



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Vliv vegetace na letní teplotní extrémny ve městech hodnocené
z pozemních a leteckých dat

Autor práce: Bc. Václav Roháč

Vedoucí práce: doc. Ing. Mgr. František Zemek, Ph.D.

České Budějovice
2022

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav ROHÁČ**
Osobní číslo: **Z20458**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Téma práce: **Vliv vegetace na letní teplotní extrémny ve městech hodnocené z pozemních a leteckých dat**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je zhodnocení rozložení povrchových teplot v zájmovém území města v době extrémních letních veder a posouzení vlivu jednotlivých tříd pokryvu, zejména různých druhů sídelní vegetace, na povrchovou teplotu a teplotu vzduchu nad povrchem.

Hlavními výstupy budou:

1/ Mapy vybraných částí studovaného území s popisy tříd pokryvu, druhů vegetace, rozložení povrchové teploty v těchto plochách a popisy vlastností vegetace/pokryvu.

2/ Zhodnocení vlivy různé vegetace a pokryvu na teplotu povrchů a teplotu vzduchu v okolí tříd pokryvu/vegetace.

Práce bude vycházet z obrazové analýzy leteckých hyperspektrálních a LiDAR dat nasnímaných Ústavem výzkumu globální změny AVČR a dat z terénních šetření provedených diplomantem.

Rozsah pracovní zprávy: **40 – 50 stran textu**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Curran P.J. (1985): Principles of remote sensing, Longman Inc., pp. 282

Rees W.G. (2013): Physical principles of remote sensing, Cambridge univ. press, pp. 441

Zemek F. a kol. (2014): Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů; ? Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., pp. 157, <http://hydap.czechglobe.cz/>

K tématu vyhledané vědecké články z WOS apod. řešitelem

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mgr. František Zemek, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: 23. března 2021
Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projekt, uměleckého čila, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: *Ing. Vladimír ŠTÍPÁK*
Odbor: *120428*
Studijní program: *14100 Zemědělská ekonomika*
Studijní obor: *14100 Zemědělská ekonomika*
Jméno práce: *Vliv teploty na kvalitu výrobků živočišného původu v podmínkách ekologického zemědělství*
Katedra: *Katedra řízení a ekonomiky zemědělství*


Zásady pro vypracování

Účast práce je dobrovolná, každému studentovi je umožněno se zúčastnit nebo ne. V případě zájmu o účast v práci je třeba předložit písemnou přihlášku do 15. března 2021. Přihláška musí obsahovat jméno a příjmení, číslo účtu a číslo účtu. Přihláška musí být odeslána na e-mailovou adresu *studijn@zcu.cz* nebo na adresu *120428@zcu.cz*. Přihláška musí být odeslána do 15. března 2021. Přihláška musí být odeslána do 15. března 2021. Přihláška musí být odeslána do 15. března 2021.

Práce musí být vypracována v rozsahu 40-50 stran textu.
Práce musí být vypracována v rozsahu 40-50 stran textu.
Práce musí být vypracována v rozsahu 40-50 stran textu.

Y. Kadeřavský v. r.

doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA 
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Budějovická 1008, 250 02 Česká Budějovice

Pavel Ondr

doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne 14. 4. 2022



.....
Podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá vlivem typů povrchu a druhů vegetace na teplotu okolí při letních teplotních extrémech. Teoretická část cílí na témata dálkového průzkumu Země, elektromagnetického záření, městského a globálního klimatu. V rámci praktické části byla z letecky pořízených hyperspektrálních dat z území statutárního města České Budějovice vyčleněny 3 zájmové plochy, každá reprezentuje z hlediska využití území jinou část města. Prostřednictvím analýz dat byly vytvořeny grafy zobrazující vliv poměrného zastoupení variantních povrchů na teplotu metodou lineární regrese. Z map dřevin vyskytujících se v parcích prvních dvou oblastí byly vybrány nejzastoupenější druhy, u nichž byla zkoumána průměrná teplota do vzdálenosti 2 metrů od nich. Součástí práce je také vyhodnocení dotazníku zodpovězeného obyvateli města na téma preferencí a znalostí o sídelní zeleni.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, hyperspektrální data, sídelní vegetace, městský tepelný ostrov, klimatická změna, vlny veder, land use.

Abstract

This thesis examines the effect of surface types and vegetation types on ambient temperature during summer temperature extremes. The theoretical part targets the topics of remote sensing, electromagnetic radiation, urban and global climate. Within the practical part, 3 areas of interest were selected from aerial hyperspectral data from the territory of the statutory city of České Budějovice, each representing a different part of the city in terms of land use. By means of data analysis, graphs showing the influence of the relative representation of the variant surfaces on the temperature were created using the linear regression method. From the maps of tree species occurring in the parks of the first two areas, the most abundant species were selected and the average temperature within 2 meters of them was examined. The thesis also includes an evaluation of a questionnaire answered by city residents on the topic of preferences and knowledge about the urban green space.

Keywords: remote sensing, hyperspectral data, urban green space, urban heat island, climate change, heat waves, land use.

Poděkování

Zde bych chtěl velmi poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Mgr. Františkovi Zemkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc při vedení, připomínky a cenné rady k tématu. Poté bych rád poděkoval Centru výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i. (CzechGlobe) za poskytnutá data z leteckého snímkování k dalšímu zpracování. V neposlední řadě pak své rodině, spolužákům, přátelům a jiným vzácným osobám, kteří mě podporovali po celou dobu studia a měli se mnou mnohdy svatou trpělivost. Děkuji Vám všem.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární rešerše.....	9
1.1 Dálkový průzkum Země.....	9
1.1.1 Definice.....	9
1.1.2 Historie.....	10
1.1.3 Aplikace.....	12
1.1.4 Principy leteckého DPZ.....	13
1.2 Elektromagnetické záření.....	15
1.2.1 Elektromagnetické spektrum.....	19
1.2.2 Interakce záření v atmosféře.....	20
1.2.3 Interakce záření s povrchem.....	22
1.2.4 Snímání elektromagnetické energie.....	27
1.3 Městské klima.....	31
1.3.1 Vliv typů povrchů na teplotu.....	31
1.3.2 Městské tepelné ostrovy.....	32
1.3.3 Vliv vegetace na teplotu.....	34
1.3.4 Další funkce vegetace.....	38
1.4 Globální změna klimatu a znečištění ovzduší.....	39
2 Metodika.....	41
2.1 Cíle práce.....	41
2.2 Popis území – České Budějovice.....	41
2.2.1 První lokalita.....	43
2.2.2 Druhá lokalita.....	45
2.2.3 Třetí lokalita.....	54
2.3 Sběr dat.....	55

2.4	Předzpracování obrazových dat.....	56
2.4.1	Předzpracování dat CASI, SASI	57
2.4.2	Předzpracování dat TASI	57
2.4.3	Georeferencování	58
2.5	Třídy pokryvu.....	59
2.6	Termální mapa.....	62
2.6.1	Termální mapa – stromy	65
2.7	Dotazníkové šetření	66
3	Výsledky a diskuze	67
3.1	Termální mapy – efekt třídy pokryvu na teplotu.....	67
3.2	Termální mapy – efekt stromů na teplotu.....	71
3.2.1	Zájmové území 1	73
3.2.2	Zájmové území 2.....	75
3.3	Dotazníkové šetření – výsledky	77
3.3.1	Vyhodnocení odpovědí	81
	Závěr	83
	Seznam použité literatury.....	85
	Publikace	85
	Internetové zdroje.....	89
	Seznam obrázků	90
	Seznam tabulek	92
	Seznam grafů.....	93
	Seznam použitých zkratk.....	94
	Seznam příloh.....	95

Úvod

V dnešní době je využití obrazových dat pořízených metodami dálkového průzkumu Země široké, v podstatě téměř v každém oboru lidské činnosti naleznou své uplatnění (stavebnictví, archeologie, urbanismus, meteorologie, ekologie, geografie ad.).

