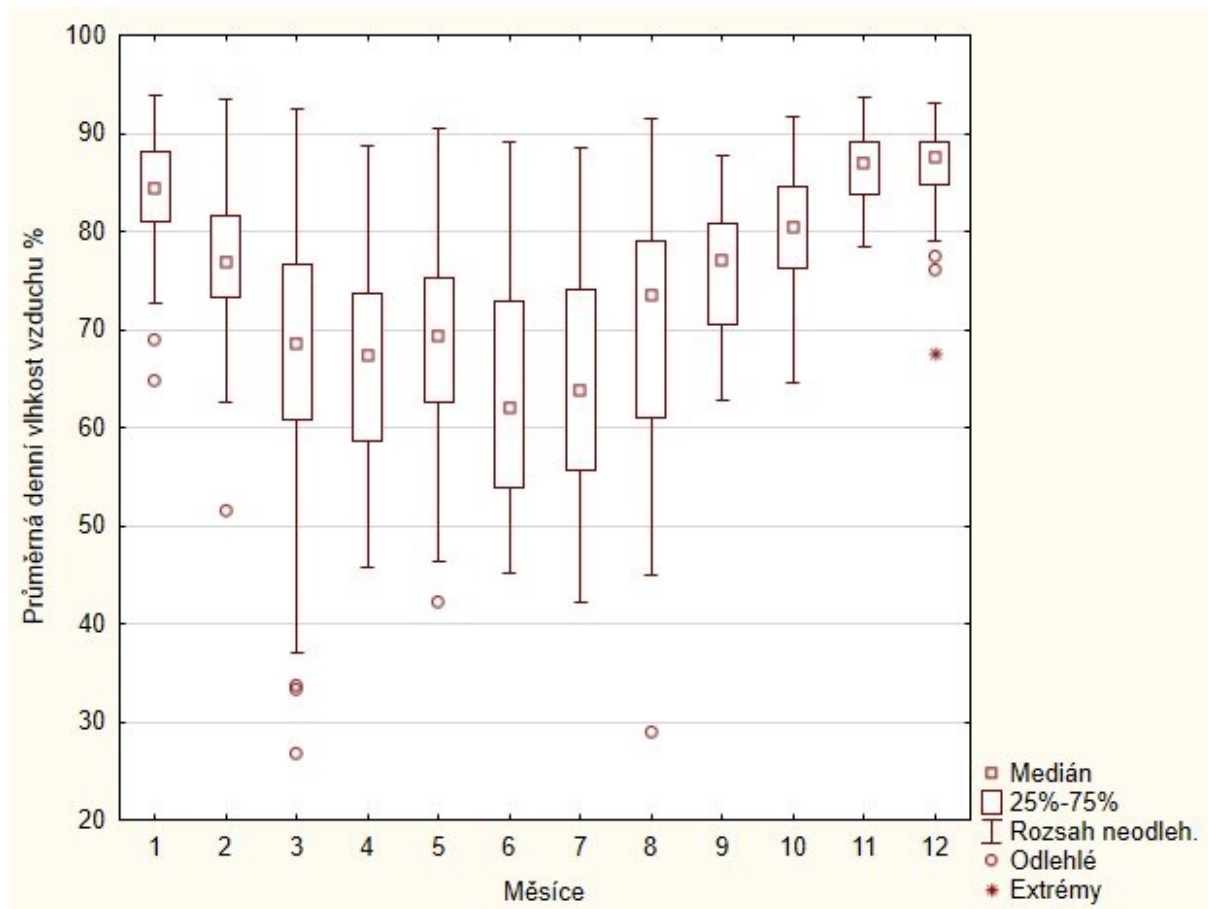
Graf 4: Měsíční hodnoty vlhkosti vzduchu v roce 2021 a 2022 na území Borských polí



Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteostanice ZČU

Na krabicovém grafu 5 můžeme vidět jednu extrémní hodnotu, ta byla naměřena v prosinci v roce 2022. Odlehlých hodnot je naměřeno několik. Největší rozsah hodnot je evidován v březnu. Hodnota mediánu průměrné relativní vlhkosti je nejnižší v červnu a nejvyšší v prosinci.

Graf 5: Krabicový graf průměrných denních hodnot vlhkosti vzduchu za roky 2021 a 2022 na území Borských polí

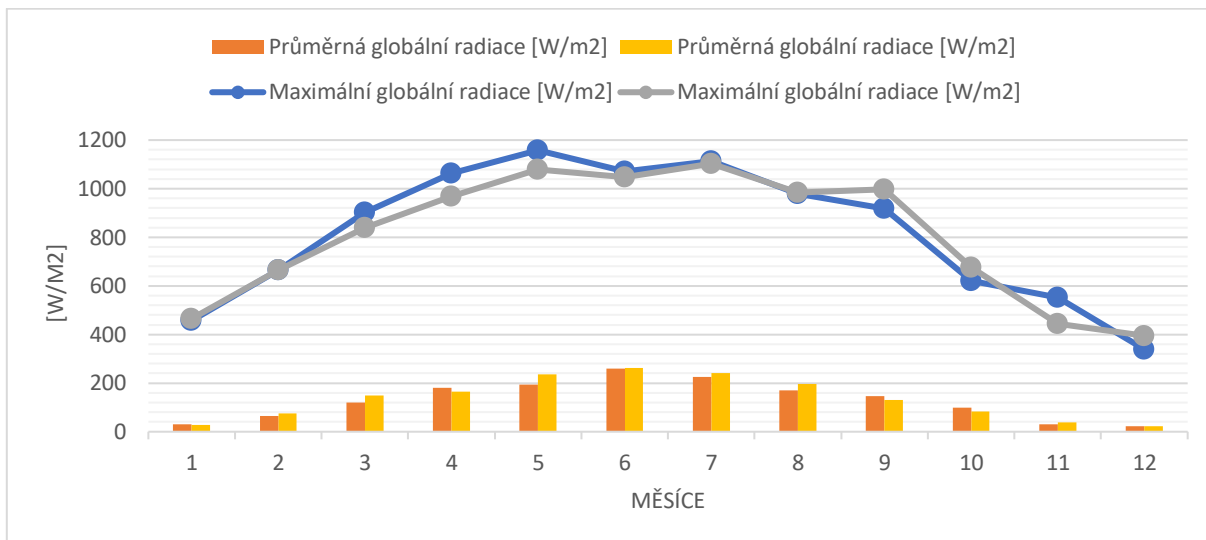


Zdroj: vlastní zpracování v programu Statistica dle dat z meteostanice ZČU

4.3.3 Globální radiace

Tento meteorologický ukazatel měří množství slunečního záření dopadající na jednotku plochy. V součtu za časové období dostaneme celkové množství slunečního záření na jednotku povrchu (Eklund, 2022). Nejvyšší hodnoty globální radiace jsou viditelné na grafu 6 zejména v letních měsících. Nejvyšší měsíční hodnota byla naměřena v květnu v roce 2021. Průměrná hodnota je naopak nejvyšší v červnu 2022 (263 W/m^2). Maximální hodnota globální radiace byla naměřena 19.05.2021 $1157,9 \text{ W/m}^2$.

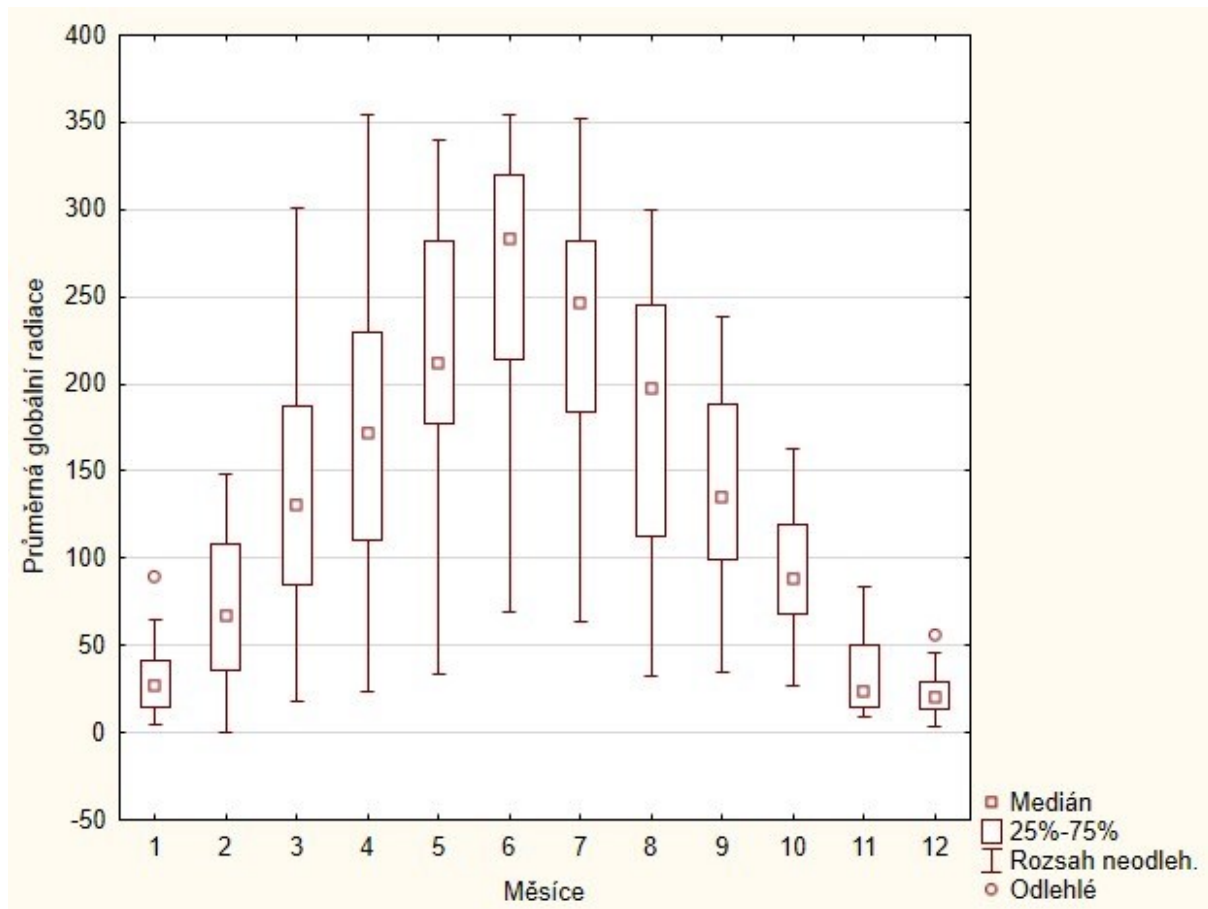
Graf 6: Měsíční hodnoty globální radiace v roce 2021 a 2022 na území Borských polí



Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteostanice ZČU

Na krabicovém grafu 7 jsou uvedené pouze dvě odlehlé hodnoty, v lednu a v prosinci. Největší rozsah hodnot je viditelný v dubnu. Nejnižší rozsah hodnot je v prosinci a poté v lednu. Medián globální radiace je nejvyšší v červnu.

Graf 7: Krabicový graf průměrných denních hodnot globální radiace za roky 2021 a 2022 na území Borských polí

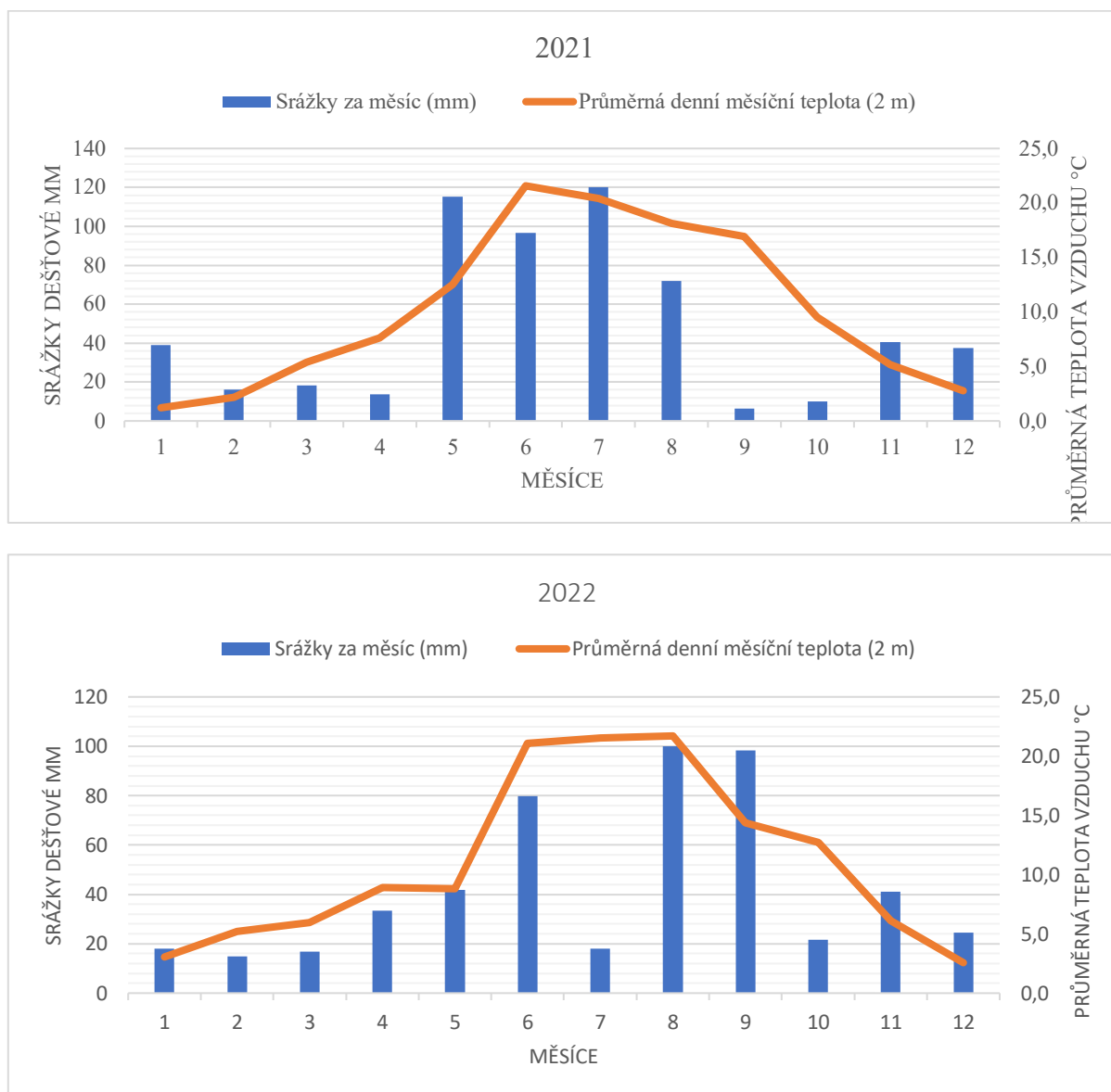


Zdroj: vlastní zpracování v programu Statistica dle dat z meteostanice ZČU

4.3.4 Srážkové poměry

Průměrný úhrn srážek za sledované období (2021,2022) činil 546 mm. Ve sledovaném období si můžeme všimnout specifického chodu dešťových srážek, výsledky můžeme vidět na grafech 8 a 9. Rok 2021 byl z pohledu úhrnu srážek vydatnější (585 mm) nad rokem 2022 (508 mm). Zatímco v roce 2021 byl nevyšší úhrn srážek v červenci v roce 2022 se jednalo o jeden z nejsušších měsíců za celý rok. Přesně opačná situace je viditelná v září. Měsíc září v roce 2021 byl zcela nejsušším měsícem. V roce 2022 měsíční úhrn srážek dosáhl téměř 100 mm. Jednalo se z pohledu srážkových poměrů o velmi rozdílné roky.

Graf 8 a Graf 9: Klimadiagramy na základě dat meteostanice ZČU 2021 a 2022



Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteostanice ZČU

4.3.5 Vývoj teploty vzduchu

Kvůli pozdějšímu zavedení meteostanice ZČU nejde analyzovat vývoj klimatu v delším časovém období. Proto pro nastínění vývoje klimatu jsou použita data z meteostanice Plzeň. Plzeň je monitorována meteorologickými a klimatologickými stanicemi ČHMÚ Plzeň–Bolevec, Plzeň–Mikulka a Plzeň–město, kdy nejpřesněji měří jednotlivé meteorologické prvky stanice Plzeň–Mikulka a Plzeň–Bolevec (Kopp & Vacík, 2012). Pro potřeby práce jsou použity data z meteostanice Mikulka.