Obrazová data se získávají zachycením elektromagnetického záření buďto na film (analogové), anebo častěji na detektor (digitální). Jde o získávání informací o fyzikálních, chemických, biologických a geometrických vlastnostech objektů. Senzory snímají záření o určité vlnové délce. V dálkovém průzkumu se typicky pracuje jak se zářením viditelným, tak neviditelným. Záření ovšem nemusí doputovat v nezkruslené formě, tok může být narušen fyzikálními a chemickými procesy. Záření dělíme na odražené a vyzářené. Pokud je vyzářeno s přispěním lidského faktoru, pak jde o aktivní dálkový průzkum Země. Bez přispění je pasivní.

Dálkový průzkum Země může být pozemní, letecký či družicový. Tato práce je ve své praktické části zaměřena na letecký dálkový průzkum s využitím platformy letadla s pushbroom skenerem (spektrometrem) snímajícím hyperspektrální data.

Souběžně s globálním oteplováním Země dochází také k extrémním jevům v počasí, které ovlivňují život obyvatel této planety – zejména ve městech. Mezi efekty lidského vlivu patří tzv. městské tepelné ostrovy, které vznikají v důsledku používání nepropustného, umělého materiálu ve městě, jenž dokáže velmi dobře akumulovat teplo ve své vnitřní struktuře. Rozdíly v teplotách v rámci města jsou mnohdy významnější nežli při porovnávání městských a mimoměstských oblastí. Vhodným protipólem se jeví zdravý stromový, keřový a travní porost, který má schopnost účinné termoregulace. Zelené rostliny transpirují vodu. Voda při přeměně skupenství na páru spotřebuje spoustu energie, čímž dochází k chladicímu efektu.

Kromě toho má sídelní vegetace i spoustu dalších pozitivních dopadů na své okolí, příkladem jde o stínění, produkci kyslíku, vázání uhlíku do biomasy, absorpce ozonu, redukce hluku, zachytávání prachových částic, zpomalení rychlosti větru, retence vody a zvlhčování vzduchu, útočiště pro spoustu druhů živočichů (zvyšování biodiverzity), sekundárně snížení užívání klimatizací – čímž se sníží emise skleníkových plynů apod.

1 Literární rešerše

1.1 Dálkový průzkum Země

1.1.1 Definice

Dálkový průzkum Země (DPZ) obecně představuje sběr informací o daném objektu bez přímého fyzického kontaktu s ním (Rees, 2013; Zemek et al., 2014). Nejčastěji se jedná o sběr informací pomocí odraženého elektromagnetického (EM) záření různých vlnových délek od ultrafialových po rádiové frekvence elektromagnetického spektra (Rees, 2013). Nosičem informací při dálkovém průzkumu je elektromagnetické záření, které se ve vakuu šíří rychlostí světla ve formě vln různých délek (Wójtowicz et al., 2016). Viditelná část (400–700 nm) představuje pouze zlomek elektromagnetického spektra. V dálkovém průzkumu se typicky pracuje s rozsahem vlnových délek od 380 nm do 1 m (Zemek et al., 2014).

Elektromagnetické záření může být od objektu odraženo, anebo může být objektem vyzářeno (Campbell & Wynne, 2011; Zemek et al., 2014). Pokud je teplota objektu vyšší než absolutní nula, pak je z něj vyzařováno do okolí elektromagnetické záření. Principem dálkového průzkumu Země je na základě analýzy dat odrazivosti či emisivity (odraženého či vyzářeného) elektromagnetického záření odvozovat vlastnosti zkoumaného objektu (Zemek et al., 2014).

Dálkový průzkum Země je rychle se rozvíjející technologie, která je poháněna především vývojem zobrazovacích senzorů a neustále se zvyšujícím výkonem informační infrastruktury, a to včetně procesu získávání, zpracovávání, ukládání, komunikace a poskytování geoprostorových dat (Tempfli et al., 2009; Toth a Józków, 2016). Získávání a zpracovávání těchto dat je velmi důležité pro pokrok v oblasti udržitelného hospodářského rozvoje a ochrany životního prostředí. Jedná se tedy o shromažďování informací o fyzikálních, chemických, biologických a geometrických vlastnostech naší planety. DPZ nám pomáhá hodnotit stav přírodního a kulturního bohatství a sledovat jeho změny (Tempfli et al., 2009). Můžeme ho rozdělit do tří kategorií (platform): pozemní, letecký a družicový průzkum Země. Při výběru platformy dálkového průzkumu je třeba vzít v úvahu prostorové a spektrální rozlišení. Prostorové rozlišení definuje velikost pixelu snímků povrchu, udává rozměry nejmenšího objektu, který lze na zemi rozpoznat. Spektrální rozlišení senzoru udává šířku spektrálních pásem, ve kterých může senzor zachytit odražené záření (Wójtowicz et al., 2016).

1.1.2 Historie

Otcem základů fotografie se ve 4. stol. před n. l. stal Řek Aristoteles, který popsal jednoduché optické zařízení „kamera obscura“. Ta pracovala jako i dnešní přístroje na principu odraženého světla (Campbell a Wynne, Zemek et al., 2014). Roku 1827 Joseph Niepce pořídil snímek venkovské krajiny – zpracování snímku trvalo 8 hodin práce za plného světla (Zemek et al., 2014). Avšak moderní DPZ začíná až s prvními pokusy o klasické fotografie, ty se datují do 19. století. V roce 1839 zveřejnil Louis Daguerre své výsledky experimentu s fotocitlivými látkami (Campbell a Wynne, Zemek et al., 2014). Gaspard-Félix Tournachon, též přezdívaný Nadar, pořídil první leteckou fotografii z horkovzdušného balónu v roce 1858, fotil Paříž (Campbell a Wynne, 2011; Zemek et al., 2014). Ve stejném roce popsal skotský fyzik James Clerk Maxwell aditivní míchání barev, čímž podnítil vznik barevných fotografií (Zemek et al., 2014). První let letadlem (Wright Flyer) se datuje do roku 1903. Letadlo bylo zkonstruováno bratry Wrightovi (Lillesand et al., 2015).

Fotografie přímo z letadla byly pořízeny o 6 let později v r. 1909 nad italským územím nedaleko Centocelle v Římě. Díky první světové válce se letecká technika ještě zdokonalila (Campbell a Wynne, 2011). Probíhalo zejména rutinní fotografování velkých územních celků (Zemek et al., 2014). V mezidobí první a druhé světové války se letečtí fotografové s hojnými zkušenostmi z bojových strategií uplatnili v civilní sféře v nově založených společnostech zaměřených na letecký průzkum. V roce 1934 byla založena American Society of Photogrammetry (dnes Americká spol. fotogrammetrie a dálkového průzkumu) jakožto profesionální vědecká organizace (Lillesand et al., 2015). Hlavní proměnnou průzkumů bylo viditelné spektrum EM záření (Campbell a Wynne, 2011).

Jenomže za druhé světové války vyvstala potřeba zobrazit i neviditelné spektrum, konkrétně části infračerveného a mikrovlnného záření (Campbell a Wynne, 2011; Zemek et al., 2014). Koncem druhé světové války Spojenci prozkoumali letecké fotografie z tehdejšího nacistického Německa a lokalizovali odpalovací rampy letounových raketových střel V-1 a V-2 (Lillesand et al., 2015).

Rusko a USA zažívaly dlouhou dobu závody ve zbrojení vč. rozvoje vesmírných programů. To evokovalo pokroky v DPZ. První fotografie z vesmíru jsou připisovány Američanům, kteří v r. 1946 vypustili původně německou balistickou raketu V-2 s automatickou kamerou (Zemek et al., 2014). Po válce se začala znovu používat letecká fotografie i pro civilní účely. Rok 1960 byl zlomový.

První meteorologický satelit TIROS-1 byl vypuštěn na oběžnou dráhu (Campbell a Wynne, 2011). Americký program TIROS byl v roce 1978 vylepšen a přejmenován na NOAA – tyto satelity se používají dodnes (Zemek et al., 2014). Na počátku 60. let byly vypuštěny na oběžnou dráhu průzkumné satelity s označením CORONA. Armádní výzkum byl vždy prvním zájmem mocností a výsledky jeho výzkumu tajné. Civilní sféře byly po čase předány již notně zastaralé vojenské satelity, které uměly zaznamenávat infračervené a mikrovlnné záření (Campbell a Wynne, 2011).

Sběr takových snímků motivoval americkou kosmickou agenturu NASA k tomu, aby zahájila provoz programu monitorujícího výskyt nerostných surovin (Earth Resources Technology Satellites = ERTS). Program funguje od roku 1967 a do dnešní doby se týká 9 vypuštěných družic. V r. 1975 došlo k přejmenování programu na Landsat a zatím poslední Landsat-9 byl vypuštěn 27. září 2021 (National Aeronautics and Space Administration, 2021; Zemek et al., 2014). Začátkem 70. let byl vyslán první multispektrální satelit Landsat-1, snímající v několika vrstvách EM záření (Campbell a Wynne, 2011). Tyto satelity měly lepší spektrální i prostorové rozlišení než meteorologické a poskytly informace v panchromatickém a multispektrálním módu (Zemek et al., 2014). Snímky byly náročné na paměť – a započala éra rychlé digitalizace. S DPZ pokročily i geografické informační systémy (GIS) (Campbell a Wynne, 2011).

Od 80. let se začala uplatňovat tzv. geospaciální data. To jsou data zahrnující informace z DPZ, GIS a GPS – podrobnější metadata (Campbell a Wynne, 2011). Začala se rozvíjet obrazové spektroskopie (letecký hyperspektrální průzkum), jejíž doménou je schopnost snímat desítky až stovky spektrálních kanálů. Tyto družicové systémy jsou k dispozici od přelomu 80. a 90. let – Hyperion MODIS a MERIS. V současnosti dokážou poskytovat mimořádně kvalitní výstupy (Zemek et al., 2014).

Aktivní technologie laserového skenování (LiDAR – Light Detection And Ranging) pracuje na podobných principech jako radarová, je známa od šedesátých let. Ale praktické využití bylo možné až od přelomu 80. a 90. let v souvislosti s vývojem přesné navigace (Zemek et al., 2014).

Termální DPZ se rozvinul ve 2. pol. 20. stol. díky novým detektorům. Civilní využití se datuje až od 60. let. První termální senzor byl užit na družici Landsat-3 roku 1978. Evropská kosmická agentura od 10. let 21. století začala zpracovávat sérii 5 satelitů Sentinel v rámci monitorovacího programu Copernicus, Sentinel-1 byl uveden do provozu v roce 2014 (Zemek et al., 2014). Následovalo vyslání dalších

dvou satelitů: Sentinel-2A (2015) a Sentinel-2B (2017) (The European Space Agency, 2019). Později byly vypuštěny 2 satelity Sentinel-3A (2016) a Sentinel-3B (2018), tyto přinášejí vícekanálová termální data. V plánu je vypuštění mise šestého Sentinelu (The European Space Agency, 2022).

V roce 1995 se dostal na oběžnou dráhu první komerční satelit OrbView-1. Roku 2002 vypustila Evropská kosmická agentura vůbec největší satelit ENVISAT, jež je osazen 10 zařízeními poskytujícími data o aktuálním stavu atmosféry, pevniny, oceánů a rozloze sněhové pokrývky (Zemek et al., 2014). Internet po roce 2000 zpřístupnil snímky DPZ veřejnosti. V roce 2005 byl spuštěn Google Earth, který jako první zobrazil koncept zemského povrchu celé naší planety sestrojený z širokého výběru snímků (Campbell a Wynne, 2011).

Historicky se družicové snímkování používalo pro mapování velkých ploch. Prostorové rozlišení senzorů bylo omezené. Větší rozlišení těch novějších však nyní umožňuje v rámci terénu vyhodnocovat problémy, jako je stres ze sucha, záplavy a škody způsobené krupobitím. Satelitní snímky mohou být ovlivněny proměnlivými povětrnostními podmínkami. Družice poskytující snímky s vyšším rozlišením, např. družice QuickBird (2,4 m ve VNIR) a ASTER (15 m), mají dlouhé doby opakovaných přeletů (1–3,5; resp. 16 dní). Aby se zkrátila doba opakovaných přeletů, jsou družice často rozmístěny v konstelacích z několika synchronizovaných družic, které jsou koordinovány a překrývají se v pokrytí (Wójtowicz et al., 2016).

1.1.3 Aplikace

Dálkový průzkum využijí např. stavební inženýři (výstavby dálnic, vodních děl), urbanisté (rozvoj osídlení), zemědělci (monitoring objemu a kvality zemědělské produkce, eroze), analytici životního prostředí (analýza uložišť odpadů, neobnovitelné zdroje), klimatologové (fenomén El Niño, ozónová vrstva, kácení deštných pralesů, globální oteplování), meteorologové (předpověď počasí, atmosférické jevy), vojáci (taktické plánování), novináři (ilustrace, analýzy), kartografové (topografie, land use) apod. (Schowengerdt, 2007; Tempfli et al., 2009).

DPZ poskytuje množství dat s údaji prostorovými, spektrálními a časovými. V mapování je potřeba vysokého rozlišení, avšak nepotřebujeme tato data sbírat rychle. Což je pravým opakem meteorologie, kde potřebujeme sbírat data nejlépe na denní bázi, avšak jejich rozlišení není podstatnou veličinou. Globální klimatický model je projekt, který cílí na celou Zemi a její klimatické změny – odtud vyplývají

požadavky a limity takové, že vysoké rozlišení by sabotovalo zpracování dat, avšak přesné informace o prostoru a čase jsou nepostradatelné (Campbell a Wynne, 2011).

Různé oblasti EM záření poskytují jiné informace. Kartograf vytvářející ortofotomapy upřednostní optický senzor pracující ve viditelném spektru. Ekolog sledující tepelné ztráty použije senzor pracující v termální oblasti. Geolog rozlišující typy hornin dle drsnosti se spolehne na mikrovlnné snímání atd. (Tempfli et al., 2009). Data ze satelitů jsou stále přístupnější široké veřejnosti, jejich kvalita roste a cena naopak klesá (Linder, 2016). Spektrální měření prováděné na úrovni terénu umožňuje stanovení spektrálních indexů pro určení nároků rostlin na vodu. K tomuto účelu lze využít dálkový průzkum TIR (Taghvaeian et al. 2013). Vzhledem k tomu, že teplota koruny rostliny závisí na teplotním stupni tepelného stresu a také na zásobování vodou, je záhodno použít termálních dat pro určení aktuálního stavu zásobování rostlin vodou. V závislosti na dostupnosti vody vyzařují rostliny, které vykazují příznaky vadnutí, více dlouhovlnného infračerveného záření (LWIR) (Wójtowicz et al., 2016).

1.1.4 Principy leteckého DPZ

Dálkový průzkum Země lze rozdělit do 3 hlavních kategorií dle toho, jaký typ záření je snímán: 1) odražené a rozptýlené sluneční záření, 2) vyzařovaná energie z objektů, 3) odražené a rozptýlené záření vyslané záměrně ze samostatného zdroje. Podle toho se DPZ dělí na pasivní a aktivní – aktivní je takové, kdy zdroj záření je uměle vyslán, pasivní se týká prvních dvou vyjmenovaných kategorií (Zemek et al., 2014).

Letecké spektrometry přijímají odražené sluneční záření v rozsahu 400–2500 nm vlnové délky. Vyzařovaná energii z objektů dopadá na letecký termální skener. Aktivní skenery jsou většinou laserové. Pořízená obrazová data leteckým DPZ můžeme pochopit jako třírozměrnou matici, v níž dva rozměry jsou prostorové (souřadnice v rovině) a třetí je spektrální osa. Tato data lze pořídit dvěma technologiemi – whiskbroom skenerem či pushbroom skenerem (Zemek et al., 2014).

Whiskbroom skener sbírá pixely v linii kolmé na směr letu (sběr za letadlem), nejčastěji k tomu používá oscilující zrcátko přenášející EM energii na detektor. Nevýhodou je rychlé opotřebení a vyšší pořizovací náklady, dále rezonance, která způsobí pruhy na výstupních liniích. Výhodou je to, že každý pixel je sesbírán shodným detektorem. Hyperspektrálními whiskbroom skenery jsou např. HyMap nebo AVIRIS (Zemek et al., 2014).