Tabulka 2: Roční průměrná teplota Plzně naměřená meteorologickou stanicí Mikulka 2005-2022

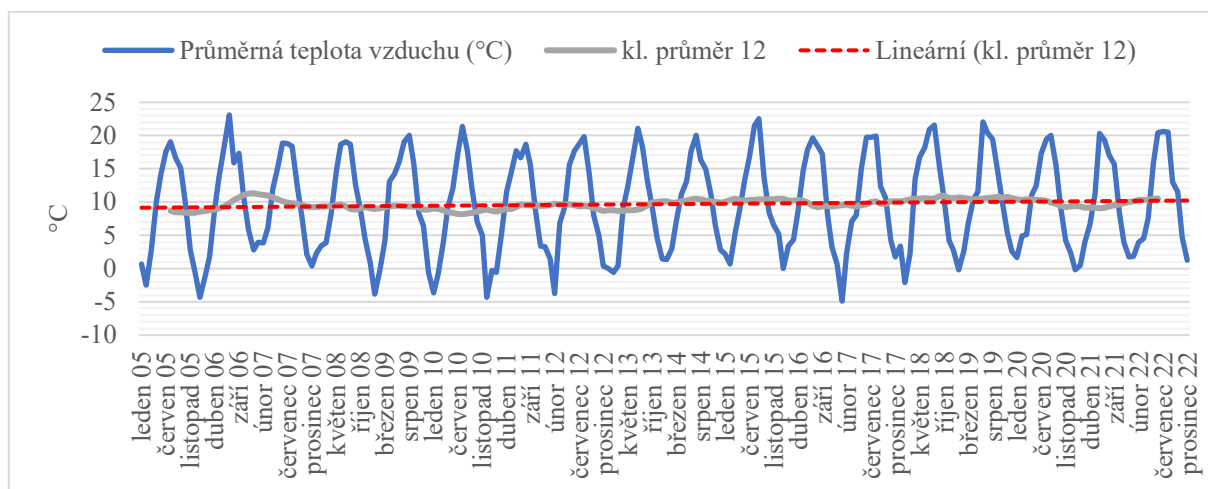
Rok	Roční průměrná teplota	Odchylka *
2005	8,8°C	0,4°C
2006	9,4°C	0,1°C
2007	10,0°C	0,2°C
2008	9,6°C	0,0°C
2009	9,4°C	0,1°C
2010	8,0°C	0,8°C
2011	9,5°C	0,1°C
2012	9,5°C	0,1°C
2013	8,8°C	0,4°C
2014	10,4°C	0,4°C
2015	10,4°C	0,4°C
2016	9,7°C	0,0°C
2017	9,6°C	0,0°C
2018	10,6°C	0,5°C
2019	10,5°C	0,4°C
2020	10,3°C	0,3°C
2021	9,1°C	0,3°C
2022	10,5°C	0,4°C

*průměrná hodnota vypočítána za roky 2005-2020

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat (Portál ČHMÚ, 2023)

Průměrná teplota Plzně za období 2005-2020 činila 9,67°C. V tabulce 2 jsou viditelné odchylky v průměrné teplotě za jednotlivé roky. Nejvyšší odchylka byla zaznamenána v roce 2010 a jednalo se o nejstudenější rok za sledované období. Druhá nejvyšší odchylka byla zaznamenána v roce 2018 a jednalo se o nejteplejší rok za sledované období. Nejaktuálnější průměrná teplota za rok 2022 činila 10,5°C a byla o 0,4°C vyšší než průměr. Průměrná teplota za roky 2021 – 2022 naměřená meteostanicí Mikulka byla 9,77 °C, průměrná teplota zaznamenaná meteostanicí ZČU činila 10,30 °C. Meteostanice ZČU naměřila hodnotu vyšší o 0,53 °C.

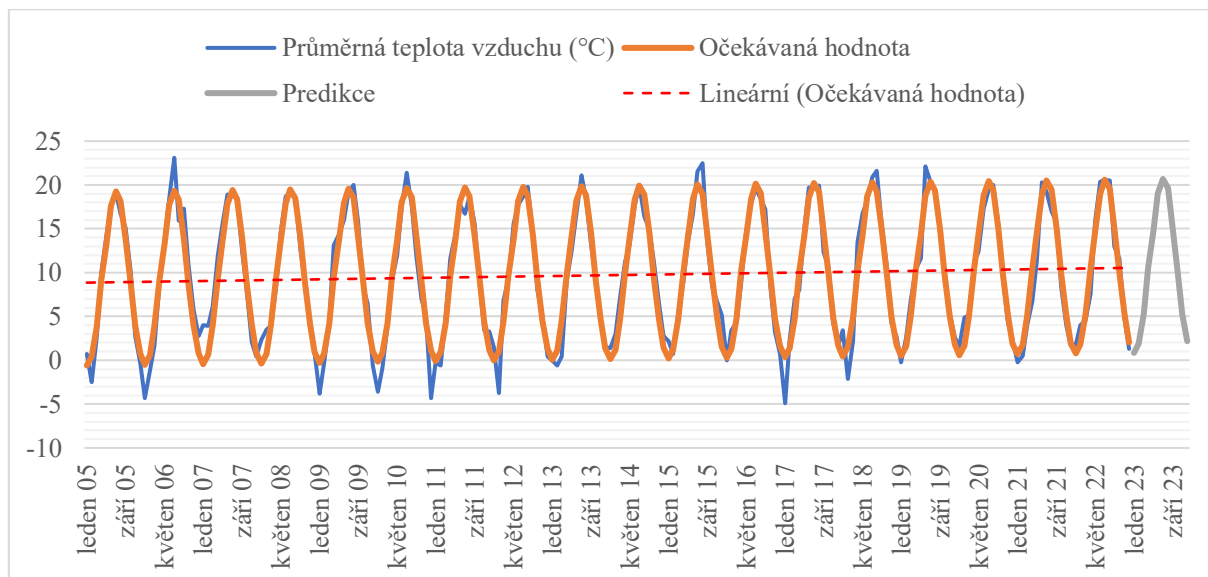
Graf 10: Průměrná měsíční teplota vzduchu za období 2005-2022 v Plzni



Zdroj: vlastní zpracování na základě dat (Portál ČHMÚ, 2023)

Detailněji data můžeme vidět na grafu 10 kde jsou průměrné hodnoty za jednotlivé měsíce v období 2005-2022. Data byla vyhlazena pomocí klouzavých průměrů tak, aby bylo snazší odhalení trendu časové řady a byla odstraněná sezónní složka, která způsobuje pravidelně opakující se odchylku od trendu vyskytující se v rámci roku. Z grafu je parný lehce rostoucí trend.

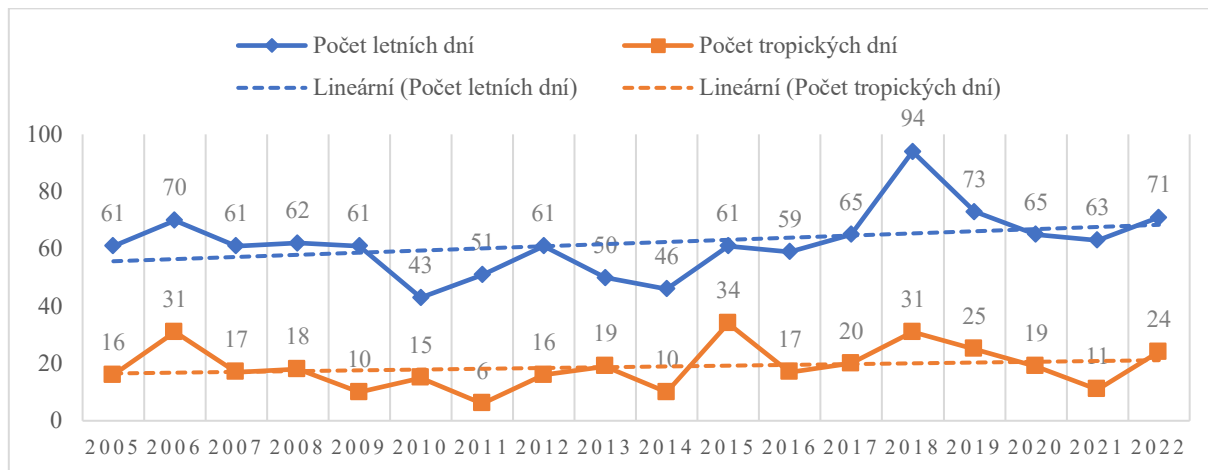
Graf 11: Průměrná teplota vzduchu a očekávané hodnoty za období 2005-2022 a predikce na rok 2023 v Plzni



Zdroj: vlastní zpracování na základě dat (Portál ČHMÚ, 2023)

Na základě lineární regrese byly vypočteny očekávané hodnoty a byla vytvořena predikce na rok 2023. Obdobně jako v grafu 11 je viditelný rostoucí lineární trend. Dle výsledků se predikuje na rok 2023 další růst teploty vzduchu.

Graf 12: Počet letních dní a tropických dní za období 2005-2022 v Plzni



Zdroj: vlastní zpracování na základě dat (Portál ČHMÚ, 2023)

Na grafu 12 můžeme vidět vývoj počtu letních a tropických dní v Plzni, kdy nejvyšší počet letních dní byl v roce 2018 a nejvyšší počet tropických dní v roce 2015. Nejnižší počet letních dní a také tropických dní byl zaznamenán v roce 2011. Také u počtu letních a tropických dní je zřejmý lineárně rostoucí trend.

5 Povrchové teplotní mapování území Borských polí

Mimo sítě pozemních meteorologických měření jsou zde další metody, jak charakterizovat teplotní režim ve městě, jednou z nich je povrchové termální mapování. Smyslem této kapitoly je pochopení významu jednotlivých prostorových urbanistických prvků a jaký mají vliv na teplotní režim města. Mapy povrchové teploty jsou vytvořeny z radiačních dat získaných aplikací technik dálkového průzkumu Země (Jamei a kol., 2019).

Povrchová teplota a teplota vzduchu jsou dva odlišné termíny, v praxi někdy dochází k záměně těchto pojmů. Povrchová teplota může být měřena kontaktně a bezkontaktně. Jedná se o teplotu povrchu těles. Kontaktní měření povrchové teploty probíhá prostřednictvím teploměru určeného k měření povrchové teploty. Způsobů bezkontaktního měření je několik. V praxi se nejčastěji používá infračervený teploměr, termální kamera nebo metody dálkového průzkumu Země (DPZ) (Geletič a kol., 2020). V současnosti velmi populární a zároveň dostupnou metodou bezkontaktního měření je právě DPZ, která je využita i v předkládané práci.

Přednosti povrchového termálního mapování je lepší pochopení vazeb mezi teplotou jednotlivých povrchů a strukturou města. Celkově metody povrchového mapování nabízejí komplexnější a přesnější způsob monitorování povrchové teploty než pozemní meteorologické stanice. Poskytují cenné informace pro řadu oblastí jako městské plánování, monitorování životního prostředí a veřejného zdraví. Detekce povrchové teploty ve městech se může provádět za účelem analyzování tepelného ostrova města, jelikož údaje o povrchové teplotě mohou pomoci identifikovat přehřívané oblasti. Na těchto místech pak mohou být aplikované strategie na zmírnění dopadů vysoké teploty. Celkově je analyzování povrchové teploty podstatné a můžeme napomoci řadě rozhodnutí zlepšující kvalitu života ve městech. Ačkoliv je přístup analyzování povrchové teploty, anglicky land surface temperature (LST), široce používaným deskriptorem městského teplotního prostředí, jedná se o teplotní situaci území v dobu, kdy byl termální snímek pořízen, postrádá tedy sledování vývoje teploty v čase (Lemoine-Rodríguez a kol., 2022).

Nezbytná je klasifikace městského povrchu, aby došlo k lepšímu pochopení vztahu mezi jednotlivými povrchy města. Podkladem pro výpočet průměrné teploty jednotlivých ploch byla tedy klasifikace typů ploch v kapitole 4.2 klasifikace městských povrchů. Problematický byl výběr dat, kvůli oblačnosti. Nakonec byla vybrána data z 17.06.2022.

V tento den byla průměrná teplota dle meteostanice ZČU 21,5°C a maximální teplota dosahovala hodnoty 28,8°C.

Průměrná povrchová teplota Borských polí dosahovala 27,9°C. Výstup sledující průměrné teploty jednotlivých ploch je viditelný v tabulce 5, nejvyšší průměrnou teplotu mají plochy budov 30,5°C. Nejvyšší naměřená teplota byla také na ploše budov, a to 39°C. Nejnižší průměrná hodnota byla naměřená na propustných plochách a plochách zeleně. Celkově nejnižší teplota povrchu na Borských polích byla evidována na ploše zeleně (19,0°C). Obecně lze říci, že plochy budov a nepropustné plochy mají vyšší teplotu než propustné plochy a plochy zeleně. Budovy jsou průměrně o 4,4°C teplejší než plochy zeleně. Nevyšší směrodatná odchylka byla sledovaná u ploch budov 3,3°C. Tento výsledek koresponduje skutečností diskutovanou v teoretické části práce, že obecně více přehřívané jsou nepropustné plochy. To z důvodu lepší schopnosti absorbování sluneční energie.

Tabulka 3: Teplotní charakteristiky jednotlivých druhů povrchu

kategorie	Průměrná teplota °C	Minimální teplota °C	Maximální teplota °C	Směrodatná odchylka °C
plochy budov	30,5	20,3	39,0	3,3
plochy zeleně	26,1	19,0	36,1	3,0
nepropustné plochy	29,0	19,7	37,5	2,5
propustné plochy	25,9	21,2	30,0	1,8

Zdroj: vlastní zpracování

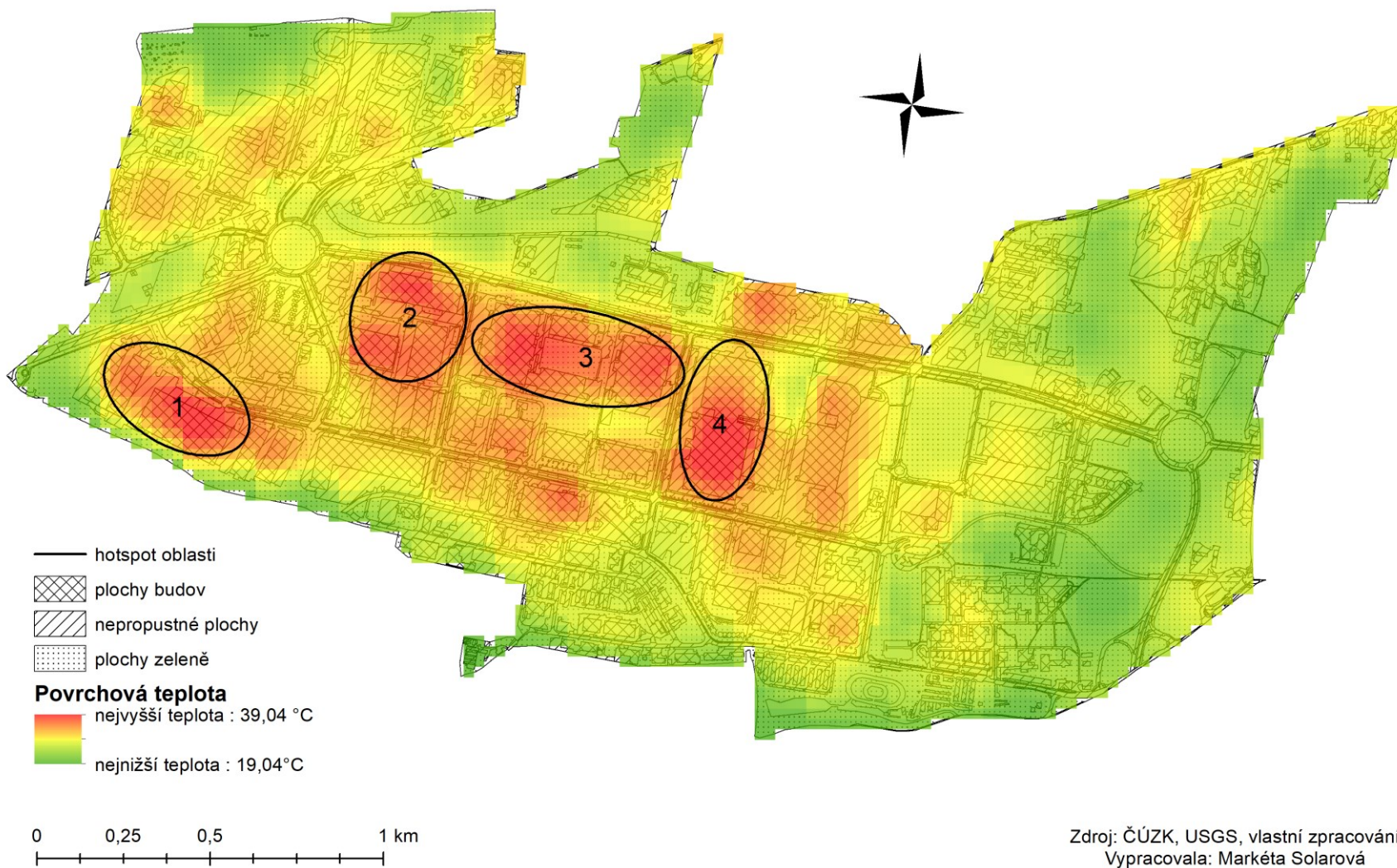
Výsledná mapa 5 ukazuje výsledky mapování povrchové teploty na území Borských polí. Jsou zde jasně viditelné vazby mezi teplotou a strukturou povrchu. Červenou barvou jsou označena nejvíce přehřátá místa, tzv. hotspot lokality a zelenou barvou místa s nejnižší povrchovou teplotou. Maximální povrchová teplota dosahovala 39,04 °C a byla zaznamenána na ploše budovy. Dle výsledků nejvyšší povrchové teploty korelují s rozsáhlými plochy skladů a výroby. Vysoká povrchová teplota je dále navýšená množstvím nepropustných ploch v blízkém okolí budov. V poměru s rozsáhlými plochami v centru Borských polí je zde nízké procento zeleně. Chladící efekt vegetace tedy zde není téměř znatelný. Pro lepší popis byly identifikovány a označeny na mapě 5 čtyři hotspot oblasti s vyššími teplotami než vykazuje jejich okolí. Ohniska hotspot oblastí jsou zcela jasně velké plochy budov. První z hotspot oblastí (1) se nachází v

jihozápadním cípu území. Konkrétně se jedná o okolí firmy Sumisho s. r. o. Druhá, třetí a čtvrtá hotspot oblast se nachází v relativní blízkosti v centru území. V centrální části je také evidován nejvyšší podíl budov. Nejvyšší povrchové teploty sledujeme u rozsáhlé výrobní plochy Panasonic (hotspot 4), dále u budov JTEKT a Daikin Industries (hotspot 2 a 3) v těsné blízkosti. Dalšími přehřátým místem je plocha budovy firmy Allog s. r. o. (hotspot 2) a území v blízkém okolí.