Pushbroom skener je sestaven z řádku detektorů, které sbírají informace v celém řádku naráz. Nevýhoda skeneru spočívá v tom, že je potřeba velmi pečlivě všechny detektory zkalibrovat. Výhodou tohoto typu je, že každý pixel bude lépe zobrazen díky delšímu času, při němž je snímán. Mezi pushbroom skenery počítáme např. CASI, APEX a AISA, podobně fungují termální skenery TASI a AISA Owl (Zemek et al., 2014).

Letecký dálkový průzkum se dosud realizuje především pomocí pilotovaných letadel. Avšak v posledních letech je stále častěji nahrazují bezpilotní letouny (UAV) dálkově řízené z pozemní stanice, které jsou levné, lehké a nízkorychlostní, takže se dobře hodí pro dálkový sběr dat. Existují dvě široké platformy pro bezpilotní letadla, a to typy "s pevným křídlem" a "s rotujícím křídlem". Bepilotní letouny lze nasazovat rychle a opakovaně, s dobře proměnlivou výškou letu a načasování misí, navíc mohou získat snímky s velmi vysokým rozlišením. Tyto snímky umožňují pozorování jednotlivých rostlin, políček ad. (Wójtowicz et al., 2016).

Navzdory odhadům, podle kterých by měly UAV (bepilotní letecké prostředky) do roku 2024 dominovat jako platforma v globálním dálkovém průzkumu Země (s tržním podílem leteckého snímkování 78 % v porovnání s ostatními platformami dálkového průzkumu Země), budou mít pilotovaná letadla s pevnými křídly i nadále důležitou roli pro dálkový průzkum v podobě leteckého snímkování. Důvod lze hledat v podstatě letounů s pevným křídlem, které lze využít pro rychlý a častý dálkový průzkum v rozsáhlých oblastech (Mastelic et al., 2020).

Informační kvalita dat DPZ je dána rozlišením snímače. Rozlišení je prostorové, spektrální, radiometrické a časové. Prostorové rozlišení lze definovat jako rozměr nejmenších objektů, jejichž hranice jsou ze snímku určitelné – závisí na výšce letu a na okamžitém úhlu záběru (tzv. IFOV), běžně se měří jako vzorkovací vzdálenost (GSD) definující vzdálenost středu dvou pixelů. Spektrální rozlišení udává způsobilost senzorů reagovat na změny záření v jeho různých vlnových délkách – je dáno šířkou spektrálních pásem (FWHM) a spektrálním krokem mezi dvěma pásmy. Je to počet spektrálních pásem, která je schopen skener snímat. Radiometrické rozlišení stanovuje nejmenší zaznamatelnou změnu v intenzitě signálu (citlivost senzoru) – ovlivňuje ho šum a také způsob digitálního kódování (kolik bitů je užíváno pro digitalizaci – např. 8 bitům odpovídá 256 různých hodnot). Časové rozlišení nám poskytuje údaj o tom, jak často je pořizován snímek shodného území (důležité spíše pro družicové snímky) (Mastelic et al., 2020; Zemek et al., 2014).

Každé letecké snímkování (hyperspektrální, termální, laserové) si žádá doplnění ještě o podrobnější měření, která ideálně probíhají paralelně s vlastním náletem. Někdy jsou nezbytná také terénní měření. Tato data se používají ve fázi předzpracování dat DPZ, anebo ve fázi kontroly kvality zpracování. Za letu probíhá měření polohy letadla za pomoci navigačních systémů IMU a GNSS (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Letadla jsou vybavena systémy IMU – inerciální měření, to počítá úhlové rychlosti a akcelerace pro dopřesnění souřadnic letu z GNSS v reálném čase – je to soustava gyroskopů a akcelerometrů. IMU měří úhly polohy snímače. K tomu potřebujeme referenční stanici GNSS na zemi ve vzdálenosti přibližně 30 km od letadla (Mouget a Lucet, 2014; Tempfli et al., 2009). Veličinami, které jsou měřeny, je rychlost a pozice letadla, výška letu a náklony letadla ve třech osách vzhledem k letu – to slouží k zasazení dráhy letu do souřadného systému a ke geometrickým korekcím. Dále se mohou zaznamenávat změny atmosférických podmínek během letu (Zemek et al., 2014).

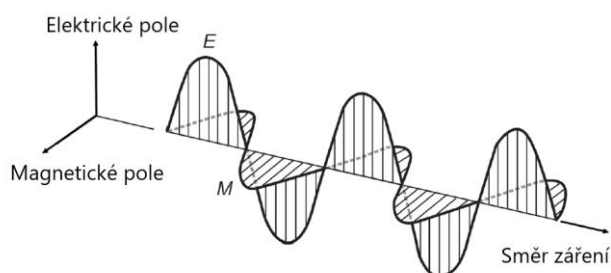
V terénu se pak měří odrazivost jednotlivých reprezentativních povrchů, což má dvojí efekt – mohou podpořit korekce odstraňující vliv atmosféry, anebo pomohou zhodnotit kvalitu atmosférických korekcí proběhlých. Také se měří se přesné souřadnice kontrolních bodů (GCP), ty rovněž zajišťují dvojí pomoc – mohou zpřesnit proces georeferencování snímků, nebo můžeme pomocí nich posoudit kvalitu geometrických korekcí (Zemek et al., 2014).

Pozemní DPZ používá ruční přístroje monitorující biotické a abiotické faktory v malém měřítku. Tato technologie má ve srovnání s leteckým a družicovým DPZ lepší časové, spektrální a prostorové rozlišení. Limitujícím faktorem je jeho efektivita a časová náročnost (Wójtowicz et al., 2016).

1.2 Elektromagnetické záření

Světlo je elektromagnetické záření, které je viditelné lidským okem. Naším zdrojem světla na planetě Zemi je Slunce. Světlo se od povrchů na planetě odráží, fotosenzitivní buňky v lidském oku (tyčinky a čípky) toto odražené záření detekují a mozek vjem zpracovává do obrazu. Světlo ale není jedinou formou energie vyzařovanou ze Slunce či jiných těles, kterou jsme schopni vnímat. Pocit tepla je například způsoben tepelnou emisí, opalování a tvorbu vitamínu D má na starosti ultrafialové záření apod. (Tempfli et al., 2009).

Elektromagnetické záření můžeme vnímat dvěma způsoby – jako vlny, či jako částice nesoucí energii (fotony). První publikace o vlnové teorii světla pocházejí už ze 17. století (Tempfli et al., 2009). Podle vlnové teorie se světlo šíří po přímce (pokud na něj tedy nepůsobí vnější vlivy), přičemž jeho energetické hladiny se mění vlnovým způsobem (forma harmonických sinusových vln) (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Světlo má dvě oscilační složky – energie se neustále mění mezi elektrickou a magnetickou, čemuž ve výsledku říkáme elektromagnetická energie. A tyto oscilační složky mají mezi sebou protichůdný vztah – je-li elektrická energie vlny pozitivní, pak je magnetická energie negativní (Tempfli et al., 2009).



Obrázek 1.1: Složky elektromagnetického záření (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).

Vlnové chování světla je společné všem formám EM záření, veškerá EM energie se šíří rychlostí světla (cca 300 000 km/s) (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Světlo ze Slunce na planetu Zemi dorazí přibližně za 8 minut. Sinusoidu lze charakterizovat podle tří parametrů (Tempfli et al., 2009):

$$e = \alpha \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} + \varphi\right)$$

Podle vlnové délky λ rozlišujeme typy EM záření – je to vzdálenost dvou energetických maxim (cyklus oscilace). Zápis je v mikrometrech ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ m). Modré světlo vykazuje vlnovou délku záření kolem 0,45 μm (450 nm). Červené světlo na druhém konci barevného spektra duhy má vlnovou délku přibližně 0,65 μm . EM záření mimo rozsah 0,38 až 0,76 μm není lidským okem viditelné (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Amplituda α je hodnota vrcholu vlny. Čím větší je, tím je i energie vlny větší. Fáze φ vyjadřuje, jak se počáteční bod vlny liší od počátku počítání vzdálenosti (tj. $x = 0$), φ může nabývat libovolné hodnoty od 0 do 2π (Tempfli et al., 2009).

Frekvence je počet cyklů vlny, které se vyskytnou právě za jednu sekundu (počet maxim vln, které projdou pevným bodem za jednotku času (Tempfli et al.,

2009; Zemek et al., 2014). Měříme ji v hertzech (1 Hz = 1 cyklus za sekundu). Perioda je dobou, kterou vlna potřebuje k dokončení jednoho cyklu. Perioda odpovídá vlnové délce záření. A protože rychlost světla je konstantní, vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí je (Tempfli et al., 2009):

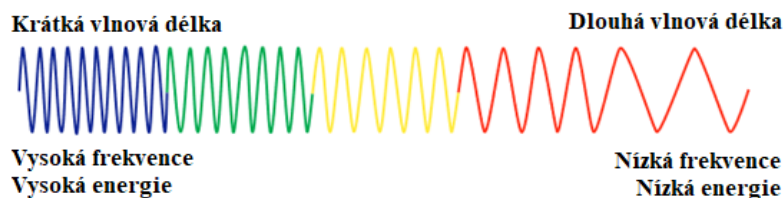
$$c = \lambda \times \nu$$

Na základě slavného energetického vzorce Einsteina se písmeno c běžně používá jako symbol rychlosti světla, ν představuje frekvenci. Krátká vlnová délka znamená vysokou frekvenci, zatímco dlouhá vlnová délka odpovídá nízké frekvenci. Modré světlo má vyšší frekvenci než červené světlo (Tempfli et al., 2009). Jde tedy o vztah nepřímé úměry mezi oběma veličinami (Zemek et al., 2014).

Teorie částic vysvětluje EM energii pomocí fotonů (Tempfli et al., 2009). Částicová teorie popisuje EM záření tak, že je vyzařováno a pohlcováno po tzv. diskrétních kvantech, které nazýváme fotony (Zemek et al., 2014). Tento přístup se používá při kvantifikaci detekované energie multispektrálním senzorem. Max Planck vyjevil množství energie držené jedním fotonem vztahující se ke konkrétní vlnové délce takto (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014):

$$Q = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

kde Q je energie fotonu měřená v joulech a h je Planckova konstanta ($6,6262 \cdot 10^{-34}$ J·sec) (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Z toho vyplývá, že záření s dlouhou vlnovou délkou má nízkou energetickou úroveň a naopak. Modré světlo je energetičtější než červené. UV záření je pro naše tělo s rostoucí frekvencí nebezpečné, větší kvantum energie působí na jednotku plochy (Tempfli et al., 2009). Také je obtížnější detekovat zářivou energii delších vlnových délek (např. mikrovlnné) než energii kratších vlnových délek – které nesou vyšší energii (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.2: Vztah vlnových délek, frekvencí a energií (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).

Množství energie, kterou objekty vyzáří, je závislé na termodynamické teplotě tělesa. To je dáno tzv. Stefan-Boltzmannovým zákonem, jehož znění je takové:

$$M = \sigma \cdot T^4 ,$$

kde M je celková intenzita záření tělesa [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$), T je kinetická (termodynamická) teplota vyzářujícího objektu (K). Kinetická energie představuje množství vnitřní energie tělesa generované pohybem jeho atomů či molekul – částic (Zemek et al., 2014).

Slunce je hlavním, ale nikoliv jediným zdrojem EM záření. Veškerá hmota s absolutní (kinetickou, termodynamickou) teplotou nad absolutní nulou vyzáří EM záření kvůli neustálému pohybu částic. Absolutní nula ($0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$) je nejnižší možná teplota, při které se částice již nepohybují (Tempfli et al., 2009).

Hvězdy vč. našeho Slunce jsou brány přibližně jako absolutně černá tělesa. Absolutně černé těleso je teoretický model s předpokládanými extrémními vlastnostmi a pomáhá vysvětlit principy EM záření. Absolutně černé těleso absorbuje 100 % záření na něj dopadající a žádné zpět neodrazí, proto vypadá naprosto černě. Absolutně černé těleso ale emituje veškerou energii, kterou přijímá – má maximální emisivitu 1 (záření z něj závisí pouze na jeho teplotě) (Tempfli et al., 2009). V přírodě se s takovým tělesem nesetkáme, reálná tělesa odrazí i vyzáří aspoň část energie v porovnání s vyzářováním absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Tento poměr je emisivita, kteráž se dá spočítat následovně (Zemek et al., 2014):

$$\varepsilon = \frac{M_{RB}}{M_{BB}} ,$$

kde M_{RB} je vyzářenou energií reálným zářičem a M_{BB} je energií vyzářenou ideálním zářičem (abs. černým tělesem). Emisivita se pohybuje v intervalu (0,1). Většina přírodních povrchů vykazuje emisivitu 0,85–0,99 (Zemek et al., 2014).

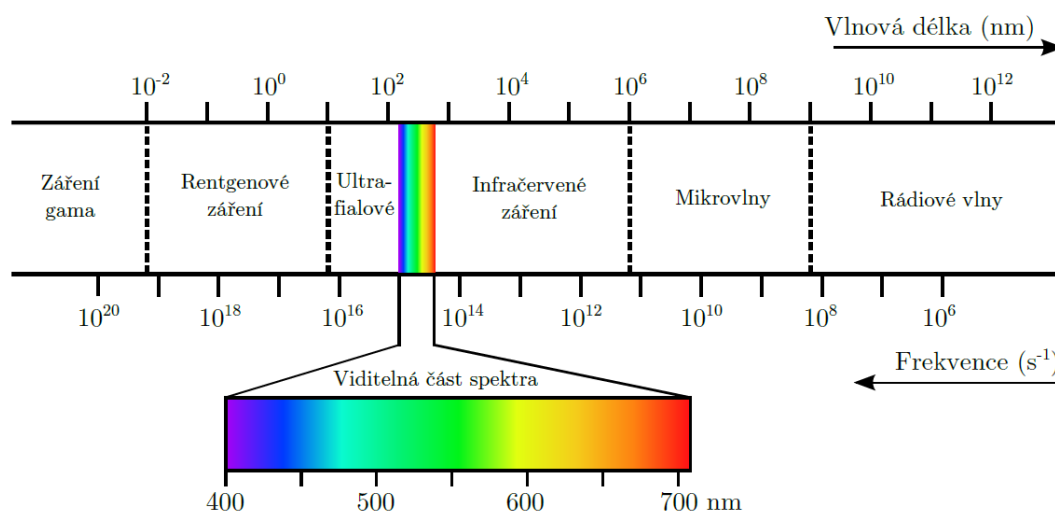
Absolutně černé těleso emituje energii na každé vlnové délce. Jeho teplotu určuje nejvýznamnější vlnová délka jeho záření (Tempfli et al., 2009). Celkové množství energie vyzářené černým tělesem se mění s kinetickou teplotou a stejně tak nejvíce vyzářená vlnová délka je funkcí této teploty. Wienův zákon udává vlnovou délku, za které dané těleso vyzáří nejvíce energie (Zemek et al., 2014):

$$\lambda_{max} = \frac{A}{T} ,$$

kde λ_{max} je vlnovou délkou s maximálním vyzářováním (μm), A je konstanta $2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$, T je kinetická teplota v Kelvinech. Ze vztahu vyplývá, že vyšší kinetická teplota znamená kratší vlnovou délku maximálního vyzářování (Zemek et al., 2014).

1.2.1 Elektromagnetické spektrum

Celkový rozsah vlnových délek EM záření nazýváme EM spektrum (Tempfli et al., 2009). Části spektra vidíme na Obrázku 1.3:



Obrázek 1.3: Elektromagnetické spektrum (Zemek et al., 2014).

Každá z uvedených částí spektra představuje rozsah vlnových délek. Spektrum nemá žádné jasné hranice třídy (Tempfli et al., 2009). Rozsah vlnových délek používaných pro DPZ je od 380 nm po 1 m (Zemek et al., 2014). Většina geoprostorových dat se získává snímáním ve viditelném a infračerveném rozsahu (blízké, krátkovlnné až tepelné) (Tempfli et al., 2009; Wójtowicz et al., 2016). V tzv. odrazové části spektra – viditelná (400–720 nm), blízká infračervená NIR (Near-infrared) (od 720 do 1300 nm) a střední infračervená MIR (Mid-Infrared) (od 1300 do 3000 nm) část – pracují pasivní (optické) senzory (Zemek et al., 2014). UV složka (300–380 nm) není často používaná z důvodu silného rozptylu záření při průchodu atmosférou (Zemek et al., 2014). Na druhém konci užitečného rozsahu jsou mikrovlny (Tempfli et al., 2009). Intenzita slunečního záření má své maximum kolem vlnové délky $0,54 \mu\text{m}$ a i citlivost našich očí vrcholí zeleno-žlutou barvou (Tempfli et al., 2009).