Nejnižší povrchovou teplotu mají oblasti ve východní části území. Minimální teplota povrchu se nachází na ploše zeleně a dosahuje hodnoty 19,04°C. Pokud se podíváme na zelená místa s nejnižší povrchovou teplotou většinou obepisují plochy zeleně. Velmi dobře viditelné je to v okrajových částech území, které jsou většinou tvořeny rozsáhlejšími plochami zeleně. Výrazně nižších teplot dosahují rozsáhlejší plochy zeleně.

Na sledovaném území je významná diference mezi vegetačním pokryvem a plochy budov. Pozorujeme, že zeleň má nižší teploty povrchu, zejména pokud se jedná o větší souvislé území. Shrňme tedy, že plochy zeleně mají ochlazující vliv na území. Přesně opačné působení povrchu na teplotu je znatelné budov. Rozlohou největší plocha budovy (Panasonic) na Borských polích má nejvyšší zaznamenanou povrchovou teplotu. Plochy budov naopak jsou hnacím motorem přehřívání oblasti.

Mapa 5: Identifikované hotspot oblasti na mapě teploty povrchu na území Borských polí 17.06.2022, podkladová mapa klasifikace typů povrchů



5.1 Experimentální měření

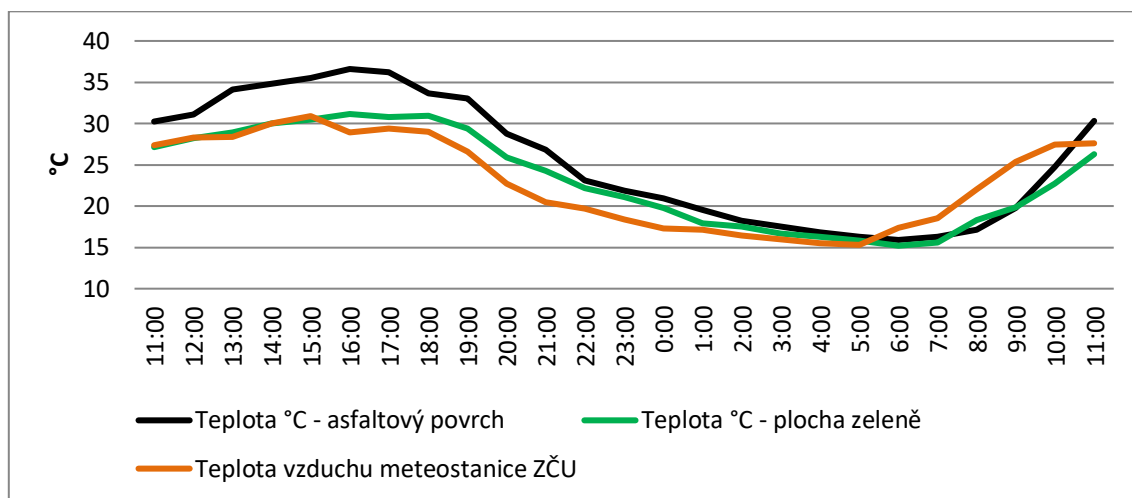
Za účelem detailnějšího analyzování vývoje teplot na rozdílných typech ploch bylo provedeno experimentální měření. Měření probíhalo v areálu průmyslového podniku Mea (příloha D) ve dnech 23.7.2021 a 24.7.2021 a jednalo se o 24 hodinový experiment. Experimentální měření probíhalo ve dnech, klasifikovaných jako tropické, kdy maximální teplota vzduchu přesáhla hranici 30 °C.

Výsledky ukazují, že vyšší maximální teplota byla naměřená nad asfaltovým povrchem 36,2 °C. Maximální teplota naměřená nad plochou zeleně dosahovala 31,15 °C. Nejvyšší rozdíl teploty byl naměřen 16:00 a jednalo se o 5,45 °C. Na grafu 13 můžeme vidět odlišný vývoj teploty během dne. Odpolední maxima jsou výrazně vyšší u hodnot na asfaltovém povrchu. Teplota také nad asfaltovým povrchem ve večerních hodinách klesá pomaleji. Podobná teplota vzduchu naměřená nad oběma typy povrchů je viditelná až kolem 2:00. Během dne sluneční záření ohřívá městské povrchy, toto uložené teplo se uvolňuje v noci a omezuje noční ochlazování vzduchu ve městech a vytváří efekt tepelného ostrova (Masson a kol., 2020).

Na grafu 13 můžeme vidět také teplotu vzduchu měřenou meteostanicí ZČU ve výšce 2 m. Výsledky jsou získány na základě rozdílné metodiky měření, proto je nutné interpretaci brát s rezervou. Pro účely experimentálního měření byl přístroj zaznamenávající meteorologická data umístěn cca 1 m nad povrchem, tak aby povrch měl znatelný vliv na výsledky. Na rozdíl od toho v meteostanicí ZČU je teplota měřená standartním způsobem ve 2 metrech. Denní vývoj teplot naměřený meteostanicí ZČU dosahuje nižších maximálních hodnot. Odlišné je také rychlejší snižování teploty ve večerních hodinách.

Souhrnně experimentální měření odhalilo rozdílný vývoj teploty nad plochou zeleně a asfaltovým povrchem. Denní maxima je znatelně vyšší o 5°C nad asfaltovým povrchem. Ve výšce ve které se uskutečnilo experimentální měření je vliv povrchu znatelný.

Graf 13: Experimentální měření teploty vzduchu nad odlišných typech povrchu ve dnech 23.7.2021 a 24.7.2021

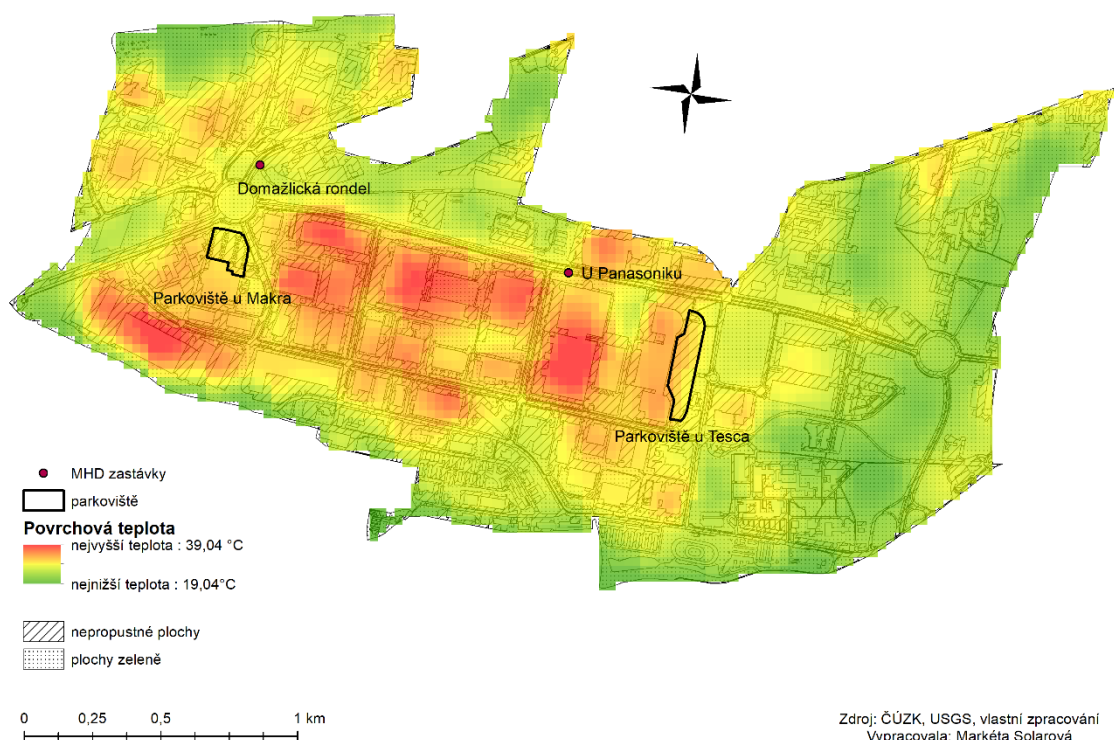


Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteorostanice ZČU a vlastního měření

6 Dotazníkové šetření

Další používaný přístup zkoumání teplotního komfortu využívá metod dotazníkového šetření pro zjištění subjektivního vnímání teploty. Dotazníkové šetření je cenným nástrojem pro hodnocení a zlepšování teplotní pohody osob ve venkovních prostorech. Poskytuje důležité poznatky o potřebách a preferencích lidí a může pomoci k identifikaci problematických oblastí teplotního diskomfortu, či návrhům opatření, které by vedly ke zlepšení teplotního komfortu. Subjektivní vnímání teplotního komfortu bylo zjišťováno prostřednictvím dotazníkové šetření uskutečněného na Borských polích. Zvolena byla metoda osobního dotazování na vytyčených místech. Byla vybrána frekventovaná místa, dvě zastávky na základě největších obrátů z ročenky 2020 na území Borských polí. Dále byla vybrána dvě parkoviště u obchodních středisek Tesco a Makro (mapa 6).

Mapa 6: Místa dotazníkového šetření na území Borských polí na podkladové mapě povrchové teploty



Dotazníkové šetření probíhalo 13-14. srpna 2021. V těchto dnech maximální teplota přesahovala hranici 30°C. Vybrané ukazatele z dnů, kdy se konalo dotazníkové šetření jsou viditelné v tabulce 4 a denní chod teplot v příloze E. Dotazování probíhalo od 13:00

do 16:00, kdy teplota dosahovala nejvyšších hodnot. Maximální teplota naměřená v tyto dny činila 32,1°C.

Tabulka 4: Vybrané meteorologické ukazatele z dnů provádění dotazníkového šetření (13-14.8.2021)

Ukazatele	13.08.2021	14.08.2021
Průměrná teplota °C	23,8	24,5
Maximální teplota °C	32,1	32,1
Minimální teplota °C	15,0	17,7
Průměrná vlhkost %	67,6	65,7
Maximální vlhkost %	92,7	92,4
Minimální vlhkost %	41,4	30,7
Průměrná globální radiace [W/m²]	246,8	266,4
Maximální globální radiace [W/m²]	824,0	858,2

Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteorostanice ZČU

Dotazníkového šetření se celkově zúčastnilo 91 osob. Dotazovány byly pouze osoby, které byly vystaveny vnějšímu teplotnímu stresu po dobu delší než 5 minut. Sesbíráno bylo 23 dotazníků na zastávce Domažlická rondel, 22 dotazníků na parkovišti u Tesca, dále 25 dotazníků na zastávce u Panasonicu a 21 dotazníků na parkovišti u Makra (tabulka 5). Dotazník byl rozdělen na dvě základní části. První dvě otázky první části se zabývaly důvodem, proč se respondent nachází na sledovaném území. Záměrem těchto otázek bylo zjištění, zda respondenti navštěvují Borská pole pouze z důvodu dojezdu za službami nebo z pracovních důvodů a tedy na Borských polích tráví výrazně více času a strávený čas by pro ně mohl být nepříjemnější. Následné tři otázky spadající do první části obsahovaly tematiku teplotní komfortu. Nejzásadnější otázkou z pohledu návrhů opatření je otázka 6, která nabádá respondenty k návrhu opatření, aby se v dané lokalitě cítili komfortněji. Druhá část dotazníku zahrnovala sociodemografické otázky, jako je biologické pohlaví a věk. Celý dotazník je obsažený v příloze F.

Celkem se dotazníkové šetření zúčastnilo 59 % mužů a 41% o žen (tabulka 6). Průměrný věk dotazovaných byl 41 let. Věkový medián byl u žen 38 let a rozsah neodlehých hodnot

byl 21 – 57 let (graf 14). Věkový medián u mužů byl 41 let a neodlehle hodnoty byly v rozsahu 23 – 69 let.