Druhy vegetace a stresový stav rostlin lze rozlišit analýzou záření blízkého infračerveného – NIR a středního infračerveného záření – MIR. Listnaté stromy odrážejí více energie NIR než jehličnaté, projevují se na snímku jasněji. Zdravá vegetace má vysokou odrazivost v NIR. MIR je také označováno literaturou jako krátkovlnné infračervené záření (SWIR). Senzory SWIR se používají k nočnímu monitorování vlastností povrchů (Tempfli et al., 2009).

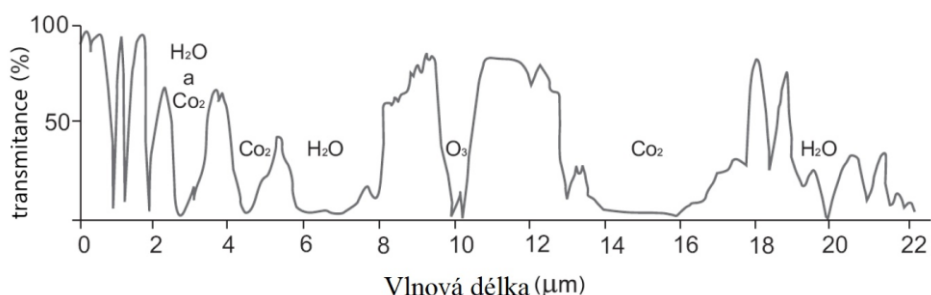
IR s vlnovou délkou větší než 3 μm se nazývá tepelné infračervené záření (Thermal Infrared – TIR) způsobující pocit tepla. Tepelné emise zemského povrchu při 300 Kelvinech (cca 27 °C) mají nejvyšší vlnovou délku 10 μm . Lidské tělo také vyzařuje „tepelnou energii“ s maximem $\lambda \approx 10 \mu\text{m}$ (Tempfli et al., 2009). Tepelné detektory jsou proto navrženy tak, aby byly citlivé na záření v rozsahu vlnových délek 8 až 14 μm . Ještě delší vlnové délky z mikrovlnné části (1 mm až 1 m) užívají radarové systémy (Zemek et al., 2014).

1.2.2 Interakce záření v atmosféře

Než sluneční energie dopadne na zemský povrch, dojde v atmosféře ke třem interakcím důležitým pro DPZ: absorpci (pohlčení), transmisi (propouštění) a rozptylu. Propuštěná energie je pak buď absorbována povrchem materiálu, nebo odražena. Odražená energie je také rozptýlena a absorbována v atmosféře, než dosáhne zpět dálkového senzoru (Tempfli et al., 2009). Všechno záření procházející atmosférou má ovlivněnou intenzitu i spektrální složení (Zemek et al., 2014).

Absorpce a transmise

EM energie putující atmosférou je částečně absorbována molekulami, které oslabí jeho energii. Nejúčinnějšími absorbéry slunečního záření v atmosféře jsou ozón (O_3), vodní pára (H_2O) a oxid uhličitý (CO_2). Přestože tyto molekuly tvoří jen 3–5 % objemu atmosféry, tak jsou zodpovědné za pohlčení většiny slunečního záření (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Obrázek 1.4 znázorňuje přenos EM záření atmosférou v rozsahu záření 0 až 22 μm :



Obrázek 1.4: Propustnost záření atmosférou (Zemek et al., 2014).

Mnohé z vlnových délek jsou atmosférou pohlceny – těmto rozsahům se říká absorpční pásy (Tempfli et al., 2009). Může ale dojít i k vyzařování absorbovaného záření v jiných vlnových délkách, což by ovlivnilo zejména termální DPZ.

Naopak užitečné rozsahy, ve kterých je záření minimálně ovlivněné atmosférou, se označují jako atmosférická okna (Zemek et al., 2014).

V okně záření rozsahu od 0,4 do 2 μm (viditelné, NIR, SWIR) je hlavně odražená energie, záření se řídí zákony optiky (Tempfli et al., 2009). Dále máme tři okna v rozmezí TIR (tepelné záření), jmenovitě jde o dvě úzká okna kolem 3 a 5 μm , a třetí, relativně široké okno, zasahuje přibližně od 8 do 14 μm (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Rozptyl

K atmosférickému rozptylu dochází, když pevné částice nebo plynné molekuly v atmosféře přeměrují EM záření ze své původní dráhy. Velikost rozptylu závisí zejména na vlnové délce záření a jeho trajektorii, množství částic a plynů v atmosféře a velikosti částic (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Za jasného dne jsou barvy výrazné – 95% slunečního světla detekovaného očima je energií odraženou od předmětů, 5 % připadá na světlo rozptýlené v atmosféře. Za zamračeného nebo mlhavého dne jsou barvy mdlé, většina energie vnímaná očima je rozptýleným světlem. Můžeme rozlišit 3 typy rozptylu dle velikosti částic v atmosféře, které ho způsobují (Tempfli et al., 2009).

Rayleighův rozptyl nastává, když EM záření interaguje s částicemi výrazně menšími, než je jeho vlnová délka. Příklady částic jsou drobný prach a molekuly oxidu dusičitého (NO_2) a kyslíku (O_2). Světlo kratší vlnové délky (modré) je rozptýleno až 4x více, než je tomu u světla delší vlnové délky (červené) – a proto je denní obloha jasně modrá, neboť světlo urazí nejkratší vzdálenost atmosférou (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.5: Rozptyl modrého a červeného světla (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).

Za východu a západu slunce cestuje sluneční světlo zemskou atmosférou delší vzdáleností, než se k nám dostane (pod jiným úhlem). Záření kratších vlnových délek je po určité vzdálenosti rozptýleno. Poté vidíme oranžovou nebo červenou oblohu (Tempfli et al., 2009).

Rayleighův rozptyl kazí ostrost snímků ve viditelném rozsahu pořízených z větších výšek letu. Kratší vlnové délky jsou nadhodnoceny, čili na barevných fotografiích dominuje modrá barva (Tempfli et al., 2009).

Mieův rozptyl se projeví, když je vlnová délka EM záření podobná co do velikosti atmosférickým částicím. Nejčastější příčinou jsou aerosoly: směsi plynů, kouře, vodní páry, pylu a prachu (Zemek et al., 2014). Mieův rozptyl je spíše omezen na troposféru a stratosféru (nižší vrstvy atmosféry), kde jsou větší částice hojnější. A převládá v oblačných podmínkách (Tempfli et al., 2014). Mieův rozptyl může výrazně ovlivnit viditelné a blízké infračervené záření (Zemek et al., 2014).

K neselektivnímu rozptylu dochází, když je velikost částic mnohem větší než vlnová délka záření. Částicemi vyvolávajícími tento efekt jsou kapičky vody a větší částice prachu. Nejvýraznějším příkladem neselektivního rozptylu je, že vidíme mraky bílé. Mrak se skládá z kapiček vody, které rozptylují světlo každé vlnové délky stejně. Krom toho mraky vrhají stíny (Tempfli et al., 2009).

1.2.3 Interakce záření s povrchem

V DPZ nás nejvíce zajímá odražená sluneční energie. Ne všechna energie se odráží, část energie může být absorbována a část i propuštěna naskrz. Podíl odražené, absorbované a propuštěné energie se bude lišit v závislosti na vlnové délce záření a typu materiálu z hlediska vlastností chemických (složení) i fyzikálních (povrch). Dvěma specifickými typy odrazu, jakým se energie odráží od cíle, jsou zrcadlový odraz a difúzní (neboli Lambertíánský) odraz. V reálném světě se obvykle vyskytuje kombinace obou typů (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Zrcadlový odraz se obvykle vyskytuje u materiálu, jehož povrch je hladký a veškerá energie je odrazena v jednom směru – může být způsoben například vlnou vodní hladinou nebo střechem skleníku. Výsledkem je velmi světlý bod („hot spot“) na snímku. K difúznímu odrazu dochází v situacích, když je povrch drsný a energie se odráží prakticky rovnoměrně ve všech směrech. Většina odrazů je však kombinací těchto 2 způsobů (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).



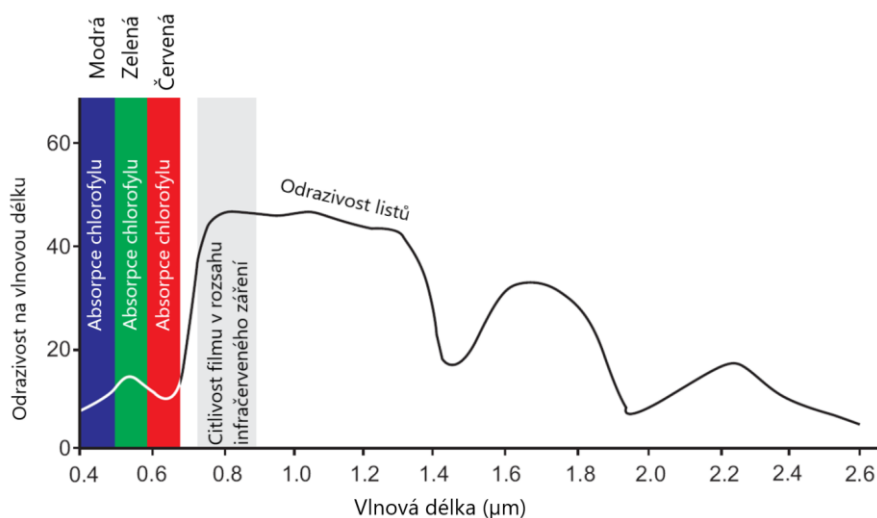
Obrázek 1.6: Tři typy odrazu (Zemek et al., 2014).

Spektrální křivky odrazivosti

Každý povrch má naprosto unikátní spektrální charakteristiku. Pro každý typový materiál lze stanovit tzv. křivku odrazivosti. Ta znázorňuje část dopadající energie, která se odráží či vyzařuje (křivka emisivity) v procentech jako funkce vlnové délky. Tak dokážeme klasifikovat povrchy, které jsou pro naše oči těžko rozlišitelné, do tematických skupin a jejich analýzou lze vyčíst některé (bio)chemické, strukturální či fyzikální vlastnosti. Dálkové senzory jsou citlivé na (úzké) rozsahy vlnových délek. Měření odrazivosti lze provádět laboratorně, anebo v terénu pomocí polního spektrometru. Křivky se vyhotovují pro optickou část EM spektra a ukládají do spektrálních knihoven (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Vegetace

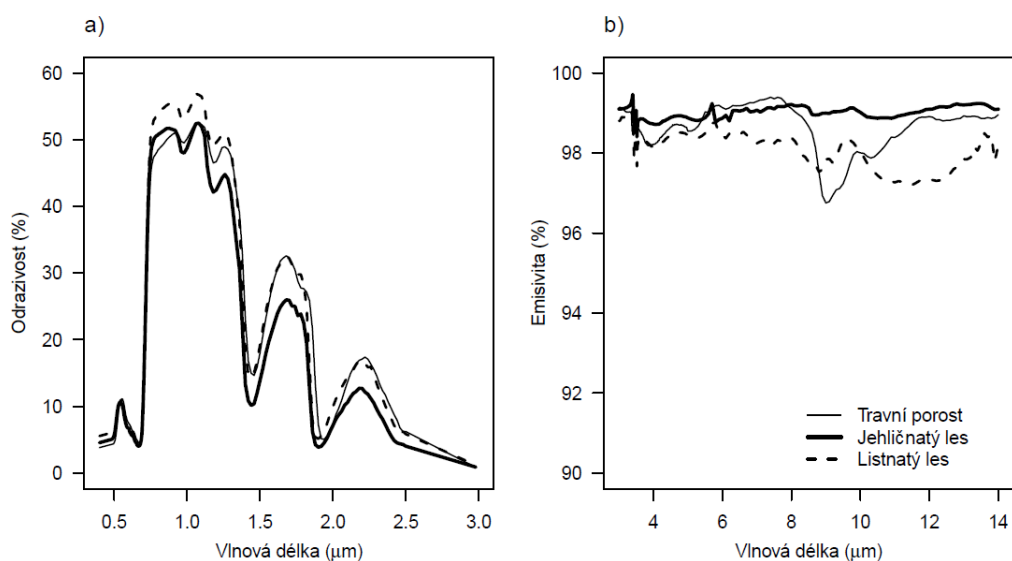
Odrazové charakteristiky vegetace závisí na orientaci a struktuře listů. Množství odražené energie pro konkrétní vlnovou délku závisí na pigmentaci listu, tloušťce a složení listu (buněčné struktuře) a na množství vody v listové tkáni. Obrázek 1.7 ukazuje ideální odrazovou křivku zdravé vegetace (Tempfli et al., 2009).



Obrázek 1.7: Spektrální křivka odrazivosti vegetace (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).

Ve viditelné části spektra je odraz modré a červené složky dopadajícího světla poměrně nízký, protože tyto části jsou rostlinnými pigmenty (hlavně chlorofylem kolem 450 až 660 nm, dále karotenoidy a xantofyly) absorbovány pro fotosyntézu, vegetace tedy odráží relativně více zeleného světla (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Odrazivost v rozmezí NIR je nejvyšší, jeho velikost závisí na uspořádání porostu a buněčné struktuře – záření se rozptýlí v mezofylu listů (Ayala-Silva a Beyl 2005; Tempfli et al., 2009). V MIR je odrazivost dána hlavně

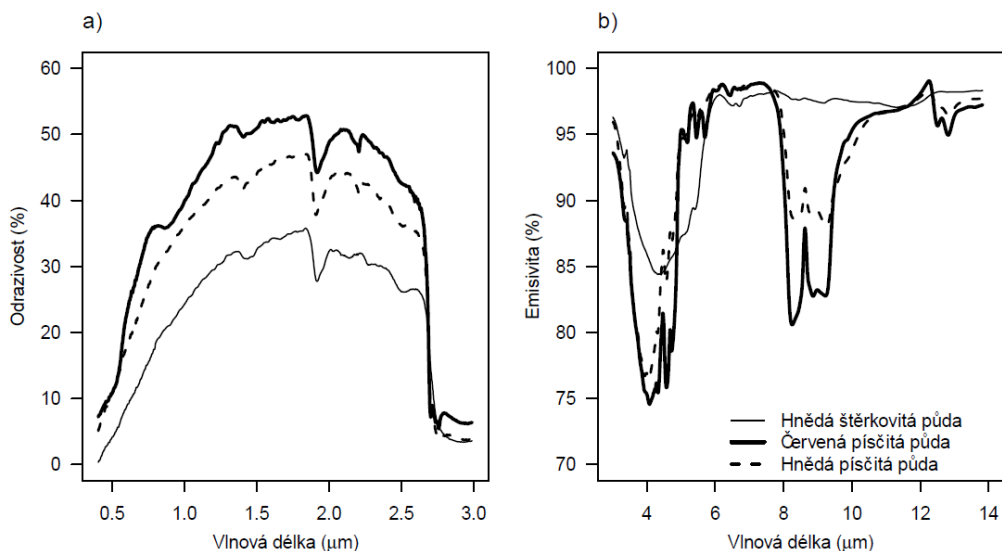
množstvím volné vody v listové tkáni – více volné vody má za následek menší odrazivost. Rozsahy vlnových délek kolem 1,2/1,45/1,94/2,5 μm se proto nazývají pásy absorpce vody. Projevují se zde také lignin, celulóza, škrob, proteiny či dusík (Zemek et al., 2014). Když listy vyschnou, změní se jejich barva a v této fázi nedochází k fotosyntéze. To způsobí, že se odrazivost ve SWIR zvýší, zatímco odrazivost NIR se sníží. DPZ může poskytnout informace o typu rostliny a o jejím zdravotním stavu (Tempfli et al, 2009). Tvar křivky emisivity v termální oblasti je v porovnání se spektrální křivkou odrazivosti plošší, jak vidíme na Obrázku 1.8 (Zemek et al., 2014):



Obrázek 1.8: Spektrální křivka odrazivosti travního porostu, jehličnatého a listnatého lesa (Zemek et al., 2014).