Tabulka 5: Tabulka četností lokalit dotazníkového šetření 2021

Kategorie	Počet	Procenta
Domažlická rondel	23	25%
Tesco	22	24%
Panasonic	25	27%
Makro	21	23%

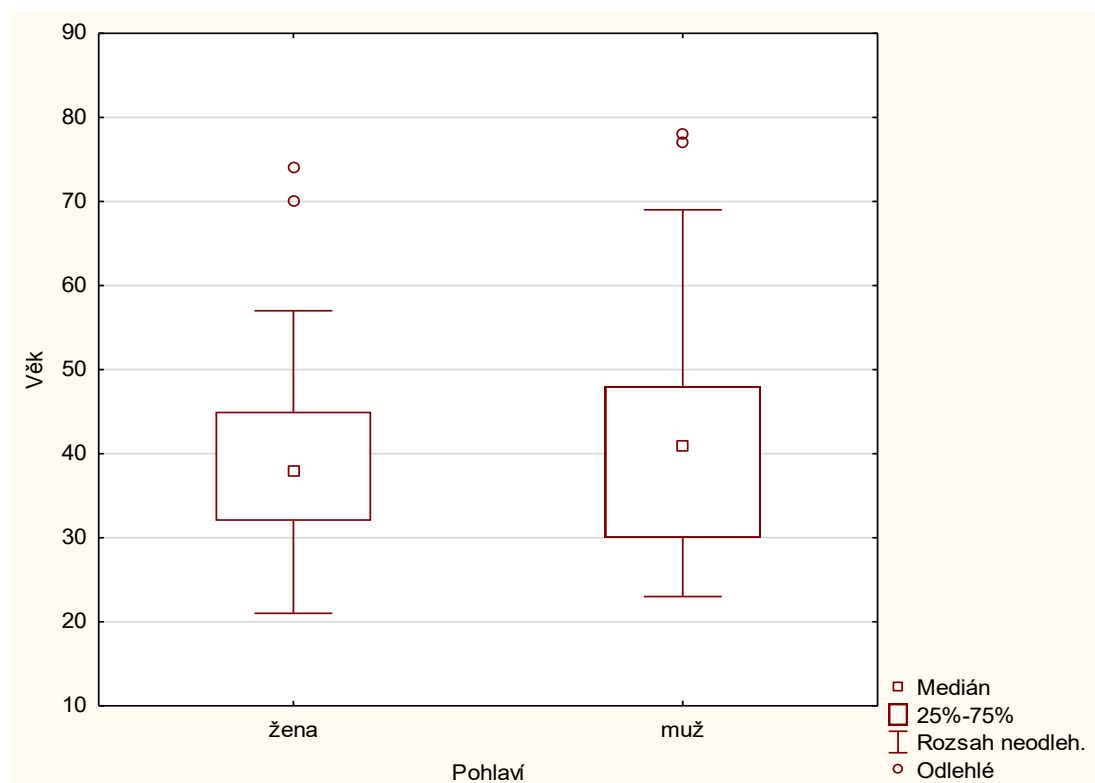
Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Tabulka 6: Tabulka četností pohlaví na místech dotazníkového šetření 2021

Kategorie	Počet	Procenta
žena	37	41%
muž	54	59%

Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

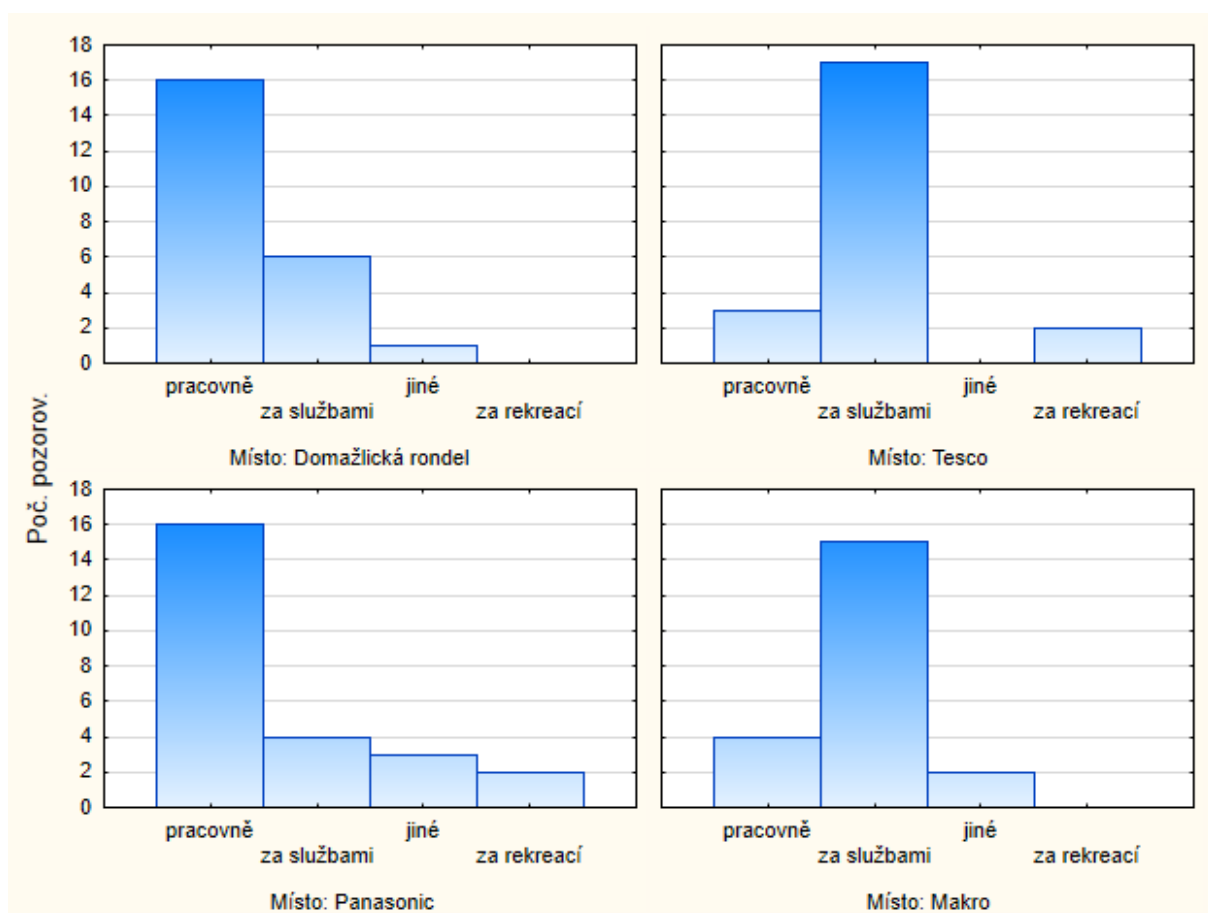
Graf 14: Krabicový graf věku respondentů dle pohlaví na místech dotazníkového šetření 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Dotazník obsahoval dvě otázky sledující, z jakého důvodu respondenti navštěvují Borská pole. První otázka sledovala, za jakým účelem se v daný moment respondenti nacházejí na Borských polí, výsledky jsou viditelné v kategorizovaném histogramu na grafu 15. Druhá otázka zjišťovala z jakého nejčastějšího důvodu respondenti, jiného než uvedli v předchozí otázce, Borská pole navštěvují. Výsledkem je, že respondenti zastižení na zastávkách Domažlická rondel a u Panasonicu navštívili Borská pole nejčastěji z důvodu pracovního. Druhou nejčastější odpovědí evidovanou na zastávkách byla dojíždka za službami. Zcela racionálně na parkovištích Tesco a Makro respondenti nejčastěji uvedli, že dojeli na území Borských polí za službami. Druhý nejčastější účel byl pracovní. Výsledky neodhalily nic nečekaného, přesto že na Borských polí se nachází hustá síť cyklostezek, bylo obtížné někoho oslovit. Na základě toho bylo zastiženo malé procento osob navštěvující Borská pole z důvodu rekreace. Doplnující otázka, z jakého dalšího nejčastějšího důvodu navštěvujete Borská pole, neukázala nic nepředpokládaného. Výsledky jsou obsažené v příloze G. Nejčastější důvodem návštěvy Borských polí, mimo odpovědi obsažené v první otázce, je dojíždka za službami a prací.

Graf 15: Histogram odpovědí na otázku: „Za jakým účelem se nacházíte na území Borských polí?“ Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Další série otázek sledovala subjektivní vnímání teploty. První otázka zkoumala, jak se obecně respondent cítí v daný moment, vzhledem k prostředí a teplotě. Výsledky jsou viditelné v tabulce 7. Zajímavostí je, že žádný respondent neodpověděl, že se cítí na daném místě komfortně. Nejčastěji se respondenti cítili spíše nekomfortně, poté spíše komfortně. Celkově 22 % respondentů se cítilo na místech dotazníkového šetření nekomfortně. Pokud se podíváme na výsledky kategorizované dle místa, kde byl dotazník uskutečněn, větší podíl respondentů se cítilo spíše nekomfortně na zastávkách Domažlická rondel a Panasonic (graf 16). Nejvíce pozitivní výsledky jsou viditelné na parkovišti u Makra, kde v poměru nejvíce respondentů uvedlo, že se cítí spíše komfortně. Tento výsledek může souviset s prostředím parkoviště, oproti parkovišti u Tesca je zde větší množství vysoké zeleně, jako jsou stromy. Negativní výsledky jsou viditelné u zastávky Panasonic, kde poměr respondentů, kteří uvedli, že se cítí spíše komfortně, je

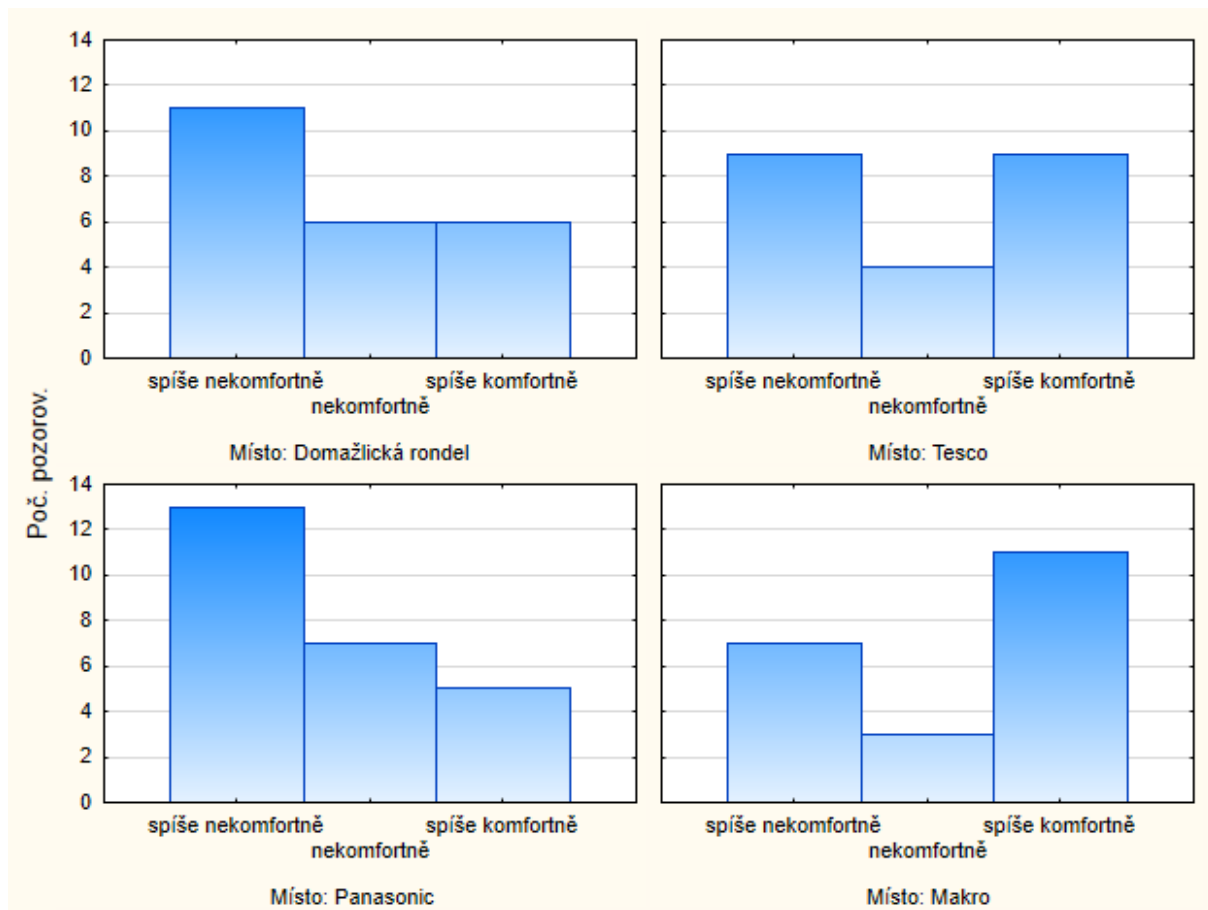
nejnižší. Zajímavý je výsledek z dotazování na parkovišti u Tesca, kde množství hlasů „spíše nekomfortně“ je stejný jako „spíše komfortně“.

Tabulka 7: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Jak se cítíte v tento moment vzhledem k okolní teplotě“ na místech dotazníkového šetření 2021

Kategorie	Počet	Procenta
spíše komfortně	31	34%
spíše nekomfortně	40	44%
nekomfortně	20	22%

Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Graf 16: Histogram odpovědí na otázku: „Jak se cítíte v tento moment vzhledem k prostředí a teplotě“, kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Druhá otázka, sledující subjektivní vnímání teplotního komfortu, obsahovala PMV index, popisovaný v teoretické části práce. Index zahrnuje sedmibodovou stupnici teplotního vnímání. Tako stupnice je hojně používaná při výzkumech vnímání teplotního komfortu.

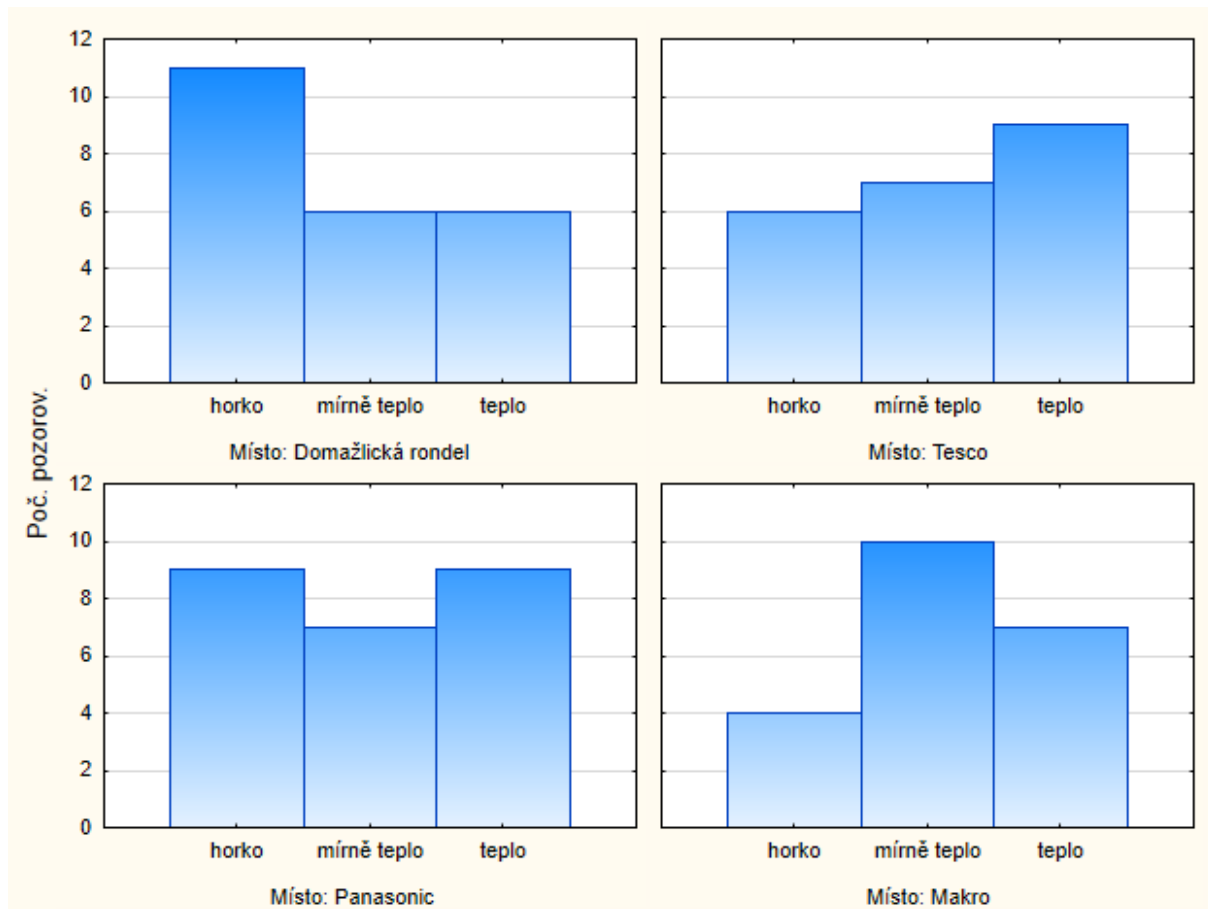
Kategorie neutrálně, mírně chladno, chladno a zima nebyly vůbec uvedeny, což není překvapivé vzhledem k faktu při jakých teplotách dotazníkové šetření probíhalo. Výsledky evidované na jednotlivých stanovištích jsou velmi vyrovnané (tabulka 8). Nejvíce respondentů uvedlo, že pociťují teplo, poté stejně respondentů horko a mírně teplo. Významné rozdíly v odpovědích jsou viditelné na jednotlivých místech, kde se dotazníkové šetření uskutečnilo (graf 17). Nejvíce pociťovali horko respondenti na zastávce Domažlická rondel 46 %, 26 % teplo a 26 % mírně teplo. U Makra je viditelné nejvyšší procento respondentů pociťujících mírně teplo (48 %).

Tabulka 8: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Je Vám?“, na místech dotazníkového šetření 2021

Kategorie	Počet	Procenta
horko	30	33%
teplo	31	34%
mírně teplo	30	33%

Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Graf 17: Histogram odpovědí na otázku: „Je Vám?“ kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

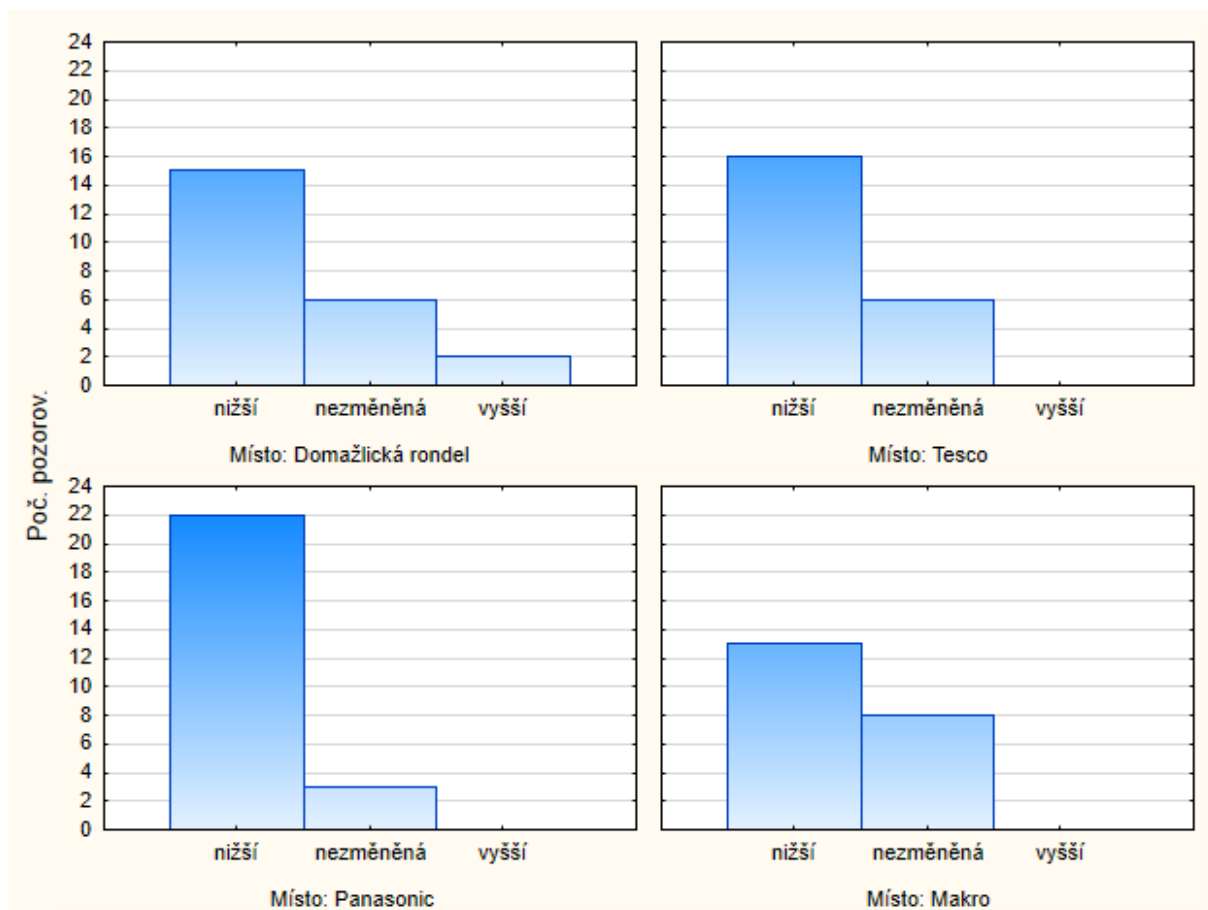
Poslední otázka ze skupiny sledující teplotní komfort zjišťuje, zda by respondenti preferovali v daný moment teplotu vyšší, nezměněnou nebo nižší. Výsledky, které jsou uvedené v tabulce 9, jednoznačně ukazují, že většina respondentů by preferovala teplotu nižší (73 %). Aby teplota zůstala nezměněná uvedlo 25 % respondentů a velmi nízké procento by preferovalo teplotu vyšší. Pokud se podíváme na detailnější výsledky (graf 18) na zastávce u Panasoniku 88 % respondentů by preferovalo teplotu nižší, zbytek nezměněnou. Na zastávce Domažlická rondel by nižší teplotu preferovalo 65 % respondentů, 26 % by teplotu neměnilo a 9 % by preferovalo teplotu vyšší. Také na parkovišti u Tesca by nižší teplotu preferovala většina (73 %), ostatní by teplotu neměnili. Na parkovišti u Makra byl podíl respondentů preferující nižší teplotu nejmenší (62 %), ostatní dotázaní by teplotu ponechali nezměněnou. Obecně dle těchto výsledků by nižší teplotu preferovali zejména na zastávce u Panasoniku a na parkovišti u nákupního centra Tesco.

Tabulka 9: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Preferovali byste, aby byla teplota“ na místech dotazníkového šetření 2021

Kategorie	Počet	Procenta
nižší	66	73%
nezměněná	23	25%
vyšší	2	2%

Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

Graf 18: Histogram odpovědí na otázku: „Preferovali byste, aby byla teplota“. Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

V otázce č. 8 měli respondenti možnost navrhnout opatření, aby se cítili na daném místě komfortněji. Přesto, že 25 respondentů uvedlo odpověď „nevím“, ostatní odpovědi byly pro práci velmi přínosné. Druhou nejčastější odpovědí bylo více vegetace, respondenti uvedli odpovědi jako: stromy, více stromů, více vegetace, vzrostlé stromy a podobné. Třetí nejčastější odpovědí bylo více stínu. Další odpovědi jsou uvedené na obrázku 8.

Obrázek 8: Nejčastější návrhy opatření proti teplotnímu diskomfortu na místech dotazníkového šetření 2021



Zdroj: vlastní zpracování z dat dotazníkového šetření

7 Zhodnocení výsledků a porovnání subjektivního vnímání a objektivních podmínek

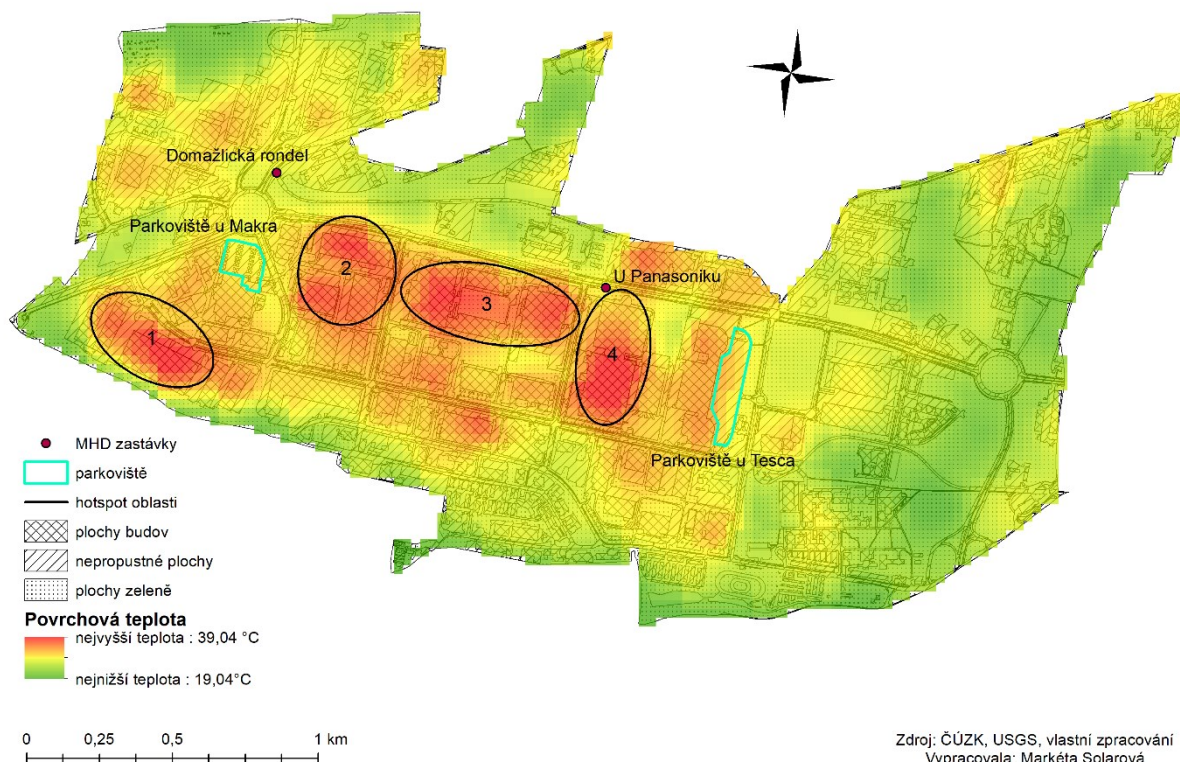
Území Borských polí se rozkládá na rovinaté oblasti s nízkou sklonitostí. Centrální oblast se skládá z větší části z nepropustných ploch a budov, které jsou charakterizované jako plochy průmyslových areálů. Tomu odpovídají i rozsáhlé budovy, sloužící k výrobě a skladování. Celkově nepropustné plochy a plochy budov tvoří 55,34 % rozlohy Borských polí. Ze 42 % se povrch skládá z vegetace, ta ale není rozmístěná rovnoměrně. Západní část území, na které se nachází i komplex Západočeské univerzity, je charakteristická větším podílem zeleně. Dle univerzální klasifikace LCZ, je většina povrchu Borských polí tvořena zónou LCZ8. Charakteristické jsou zde rozsáhlé nízkopodlažní budovy, tvořené převážně z betonu. Blízké okolí budov vyplňují nepropustné plochy, to vede k nižší evapotranspiraci, což má za následek sušší a teplejší mikroklima (Geletič & Lehnert, 2017).

Meteorologické prvky jsou na území měřeny meteostanicí ZČU. Průměrná teplota na území Borských polí za roky 2021 a 2022 činila 10,3 °C a maximální teplota vzduchu dosáhla 37,4 °C. Průměrná teplota vzduchu naměřená meteostanicí ZČU za období 2021-2022 byla o 0,53°C vyšší než hodnota naměřená meteostanicí Mikulka. Na základě mapování povrchové teploty bylo odhaleno, že nejvyšší průměrnou povrchovou teplotu na zájmovém území mají plochy budov a poté nepropustné plochy. Maximální teplota byla rovněž zaznamenána na povrchu budovy. Naopak plochy zeleně a propustné plochy vykazovaly nižší průměrnou hodnotu. Minimální teplota byla evidována na ploše zeleně 19 °C. Za účelem detailnějšího mapování bylo provedeno vlastní měření teploty nad odlišnými typy povrchů. Výsledky korespondují se závěry povrchového mapování teploty. Na asfaltové ploše, tedy na nepropustném povrchu, byla naměřena vyšší maximální teplota v porovnání s plochou zeleně.

Na základě mapy povrchové teploty je možná identifikace nejvíce přehřátých míst, kde na osoby působí vysoká povrchová teplota. Tento výsledek můžeme vidět na mapě 7. kde byly zjištěny čtyři hotspot oblasti. Jedná se o oblasti rozsáhlých budov a jejich okolí, které je z větší části tvořeno nepropustnými plochami. Právě toto území, přetvořené antropogenní činností, způsobuje efekt městského tepelného ostrova a vytváří hotspoty v městském prostředí. Tyto oblasti neobklopuje žádná rozsáhlá plocha zeleně. Hotspoty

mohou mít významný dopad na lidské zdraví, a to zejména u zranitelných skupin obyvatel jako jsou starší osoby nebo osoby se zdravotními problémy. Právě identifikace a zmírnění hotspotů je důležité pro tvorbu kvalitního a udržitelného prostředí (Aslam & Rana, 2022).

Mapa 7: Místa dotazníkového šetření a identifikované hotspoty na mapě povrchové teploty Borských polí



Na mapě 7 jsou viditelné také lokality, kde se uskutečnilo dotazníkové šetření. Necelá polovina respondentů, vzhledem k teplotě na místě dotazníkového šetření, se cítila spíše nekomfortně, druhá nejčastější odpověď byla spíše komfortně. Nejvyšší podíl respondentů se cítilo spíše nekomfortně na zastávce u Panasonicu. Pokud se podíváme na umístění zastávky na sledovaném území na mapě 7, zastávka u Panasonicu se nachází v těsné blízkosti hotspot oblasti 3 a 4. Na respondenty tedy působila vysoká povrchová teplota, která může zhoršovat teplotní komfort. Nejvyšší podíl osob cítících se spíše komfortně byl evidován na parkovišti u Makra. Jak můžeme vidět na fotografii v příloze I, parkoviště u Makra disponuje vzrostlými stromy, které poskytují stín. Stín je jeden z faktorů, jak vegetace pozitivně ovlivňuje teplotní komfort (Lai a kol., 2019). Na mapě 7 si můžeme všimnout, že přesto, že parkoviště u Makra je z větší části tvořeno nepropustnou plochou, povrch není tak přehřátý. Za chladicí efekt zde zřejmě může

vysoká vegetace s kompaktní korunou. Čím kompaktnější mají stromy svou korunu, tím vyšší mají schopnost filtrovat sluneční záření (Montague & Kjellgren, 2004).

Respondenti dále v dotazníku odpovídali na otázku „Je Vám?“ a měli na výběr ze sedmibodové stupnice. Žádný z respondentů si nevybral odpovědi neutrálně, mírně chladno, chladno a zima. Nejvíce respondentů zvolilo možnost teplo, poté stejné množství respondentů odpovědělo horko a mírně teplo. Na zastávce Domažlická rondel nejvyšší podíl respondentů uvedlo, že pociťují horko. Při pohledu na fotografii v příloze K se na této zastávce nachází pouze malý přístřešek. Možnost schovat se před přímým sluncem má pouze omezené množství osob. Zastávka má střechu tvořenou průsvitnými plastovými panely, z toho důvodu ani neposkytuje v létě potřebný stín.

Poslední otázka, sledující teplotní komfort, zjišťovala, jakou teplotu by respondenti preferovali. Na výběr měli možnosti: vyšší, nižší a nezměněnou. Nadpoloviční většina odpověděla, že by preferovala teplotu nižší, a to zejména na stanovišti u Panasonicu. Skupina otázek zabývajícím teplotním komfortem odhalila, že nejvyšší podíl „kladných“ odpovědí, konkrétně odpovědi spíše komfortně, mírně teplo a preference nezměněné teploty, byl zaznamenán na parkovišti u Makra. Na tomto stanovišti je vysoká zeleň, která obecně ovlivňuje teplotní komfort zejména tím, že poskytuje stín a snižuje teplotu vzduchu díky transpiraci. Právě v důsledku, že stromy poskytují stín, jsou při zlepšování teplotního prostředí obvykle účinnější než nízká vegetace (Lai a kol., 2019). Stromy byly také jednou z častých odpovědí na otázku „zkuste navrhnout opatření, díky kterému/kterým se budete na tomto místě cítit lépe“, spolu s více zeleně, větším stínem a přístřeškem poskytující stín.

Souhrnně se na místech dotazníkového šetření respondenti cítili spíše nekomfortně. Osoby zastižené na zastávkách MHD navštěvují zájmové území nejčastěji z pracovních důvodů, tedy navštěvují Borská pole opakovaně. Obě dvě zastávky neposkytují dostatek stínu, jelikož jsou tvořené plastovými panely, které propouští sluneční záření (příloha K a L). Osoby nemají možnost se v horkých dnech schovat před sluncem. Okolí zastávek je z větší části tvořené nepropustnými plochami, na osoby tedy působí ještě vysoká povrchová teplota. Parkoviště, oproti podobným výsledkům na zastávkách, vykazují odlišné závěry. Pozitivnější hodnocení je znatelné u parkoviště Makro zapříčiněním je nejpravděpodobněji fyzická charakteristika oblasti. Přesto, že se na parkovišti Tesco vyskytují stromy, většina z nich je menšího vzrůstu, má malou kompaktnost koruny a

nachází se daleko od sebe. Reálně na teplotní komfort tedy nemusí mít velký vliv (příloha J).

Jednoznačně je znatelný na území Borských polí vliv nepropustných ploch a ploch zeleně na teplotu povrchu. Na základě dálkového průzkumu Země byly identifikovány hotspot oblasti a jedná se o místa hojně navštěvovaná z důvodu dojížděky do práce nebo za službami, proto je zde velké potenciální riziko dopadu na lidské zdraví a obecně na teplotní komfort. Z tohoto důvodu je prioritou začlenění udržitelného městského plánování, jako jsou zelené střechy, zelené stěny a shluky stromů, aby se podařilo snížit efekt městských tepelných ostrovů a zmírnit dopad hotspot oblastí.

8 Diskuze

Výsledky studie prokázaly významné rozdíly povrchové teploty na území Borských polí. V oblastech velkých průmyslových areálů je viditelný efekt přehřívání nepropustných povrchů. Jelikož se jedná o výzkum relativně malé oblasti, byla zde možnost identifikace hotspotů. Ohnisko těchto hotspotů je patrné na rozsáhlých plochách budov, které také na sledovaném území dosahovaly nejvyšší průměrné povrchové teploty. Autoři Morabito a kol. (2021) došli k výsledkům, že nárůst nepropustných povrchů, spolu se sníženým podílem vysoké vegetace, představuje hlavní hnací motor k vyšším povrchovým teplotám ve většině studovaných italských metropolitních měst. V této práci je vyšší povrchová teplota sledovaná zejména na plochách budov a nepropustných plochách. Obecně jsou vegetace a nepropustné povrchy dominantním prediktorem povrchové teploty ve městech (Zhou a kol., 2014). Například autoři (Yuan & Bauer, 2007) tvrdí, že procento nepropustných ploch na celkové rozloze oblasti je lepším prediktorem než plochy zeleně. Na základě klasifikace LCZ jsou z větší části Borská pole oblastí s nízkou zástavbou s rozlehlými objekty, označenou na LCZ8. Jedná se o otevřené uspořádání rozlehlých nízkopodlažních budov, charakteristické pro toto území jsou velké průmyslové závody. Některé studie došly k závěrům, že tepelná nepohoda byla častěji vnímaná v relativně otevřených městských prostorech s žádným či nízkým podílem zeleně (Klemm a kol., 2015).

Pro deskripci teplotního komfortu je zásadní komplexní analyzování objektivních podmínek prostoru spolu se subjektivním vnímáním osob. Mnoho autorů se shodlo, že samostatné fyzické mapování teplotních poměrů, jako je například dálkový průzkum Země, nedokáže efektivně navrhnout opatření na zlepšení teplotního komfortu ve městech (Lehnert a kol., 2021). Z tohoto důvodu je také potřeba zkoumat subjektivní vnímání, spolu s objektivními podmínkami. Na sledovaném území bylo provedeno dotazníkové šetření metodou osobního dotazování tak, aby výsledky reflektovaly aktuální pocity respondentů za horkého dne. Dotazníkové šetření se konalo na frekventovaných uzlech z pohledu potřeb (nákup, služby) a dojížděky do zaměstnání. Souhrnně výsledky ukázaly, že 44 % respondentů se cítilo na místech spíše nekomfortně, 34 % pociťovalo teplo a 73 % respondentů by preferovalo nižší teplotu. Významné rozdíly byly znatelné mezi jednotlivými lokalitami, kde se šetření konalo. Například nejvyšší procento respondentů, kteří se cítili spíše komfortně bylo pozorováno na parkovišti Makro,

přičemž dle terénního šetření se na ploše parkoviště vyskytuje větší množství vysoké zeleně než v ostatních lokalitách. Naopak nejhorší výsledky vykazovaly MHD zastávky. Při porovnání míst, kde se dotazníkové šetření uskutečnilo s mapou povrchové teploty, nejvyšší povrchová teplota působila na respondenty na zastávce MHD u Panasonicu. Tento závěr se shoduje i se subjektivním vnímáním respondentů. Autoři Lehnert a kol. (2021), kteří provedli mimo jiné mentální mapování v Plzni, identifikovali Borská pole jako mentální hotspot. Důvodem byl právě vysoký počet zastávek MHD.

Přidanou hodnotou dotazníkového šetření je využití informací od respondentů k úpravám prostředí pro zlepšení teplotního komfortu (Chen & Ng, 2012). V dotazníkovém šetření na zájmovém území mohli respondenti navrhnout opatření, aby se cítili teplotně komfortněji. Nejčastěji, po odpovědi nevim, respondenti zmiňovali větší množství vegetace, zejména stromů. To koresponduje s výzkumem, který byl prováděn na území města Plzně a Olomouce autory Lehnert a kol. (2023). Na základě výzkumu autorů Jamei a kol. (2016) stromy dle PET hodnot měřitelně zlepšují teplotní komfort, je tedy výsledek dotazníkového šetření zcela racionální. Stromy ovlivňují teplotní komfort dvěma základními způsoby, stíněním a transpirací (Lai a kol., 2019). Častou odpovědí respondentů bylo větší množství stínu, nebo prostředek k zajištění stínu, konkrétně přístřešek. Právě sluneční záření je jeden z přímých faktorů ovlivňující teplotní komfort. Sluneční záření za horkého dne může působit specifické teplotní nepohodlí (Givoni, a kol., 2003). Překvapivě často se v odpovědích objevovalo opatření ve formě vodní mlhy, které se v České republice moc často nevyskytuje (Lehnert, a kol., 2023). Mlžná zařízení přeměňují natlakovanou vodu v mlhu tvořenou vodními kapkami, ty se odpařují a způsobují nižší teplotu vzduchu nebo dopadají na lidskou pokožku a působí ochlazujícím pocitem (Vanos a kol., 2020).

Závěr

Předkládaná diplomová práce představuje výsledky dotazníkového šetření na sledovaném území. Na území Borských polí, jakožto identifikovaném mentálním hotspotu autory Lehnert a kol. (2021), bylo detailněji zkoumáno subjektivní vnímání teplotního komfortu na frekventovaných místech z pohledu potřeb (nákup, služby) a dojížděky do zaměstnání. Návštěvníci navrhovali opatření, která by podle nich mohla zvýšit teplotní komfort na místech dotazníkového šetření. Preferovanými opatřeními jsou zejména stromy a větší množství stínu.

Prostřednictvím povrchového teplotního mapování byly identifikovány hotspot oblasti s vyšší povrchovou teplotou. Jedná o frekventovaná místa, sklady a areály velkých firem, tvořené rozsáhlými plochami budov a nepropustnými plochami. Právě tyto povrchy bývají často hnacím motorem UHI. Budovy jsou mnohdy klimatizované, což způsobuje další přehřívání okolí. Problematické jsou vysoké teplotní rozdíly mezi vnitřní a venkovní teplotou, při velkém rozdílu teplot se zvyšuje riziko teplotního šoku (Ježek, 2019). Podstatný je návrh opatření proti městským tepelným ostrovům a rizikům, které přinášejí. Vhodným opatřením pro identifikované hotspot lokality by byly například zelené střechy a stěny. Zelené střechy mají dvojnásobný pozitivní účinek. Zaprvé snižují povrchovou teplotu a zároveň vedou k výraznému snížení přehřívání budov (Jamei a kol., 2021). To by mohlo napomoci k snížení potřeby klimatizace a také k úspoře energie. Další možností je využití reflexního povrchu, který absorbuje méně slunečního záření. Má tak nižší povrchovou teplotu než tradiční městské plochy. Tento povrch by mohl být aplikován především na střechách. Při užití reflexního povrchu střechy se budova méně zahřívá, snižuje se potřeba klimatizování. Nad rámec zmíněných přínosů reflexní střechy také snižují spotřebu energie (Ban-Weiss & Berardi, 2017).

Na základě dotazníkového šetření bylo zjištěno, že respondenti se na parkovišti u Makra cítili komfortněji, než osoby zastížené na parkovišti u Tesca. Diskutované byly možné vlivy vyšší vegetace, která je přítomná na parkovišti u Makra. Z toho důvodu bych doporučovala na parkovišti u Tesca větší podíl stromů s kompaktní korunou poskytující více stínu. Možností je dále využití „chytrého stromu“, což je v podstatě ocelová konstrukce ve tvaru stromu porostlá popínavými rostlinami. Jeho výhodou je, že popínavé rostliny vyžadují menší zemní lože a kořenový systém neohrožuje inženýrské sítě. Je možná kombinace s dalšími druhy opatření jako jsou mlžná zařízení (ASIO, 2023).

Konkrétní návrhy opatření týkající se teplotního komfortu vyžadují důkladnou přípravu a přesné informace o určitém území. Tato diplomová práce slouží k identifikaci oblastí inkriminovaných vysokou teplotní zátěží na které by bylo vhodné se v rámci boje s fenoménem UHI zaměřit.

Seznam použitých zdrojů

- Asio. (2023). *Chytrý strom AS-POUSTR – popínavý uliční strom*. ASIO. Dostupné 15.03.2023 z <https://www.asio.cz/cz/p/96.chytry-strom-as-poustr-popinavy-ulicni-strom>
- Aslam, A., & Rana, I. A. (2022). The use of local climate zones in the urban environment: A systematic review of data sources, methods, and themes. *Urban Climate*, 42, 101120. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101120>
- Ban-Weiss, G., & Berardi, U. (2017). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24, 449–459. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.007>
- Bechtel, B., Alexander, P., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J. J., Mills, G., See, L., & Stewart, I. W. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 4(1), 199–219. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010199>
- Bennie, J., Huntley, B., Wiltshire, A., Hill, M. D., & Baxter, R. C. (2008). Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling*, 216(1), 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.04.010>
- Bianco, L., Serra, V., Larcher, F., & Perino, M. (2017). Thermal behaviour assessment of a novel vertical greenery module system: first results of a long-term monitoring campaign in an outdoor test cell. *Energy Efficiency*, 10(3), 625–638. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9473-4>
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., & Kunert, A. T. (2010). Principles of the New Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its Application to Bioclimatic Research in European Scale. *Miscellanea Geographica*, 14(1), 91–102. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2010-0009>
- Broadbent, A. M., Coutts, A. M., Tapper, N. J., Demuzere, M., & Beringer, J. (2018). The microscale cooling effects of water sensitive urban design and irrigation in a suburban environment. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2241-3>

- Brown, R. S., Vanos, J. K., Kenny, N., & Lenzholzer, S. (2015). Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape and Urban Planning*, *138*, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- Clinton, N., & Gong, P. (2013). MODIS detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. *Remote Sensing of Environment*, *134*, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.008>
- Coccolo, S., Kämpf, J. H., Scartezzini, J., & Pearlmutter, D. (2016). Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Urban Climate*, *18*, 33–57. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.004>
- Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, *37*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.001>
- Cool Pavements, HEATISLAND*. (nedatováno). Dostupné 20.02.2022 z <https://heatiland.lbl.gov/coolscience/cool-pavements>
- ČÚZK - Mapové služby. (2023). Dostupné 30.04.2022 z <https://services.cuzk.cz/>
- Digitální Plzeň (2020, April 20). *Sumáře z GIS databáze - Mapový portál města Plzně*. Mapový Portál Města Plzně. <https://mapy.plzen.eu/mapy-a-aplikace/sumare-z-gis-databaze/>
- Dr. Jayanta Das. (2022, April 27). *How to calculate Land Surface Temperature from Landsat 9 using ArcGIS II Heatmap II Dr. Jayanta Das* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=4DztLcjRoyc>
- EarthExplorer* (nedatováno). *USGS*. Dostupné (25.03.2023. z <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Eklund, P. (2022). Climate indicator – Global radiation. *SMHI*. <https://www.smhi.se/en/climate/climate-indicators/climate-indicators-global-radiation-1.91484>
- Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*, *44*(3), 388–398. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.388>
- Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*.

Geletič, J., & Lehnert, M. (2017). Místní klimatické zóny a jejich význam ve městech České republiky. *ResearchGate*.

Geletič, J., Lehnert, M. D., & Dobrovolný, P. (2016). Modelled spatio-temporal variability of air temperature in an urban climate and its validation: a case study of Brno, Czech Republic. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65(2), 169–180. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.65.2.7>

Geletič, J., Lehnert, M., Resler, J., & Krč, P. (2020). Teplota ve městě: přehled používaných termínů a jejich rozdíly. *Urbanismus a územní rozvoj*, 23(4), 17-21.

GEOREAL spol. s r.o. (2022). *Digitální technická mapa Plzeňského kraje*. Dostupné (12.3.2022) z <https://mapy.plzensky-kraj.cz/gis/dtm/>

Givoni, B., Noguchi, M., Saaroni, H., Pochter, O., Yaacov, Y., Feller, N., & Becker, S. (2003). Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, 35(1), 77–86. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00082-8](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00082-8)

Gómez, F., Cueva, A. J. P., Valcuende, M., & Matzarakis, A. (2013). Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering*, 57, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.034>

Google earth (2023). *Borská pole*. Dostupné 20.03.2023 z <https://earth.google.com/web>

Google Maps. (2023). *Borská pole*. Dostupné 30.04.2022 z: <https://www.google.com/maps/search/bory/@49.730129,13.3372251,17z>

Hondula, D. M., Balling, R. C., Vanos, J. K., & Georgescu, M. (2015). Rising Temperatures, Human Health, and the Role of Adaptation. *Current Climate Change Reports*, 1(3), 144–154. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0016-4>

Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>

Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(6), 661–665. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00017-8)
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)

https://www.researchgate.net/publication/317267211_Mistni_klimaticke_zony_a_jejich_vyznam_ve_mestech_Ceske_republiky

Hu, J., Yang, Y., Pan, X., Zhu, Q., Zhan, W., Wang, Y., Ma, W., & Su, W. (2019). Analysis of the Spatial and Temporal Variations of Land Surface Temperature Based on Local Climate Zones: A Case Study in Nanjing, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(11), 4213–4223. <https://doi.org/10.1109/jstars.2019.2926502>

Huang, W., Kan, H., & Kovats, S. (2010). The impact of the 2003 heat wave on mortality in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 408(11), 2418–2420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.009>

Hunter, A. M., Williams, N. S., Rayner, J., Aye, L., Hes, D., & Livesley, S. J. (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, 63, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>

Charalampopoulos, I., Tsiros, I. X., Chronopoulou-Sereli, A., & Matzarakis, A. (2013). Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems*, 16(2), 217–233. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0252-5>

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2015). Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. *Energy and Buildings*, 108, 156–174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.048>

Chen, L., & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.08.006>

Industriální zóna Borská pole. (nedatováno). Dostupné 02.03.2023 z <https://warehouseportal.cz/cs/projekty-detail/industrialni-zona-borska-pole>

Jamei, E., Chau, H., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of the Total Environment*, 791, 148407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148407>

Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002–1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>

- Jamei, Y., Rajagopalan, P., & Sun, Q. (2019). Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia. *Science of the Total Environment*, 659, 1335–1351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.308>
- Ježek, M. (2019). *Klimatizace: pozor na teplotní šok a infekce*. Lidovky.cz. Dostupné 03.02.2023 z https://www.lidovky.cz/relax/zdravi/klimatizace-pozor-na-teplotni-sok-a-infekce.A190710_103533_in-zdravi_ape
- Kaše, J. (2017). V Plzni byly zahájeny noční prohlídky z výšky šedesáti metrů. *Novinky*. Dostupné 10.02.2023 z <https://www.novinky.cz/clanek/vase-zpravy-v-plzni-byly-zahajeny-nocni-prohlidky-z-vysky-sedesati-metru-40184005>
- Kim, W., & Brown, R. S. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of the Total Environment*, 779, 146389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., Jacobs, M. a. J. M., & Van Hove, B. (2015). Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>
- Kopp, J., & Vacík, P. (2012). Porovnání školních meteorologických stanic Vantage Pro2tm a meteorologických stanic sítě ČHMÚ na základě měření na území města Plzně v letech 2009-2010. *Arnica: Časopis Pro Rozvoj Přírodovědného Vzdělávání*, 1–2, 19–29. <http://hdl.handle.net/11025/16786>
- Králová, I. (2019). *Borská pole Plzeň, územně plánovací příprava a výstavba od roku 1989*. Stavebnictví(12). Dostupné 05.03.2022 z <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-borska-pole-plzen-uzemne-planovaci-priprava-a-vystavba-od-roku-1989.html>
- Lai, A., Maing, M., & Ng, E. (2017). Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment. *Building and Environment*, 114, 397–409. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.034>

- Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *Science of the Total Environment*, 742, 140092. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140092>
- Lai, D., Liu, W., Tingting, G., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Lehnert, M. D., Geletič, J., Kopp, J., Brabec, M., Jurek, M., & Pánek, J. (2021). Comparison between mental mapping and land surface temperature in two Czech cities: A new perspective on indication of locations prone to heat stress. *Building and Environment*, 203, 108090. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108090>
- Lehnert, M., Pánek, J., Kopp, J., Geletič, J., Květoňová, V., & Jurek, M. (2023). Thermal comfort in urban areas on hot summer days and its improvement through participatory mapping: A case study of two Central European cities. *Landscape and Urban Planning*, 233, 104713. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104713>
- Lemoine-Rodríguez, R., Qureshi, S., & Zepp, H. (2022). Does urban climate follow urban form? Analysing intraurban LST trajectories versus urban form trends in 3 cities with different background climates. *Science of the Total Environment*, 830, 154570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154570>
- Li, H., Harvey, J. T., & Kendall, A. (2013). Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. *Building and Environment*, 59, 536–546. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.014>
- Lin, T., Matzarakis, A., & Hwang, R. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45(1), 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.002>
- Lin, T., Matzarakis, A., & Hwang, R. (2010b). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45(1), 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.002>
- Lin, Z., & Deng, S. (2008). A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Developing a thermal comfort model for sleeping environments. *Building and Environment*, 43(1), 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.026>

- Manavvi, S., & Rajasekar, E. (2021). Evaluating outdoor thermal comfort in urban open spaces in a humid subtropical climate: Chandigarh, India. *Building and Environment*, 209, 108659. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108659>
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. A. (2020). Urban Climates and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 411–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623>
- Matzarakis, A., & Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO newsletter(18), 7-10. Dostupné 15.03.2023 z https://www.researchgate.net/publication/233759000_Another_kind_of_environmental_stress_Thermal_stress
- Mayer, E. A. (1993). Objective criteria for thermal comfort. *Building and Environment*, 28(4), 399–403. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(93\)90016-v](https://doi.org/10.1016/0360-1323(93)90016-v)
- Middel, A., Hüb, K., Brazel, A. J., Martin, C., & Guhathakurta, S. (2014b). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, 122, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>
- Ministerstvo životního prostředí. (2015). *Strategie přizpůsobení se změně klimatu*. Dostupné 05.03.2022 z
- Montague, T., & Kjølsgren, R. (2004). Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized tree species. *Scientia Horticulturae*, 100(1–4), 229–249. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.08.010>
- Morabito, M., Crisci, A., Guerri, G., Messeri, A., Congedo, L., & Munafò, M. (2021). Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. *Science of the Total Environment*, 751, 142334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142334>
- Naim, M. N. H., & Kafy, A. A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, 4, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107>

Nikolopoulou, M. (2011). Urban Open Spaces and Adaptation to Climate Change. *John Wiley & Sons, Ltd eBooks*, 106–122. <https://doi.org/10.1002/9781444345025.ch9>

Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates* (2. vyd.). Londýn: Routledge. Dostupné 20.02.2022 z

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Boundary%20Layer%20Climates&publication_year=1978&author=T.R.%20Oke#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AaVyZStaQYMkJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Dcs

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press.

Olesen, B. W., & Brager, G. (2004b). A Better Way to Predict Comfort: The New ASHRAE Standard 55-2004. *Center for the Built Environment*. http://arquitectologia.org/ASHRAE_Standard_55-2004.pdf

Osborne, P. E., & Alvares-Sanches, T. (2019). Quantifying how landscape composition and configuration affect urban land surface temperatures using machine learning and neutral landscapes. *Computers, Environment and Urban Systems*, 76, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.04.003>

Pandey, P., Kumar, D., Prakash, A., Masih, J., Singh, M. K., Kumar, S., Jain, V., & Kumar, K. (2012). A study of urban heat island and its association with particulate matter during winter months over Delhi. *Science of the Total Environment*, 414, 494–507. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.043>

Pielke, R. A., & Seastedt, T. R. (2013). *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*. Academic Press is. https://books.google.cz/books?hl=en&lr=&id=U7u5X-t10X0C&oi=fnd&pg=PT51&ots=zR670bbjp4&sig=k_5H2ofANg7srtzFr-K9UVgZLT4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Plánka, L. (nedatováno). *Dálkový průzkum Země*. Ostrava: Hornicko-geologická fakulta, VŠB – TU Ostrava. Dostupné 02.02.2023 z https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/planka/dpz/DPZ_01_UVOD_STUDENTI.pdf

Pocasi meteo aktuality. (2022). Charakteristický den v klimatologii. *METEO AKTUALITY*. Dostupné 05.03.2023 z

<https://www.pocasimeteoaktuality.cz/charakteristicky-den-v-klimatologii/2/>

Porada, B. (2017). London's Largest "Living Wall" / Gary Grant. *ArchDaily*.
<https://www.archdaily.com/423990/largest-living-wall-unveiled-in-london>

Portál ČHMÚ (2023). Český Hydrometeorologický Ústav. Dostupné 06.02.2023 z
<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

Potchter, O., Cohen, P., Lin, T., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631–632, 390–406.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>

Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 52, 445–459.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.177>

Qu, S., Wang, L., Lin, A., Yu, D., Yuan, M., & Li, C. (2020). Distinguishing the impacts of climate change and anthropogenic factors on vegetation dynamics in the Yangtze River Basin, China. *Ecological Indicators*, 108, 105724.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105724>

Quitt E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. – *Studia Geographica* 16: 1–74 + přílohy, Brno

Reducing heat with water. (nedatováno). Urbangreenbluegrids. Dostupné 30.02.2023 z
<https://www.urbangreenbluegrids.com/heat/reducing-heat-with-water/>

Ruefenacht, L. A., & Acero, J. L. (2017). Strategies for Cooling Singapore: A catalogue of 80+ measures to mitigate urban heat island and improve outdoor thermal comfort. *Cooling Singapore*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000258216>

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), 16083–16088.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

- Shah, R., Pandit, R. K., & Gaur, M. S. (2022). Urban physics and outdoor thermal comfort for sustainable street canyons using ANN models for composite climate. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10871–10896. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.04.024>
- Shooshtarian, S., Rajagopalan, P., & Sagoo, A. (2018). A comprehensive review of thermal adaptive strategies in outdoor spaces. *Sustainable Cities and Society*, 41, 647–665. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.005>
- Stewart, I. W., Oke, T. R., & Krayenhoff, E. S. (2014). Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1062–1080. <https://doi.org/10.1002/joc.3746>
- Středová, H., Středa, T., & Litschmann, T. (2015). Smart tools of urban climate evaluation for smart spatial planning. *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 47–57. <https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0017>
- Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L., & Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 159, 112100. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112100>
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011–2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>
- Tam, B. Y., Gough, W. A., & Mohsin, T. (2015). The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation. *Urban Climate*, 12, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.12.004>
- Theeuwes, N., Barlow, J. F., Teuling, A. J., Grimmond, C. S. B., & Kotthaus, S. (2019). Persistent cloud cover over mega-cities linked to surface heat release. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0072-x>
- TUTA Plzeň (2023). *Opendata*. Dostupné (20.02.2022) z <https://opendata.plzen.eu/>
- Učební materiály z geoinformatiky. (2023). *Odvození teploty povrchu z dat Landsat*. Dostupné 06.02.2023 z http://geoscience.vsb.cz/dalkovy-pruzkum-zeme/06-odvozeni_teploty/

- USGS. (2023). *Landsat 9*. Dostupné 04.02.2023 z <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>
- Vanos, J. K., Wright, M. C., Kaiser, A., Middel, A., Ambrose, H. W., & Hondula, D. M. (2020). Evaporative misters for urban cooling and comfort: effectiveness and motivations for use. *International Journal of Biometeorology*, 66(2), 357–369. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02056-y>
- Vavrečková, K., Šigutová, L., Schreiberová, L., & Danihelka, P. (2019). *Indexy hodnocení tepelného komfortu ve spojitosti s pracovními předpisy. Extrémny počasí, jejich dopady a bezpečnostní rizika*. Dostupné (06.02.2023) z <http://www.cbks.cz/SbornikBroumov2019/Vavreckova.pdf>
- Wai, K., Xiao, L., & Tan, T. (2021). Improvement of the Outdoor Thermal Comfort by Water Spraying in a High-Density Urban Environment under the Influence of a Future (2050) Climate. *Sustainability*, 13(14), 7811. <https://doi.org/10.3390/su13147811>
- Wang, C., Wang, Z., Kaloush, K. E., & Shacat, J. (2021). Cool pavements for urban heat island mitigation: A synthetic review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 146, 111171. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111171>
- Wikipedia. (2022). Boxplot. *cs.wikipedia.org*. Dostupné 15.01.2023 z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Boxplot>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podíl jednotlivých ploch na rozloze Borských polí.....	39
Tabulka 2: Roční průměrná teplota Plzně naměřená meteorologickou stanicí Mikulka 2005-2022	51
Tabulka 3: Teplotní charakteristiky jednotlivých druhů povrchu.....	55
Tabulka 4: Vybrané meteorologické ukazatele z dnů provádění dotazníkového šetření (13-14.8.2021).....	61
Tabulka 5: Tabulka četností lokalit dotazníkového šetření 2021	62
Tabulka 6: Tabulka četností pohlaví na místech dotazníkového šetření 2021	62
Tabulka 7: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Jak se cítíte v tento moment vzhledem k okolní teplotě“ na místech dotazníkového šetření 2021	65
Tabulka 8: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Je Vám?“, na místech dotazníkového šetření 2021	66
Tabulka 9: Tabulka četností odpovědí na otázku: „Preferovali byste, aby byla teplota“ na místech dotazníkového šetření 2021	68

Seznam obrázků

Obrázek 1: Přímé a nepřímé vlivy působící na venkovní teplotní komfort.....	11
Obrázek 2: Příklad rozsahů hodnot PET	14
Obrázek 3: Sedmibodová stupnice PMV.....	14
Obrázek 4: Vybrané místní klimatické zóny v Plzni.....	20
Obrázek 5: Vybrané adaptační strategie na zlepšení teplotního komfortu.....	22
Obrázek 6: Největší londýnská „living wall“	28
Obrázek 7: Vztah mezi teplotním komfortem a městským prostředím.....	30
Obrázek 8: Nejčastější návrhy opatření proti teplotnímu diskomfortu na místech dotazníkového šetření 2021	69

Seznam grafů

Graf 1: Měsíční hodnoty vybraných teplotních ukazatelů za roky 2021 a 2022 na území Borských polí.....	43
Graf 2: Krabicový graf průměrných denních hodnot teploty vzduchu za roky 2021 a 2022 na územích Borských polí	44
Graf 3: Počet letních a tropických dní v roce 2021 a 2022 na území Borských polí.....	45
Graf 4: Měsíční hodnoty vlhkosti vzduchu v roce 2021 a 2022 na území Borských polí	46
Graf 5: Krabicový graf průměrných denních hodnot vlhkosti vzduchu za roky 2021 a 2022 na území Borských polí	47
Graf 6: Měsíční hodnoty globální radiace v roce 2021 a 2022 na území Borských polí	48
Graf 7: Krabicový graf průměrných denních hodnot globální radiace za roky 2021 a 2022 na území Borských polí.....	49
Graf 8 a Graf 9: Klimadiagramy na základě dat meteostanice ZČU 2021 a 2022	50
Graf 10: Průměrná měsíční teplota vzduchu za období 2005-2022 v Plzni.....	52
Graf 11: Průměrná teplota vzduchu a očekávané hodnoty za období 2005-2022 a predikce na rok 2023 v Plzni.....	52
Graf 12: Počet letních dní a tropických dní za období 2005-2022 v Plzni.....	53
Graf 13: Experimentální měření teploty vzduchu nad odlišných typech povrchu ve dnech 23.7.2021 a 24.7.2021	59
Graf 14: Krabicový graf věku respondentů dle pohlaví na místech dotazníkového šetření 2021	62
Graf 15: Histogram odpovědí na otázku: „Za jakým účelem se nacházíte na území Borských polí?“ Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021.....	64
Graf 16: Histogram odpovědí na otázku: „Jak se cítíte v tento moment vzhledem k prostředí a teplotě“, kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021	65
Graf 17: Histogram odpovědí na otázku: „Je Vám?“ kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021.....	67

Graf 18: Histogram odpovědí na otázku: „Preferovali byste, aby byla teplota“.
Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 202168

Seznam map

Mapa 1: Lokalizace Borských polí na území města Plzně	35
Mapa 2: Vymezení území Borských polí	36
Mapa 3: Územní plán města Plzně na území Borských polí	37
Mapa 4: Klasifikace typu povrchů na území Borských polí.....	40
Mapa 5: Identifikované hotspot oblasti na mapě teploty povrchu na území Borských polí 17.06.2022, podkladová mapa klasifikace typů povrchů	57
Mapa 6: Místa dotazníkového šetření na území Borských polí na podkladové mapě povrchové teploty.....	60
Mapa 7: Místa dotazníkového šetření a identifikované hotspoty na mapě povrchové teploty Borských polí	71

Seznam příloh

Příloha A: Stínovaný reliéf na území Borských polí.....	95
Příloha B: Sklonitost reliéfu na území Borských polí.....	95
Příloha C: Orientace svahů na území Borských polí.....	96
Příloha D: Místa prováděného experimentálního měření ve dnech 23.7.2021 a 24.7.2021	96
Příloha E: Denní vývoj teplot ve dnech prováděného dotazníkového šetření (13- 14.8.2021).....	97
Příloha F: Dotazník uskutečněný na území Borských polí.....	98
Příloha G: Histogram odpovědí na otázku: „Z jakých důvodů (odlišných od odpovědi na otázku č. 1) nejčastěji navštěvujete Borská pole?“ Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021	99
Příloha H: Umístění meteostanice ZČU na území Borských polí	100
Příloha I: Místo prováděného dotazníkového šetření – parkoviště u Makra	100
Příloha J: Místo prováděného dotazníkového šetření – parkoviště u Tesca.....	101
Příloha K: Místo prováděného dotazníkového šetření – zastávka MHD Domažlická rondel.....	101
Příloha L: Místo prováděného dotazníkového šetření – zastávka MHD Domažlická rondel	102

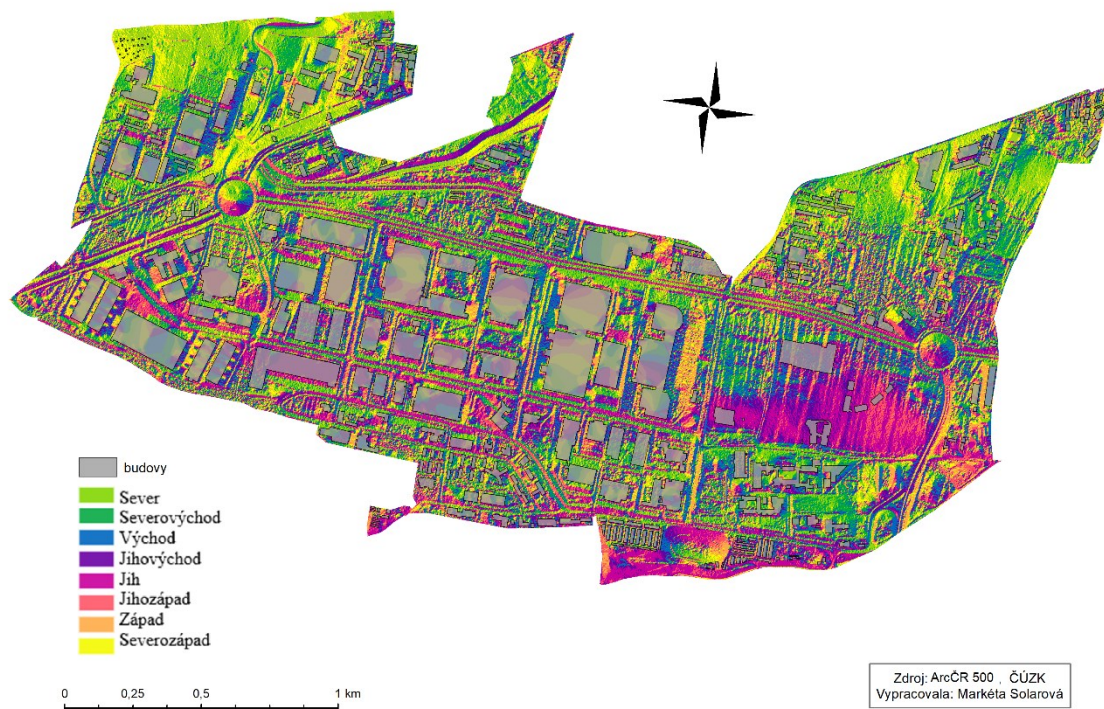
Příloha A: Stínovaný reliéf na území Borských polí



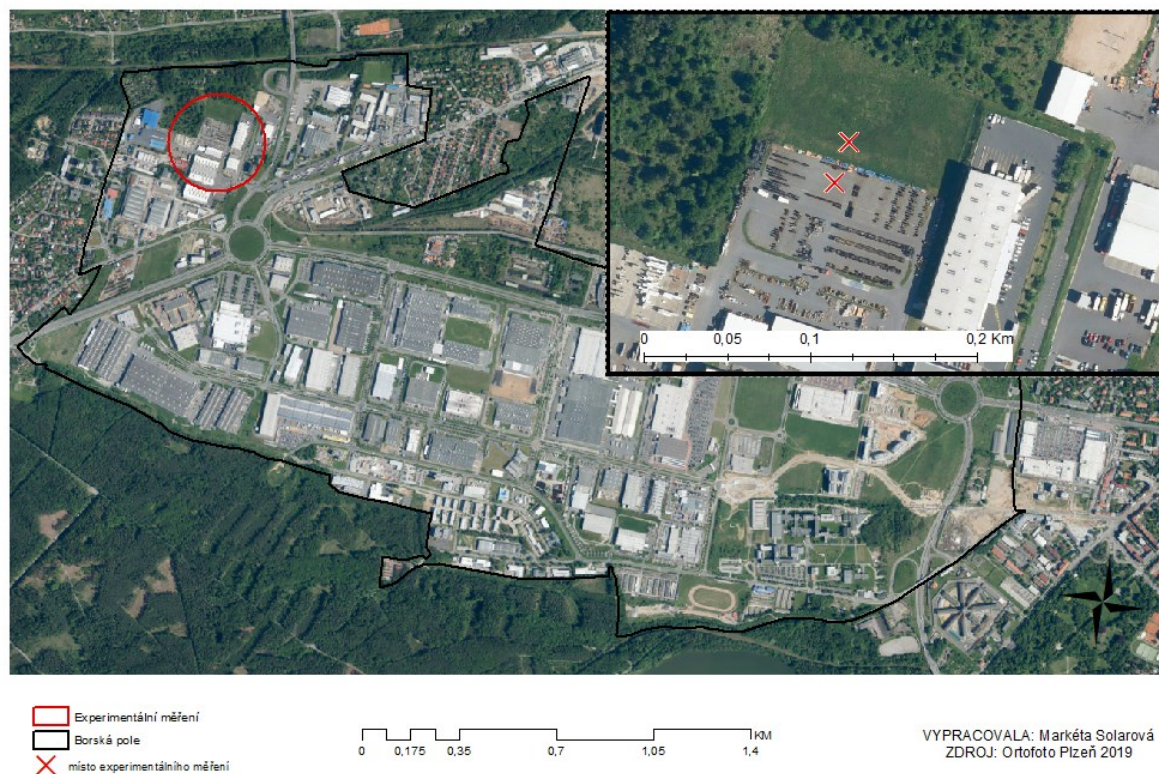
Příloha B: Sklonitost reliéfu na území Borských polí



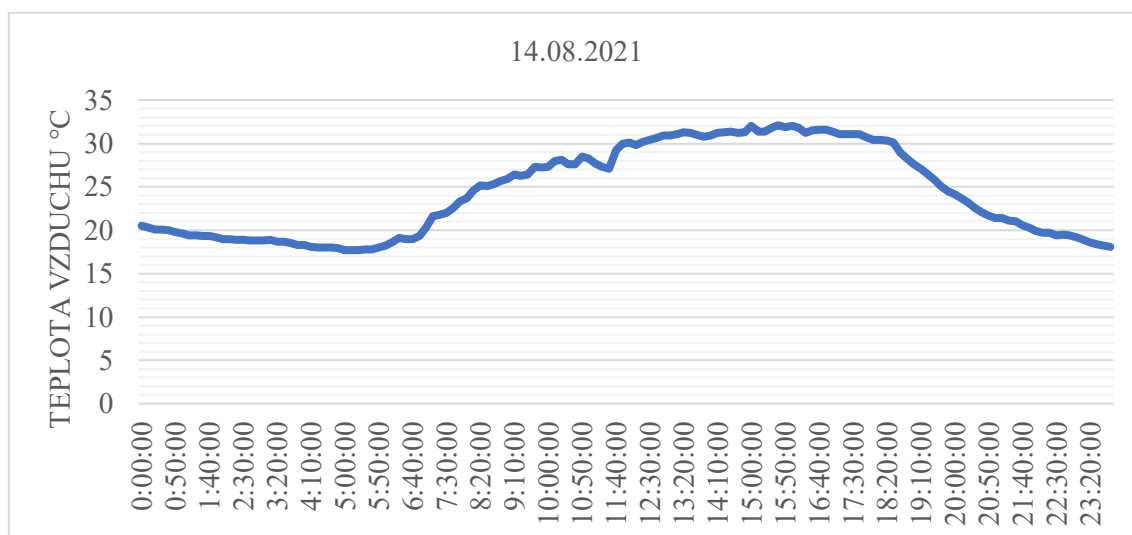
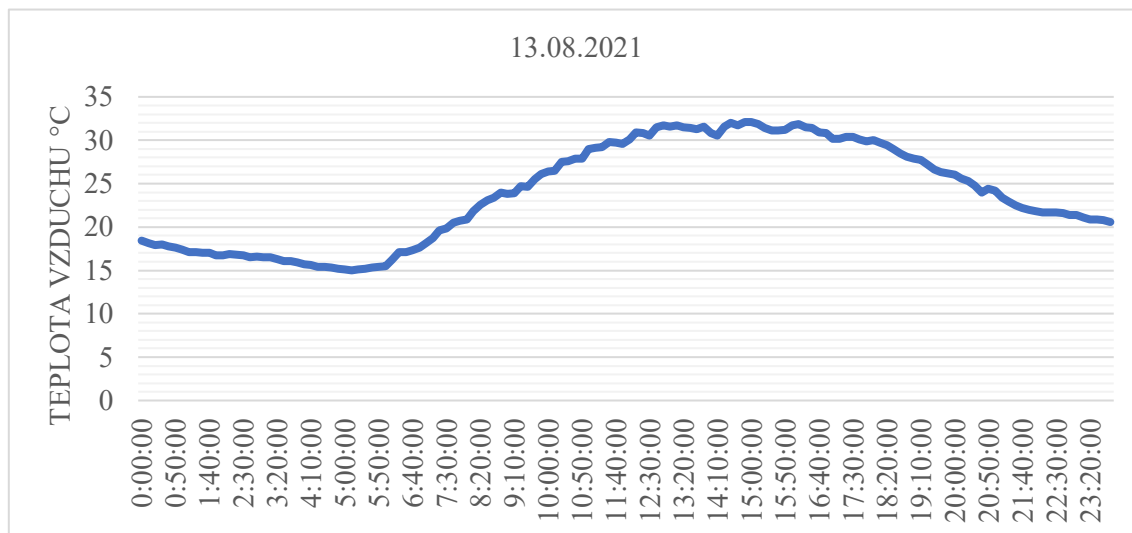
Příloha C: Orientace svahů na území Borských polí



Příloha D: Místa prováděného experimentálního měření ve dnech 23.7.2021 a 24.7.2021



Příloha E: Denní vývoj teplot ve dnech prováděného dotazníkového šetření (13-14.8.2021)



Zdroj: vlastní zpracování dle dat z meteostanice ZČU

Příloha F: Dotazník uskutečněný na území Borských polí

Datum:

Čas:

Místo:

Číslo:

První část dotazníku:

1) Za jakým účelem se nacházíte na Borských polích? (zvolte jednu z nabízených možností)

- a) Pracovně
- b) Za službami
- c) Za rekreací
- d) Jiné

2) Z jakých důvodů (odlišných od odpovědi na otázku č. 1) nejčastěji navštěvujete Borská pole? (zvolte jednu z nabízených možností)

- a) Pracovně
- b) Za službami
- c) Za rekreací
- d) Jiné
- e) Z jiných důvodů Borská pole nenavštěvuji

3) Jak se cítíte v tento moment vzhledem k okolní teplotě? ? (zvolte jednu z nabízených možností)

- a) Komfortně
- b) Spíše komfortně
- c) Spíše nekomfortně
- d) Nekomfortně

4) Je vám na sedmibodové stupnici...? (zvolte jednu z nabízených možností)

- a) +3 Horko
- b) +2 Teplo
- c) +1 Mírně teplo
- d) 0 Neutrálně
- e) -1 Mírně chladno
- f) -2 Chladno
- g) -3 Zima

5) Preferovali byste, aby byla teplota: (zvolte jednu z nabízených možností)

- a) Vyšší
- b) Nižší
- c) Nezměněná

6) Zkuste navrhnout opatření, díky kterým se budete na tomto místě cítit lépe.

Vypište:

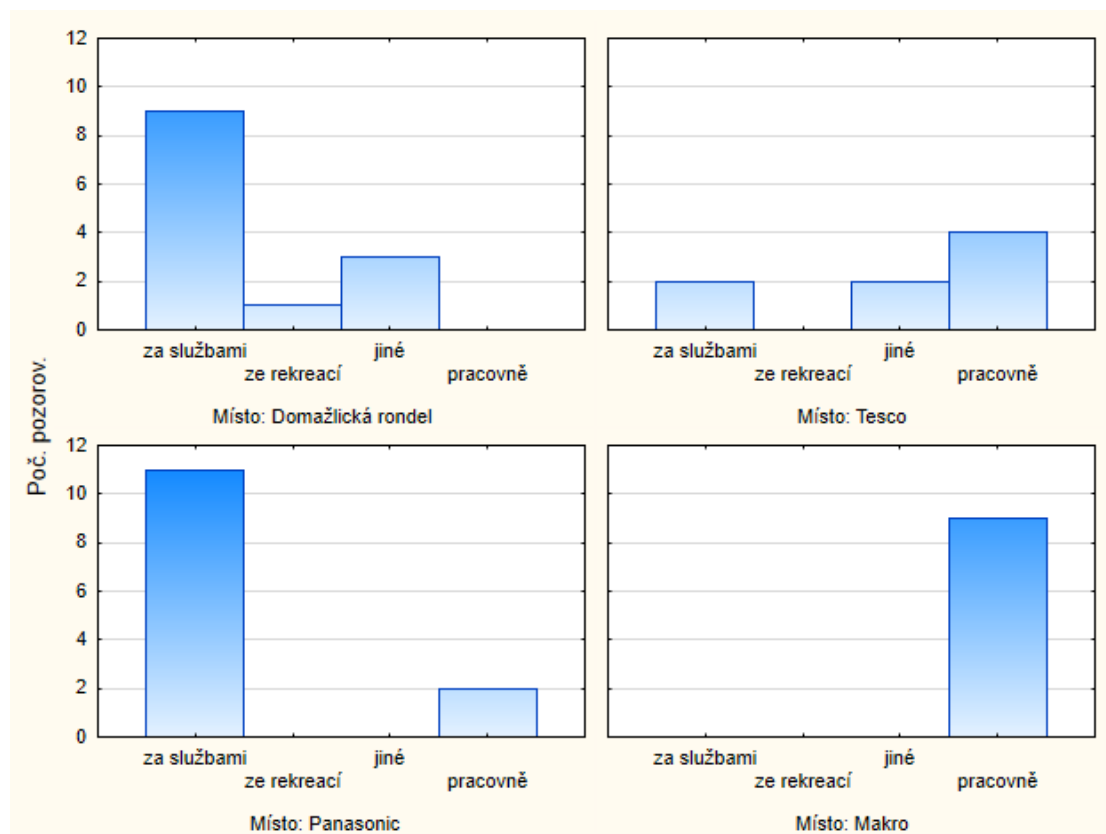
Druhá část dotazníku:

7) Jste:

- a) muž
- b) žena

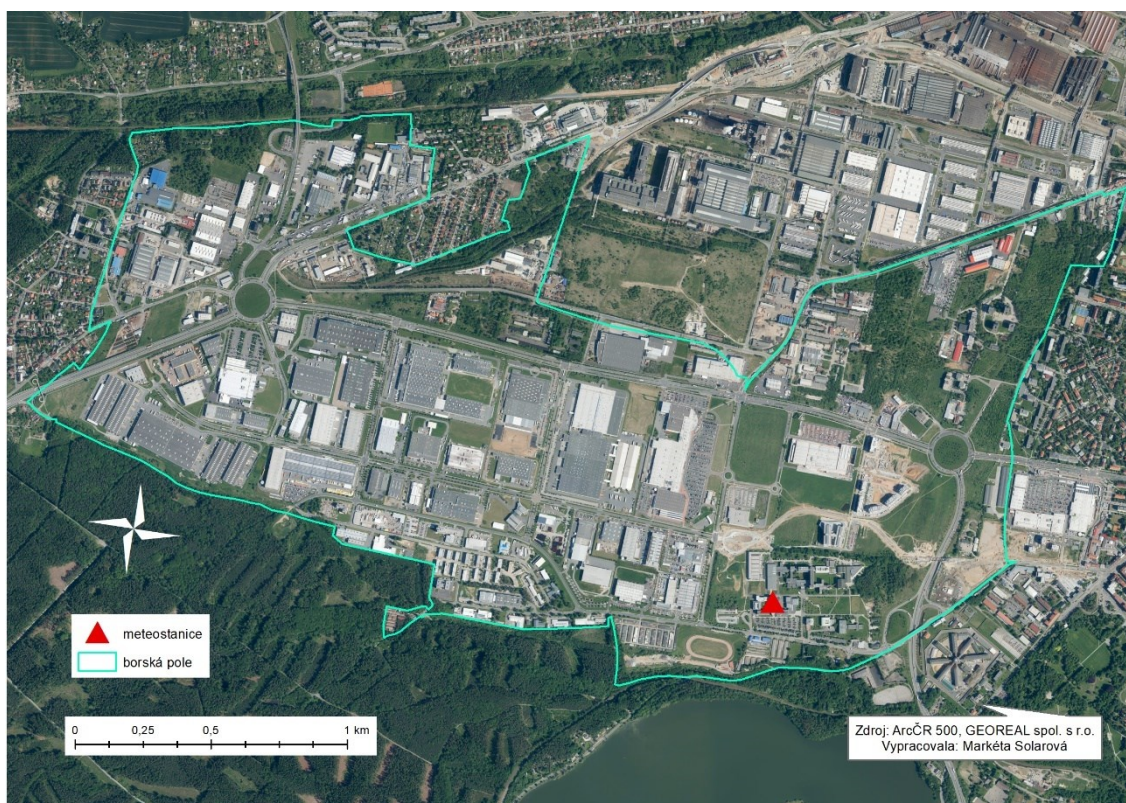
8) Věk: _____

Příloha G: Histogram odpovědí na otázku: „Z jakých důvodů (odlišných od odpovědi na otázku č. 1) nejčastěji navštívujete Borská pole?“ Kategorizovaný místem uskutečnění dotazníku 2021



Zdroj: vlastní zpracování dle dotazníkového šetření

Příloha H: Umístění meteostanice ZČU na území Borských polí



Příloha I: Místo prováděného dotazníkového šetření – parkoviště u Makra



Zdroj: vlastní terénní průzkum

Příloha J: Místo prováděného dotazníkového šetření – parkoviště u Tesca



Zdroj: vlastní terénní průzkum

Příloha K: Místo prováděného dotazníkového šetření – zastávka MHD Domažlická rondel



Zdroj: vlastní terénní průzkum

Příloha L: Místo prováděného dotazníkového šetření – zastávka MHD Domažlická rondel



Zdroj: (Google Maps, 2023)

Abstrakt

Solarová, M. (2023). *Teplotní komfort na území Borských polí* [Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni].

Klíčová slova: teplotní komfort, městské klima, povrchová teplota Země, mapování teplot

Urbanizace mění charakter přírodní krajiny a s tím související teplotní režim ve městech. Městské klima je ovlivněno množstvím antropogenně vytvořených povrchů. Přeměna přírodní krajiny na městskou, v kombinaci s dopady klimatických změn, způsobuje častější vystavení osob teplotnímu ne-komfortu. Tato práce se zabývá vlivem různých prostorových struktur urbánního prostoru na teplotní režim města. Využito bylo metody povrchového teplotního mapování, pro detekci lokalit s nejvyššími povrchovými teplotami, takzvaných hotspot oblastí. Mimo samotný popis povrchových teplotních podmínek oblasti bylo provedeno dotazníkové šetření, prostřednictvím něho bylo zjištěno subjektivní vnímání teplotního komfortu. Mimo jiné bylo v dotazníkovém šetření zkoumáno preferované opatření respondentů pro zlepšení teplotního komfortu. Mezi nejčastěji uváděná opatření patřila obecně vegetace, konkrétně více zeleně a stromy, dále větší množství stínu.

Abstract

Solarová, M. (2022). *Thermal comfort in the area of Borská pole* [Master's Thesis, University of West Bohemia].

Key words: thermal comfort, urban climate, land surface temperature, thermal mapping

Urbanization changes the urban landscape and leads to changes in air temperature. The creation of artificial surfaces by humans has a significant effect on the urban climate. The transformation of natural landscapes into urban environments, combined with the effects of climate change, causes people to be exposed to heat discomfort more often. This Master's Thesis deals with the influence of the temperature of a city is affected by different spatial structures within the urban area. To detect the areas with the highest temperatures, known as "hotspot areas," surface temperature mapping methods were used. In addition to the description of the surface temperature conditions of the territory, a questionnaire survey was conducted to determine the subjective perception of thermal comfort by people. Respondents were also asked to suggest measures that could improve thermal comfort. The most frequently mentioned measures included vegetation, specifically more greenery and trees, and more shade.