Půda

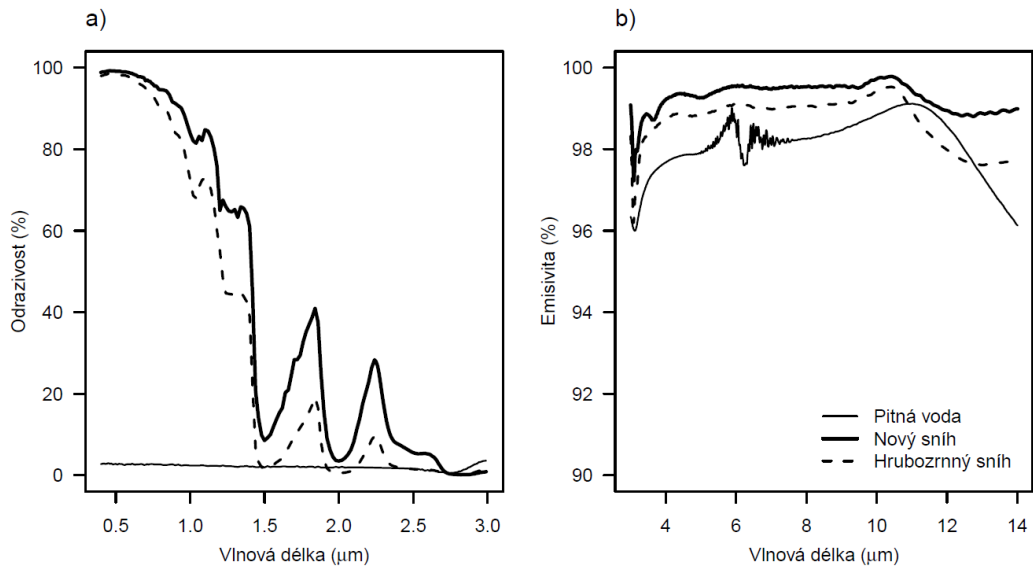
Odraz od holé půdy závisí na mnoha různých faktorech, až je obtížné stanovit jedinou typickou křivku odrazivosti půdy. Odrazivost ovlivňuje barva půdy, vlhkost půdy, přítomnost uhlíkatů a obsah oxidu železa (Tempfli et al., 2009). Dále to je třeba zrnitost půdy a obsah organické hmoty (Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.9: Spektrální křivka odrazivosti půd (Zemek et al., 2014).

Voda

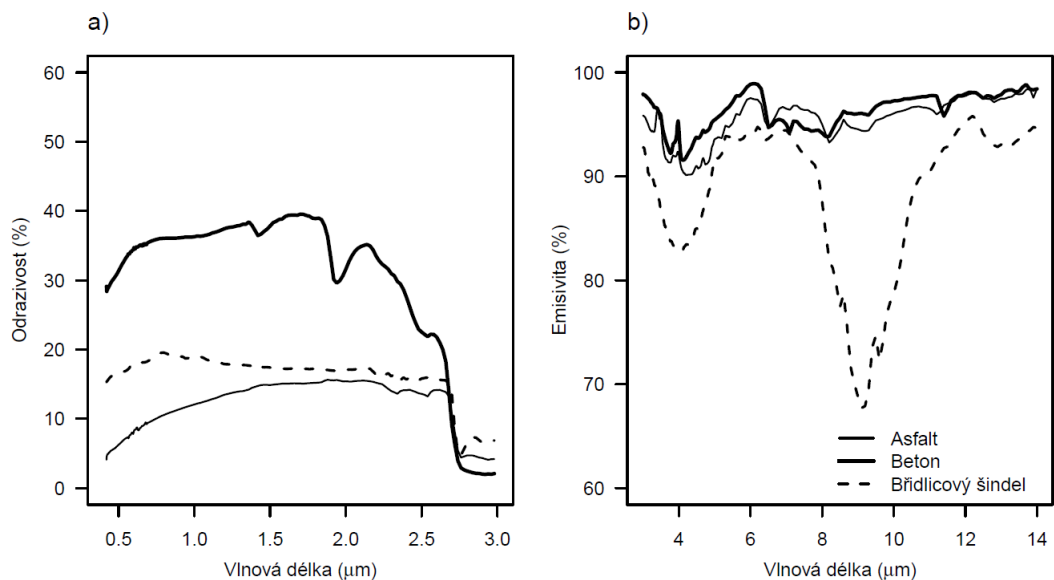
Ve srovnání s vegetací a půdou má voda nejnižší odrazivost. Vegetace odrazí až 50 %, půdy 30–40 %, zatímco voda odráží nanejvýš 10 % dopadající energie. Voda odráží energii EM záření ve viditelném rozsahu a částečně v rozsahu blízkého infračerveného záření (NIR). Při větší vlnové délce záření než 1,2 μm je veškerá energie absorbována. Nejvyšší odrazivosti dosahuje zakalená voda, příp. voda s planktonem a vodními rostlinami (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Jinak se chová sníh, který odráží většinu záření ve viditelné oblasti a pohlcuje naopak v NIR oblasti záření. V TIR je většina záření znovu vyzářena (Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.10: Spektrální křivka odrazivosti vody a sněhu (Zemek et al., 2014).

Umělé materiály

Umělých materiálů je značné množství. Tato data jsou velmi užitečná pro klasifikaci povrchů třeba z hyperspektrálních a multispektrálních dat zastavěných území. Na Obrázku 1.11 vidíme 3 nejběžnější stavební materiály – asfalt, beton a střešní krytinu (Zemek et al., 2014):



Obrázek 1.11: Spektrální křivka odrazivosti umělých materiálů (Zemek et al., 2014).

1.2.4 Snímání elektromagnetické energie

Záření je v DPZ pozorováno pro určité spektrální pásmo (pásmo vlnových délek). Senzory jako panchromatická kamera, radarový senzor nebo laserový skener měří pouze v jednom konkrétním pásmu, zatímco multispektrální skener nebo digitální kamera měří v několika spektrálních pásmech současně. Multispektrální senzory mají několik kanálů, každý pro jedno spektrální pásmo. Snímání v několika spektrálních pásmech současně nám umožňuje odhalit v jednom měření několik odlišných vlastností naráz. Zatímco hyperspektrální skener snímá mnohem více užších pásem. Říkáme, že má vyšší „spektrální rozlišení“ než multispektrální senzor (Tempfli et al., 2009).

Digitální fotoaparáty nebo multispektrální skenery jsou příklady senzorů, které místo fotografických používají elektronické detektory. Elektronický detektor (CCD, CMOS, fotodioda, detektor v pevné fázi ad.) je vyroben z polovodičového materiálu. Detektor přeměňuje dopadající fotony na elektrony, které následně putují formou elektrického proudu z desky ve formě náboje. Náboj je převeden na napětí (elektrický signál). Elektrický signál je „vzorkován“ a kvantován. Tento proces se nazývá A/D převod (analogově digitální) – výstupem je tzv. digitální číslo (DN). Starší senzory používaly 8bitový záznam, který umožňuje diferenciaci záření na 256 úrovní = 2^8 (tj. DN v rozsahu 0 až 255). Novější senzor WorldView-1 (spuštěn 2007) zaznamenává radiometrické rozlišení 11 bitů ($2^{11} = 2048$). ASTER zaznamenává radiometrické rozlišení pro viditelné spektrální pásmo s 8 bity, pro tepelné infračervené pásmo s 12 bity (Tempfli et al., 2009).

Běžná digitální kamera nezaznamenává hodnoty intenzity pro jedno (panchromatické) spektrální pásmo, ale pro tři pásma současně, a to pro červené, zelené a modré světlo, aby získala barvy. Tak fungují i naše oči, neboť i my máme tři druhy čípků, jeden pro každou primární barvu. Soubor dat získaný pro jeden snímek pořízený fotoaparátem proto obsahuje tři samostatné digitální obrázky (Tempfli et al., 2009).

Klasifikace senzorů

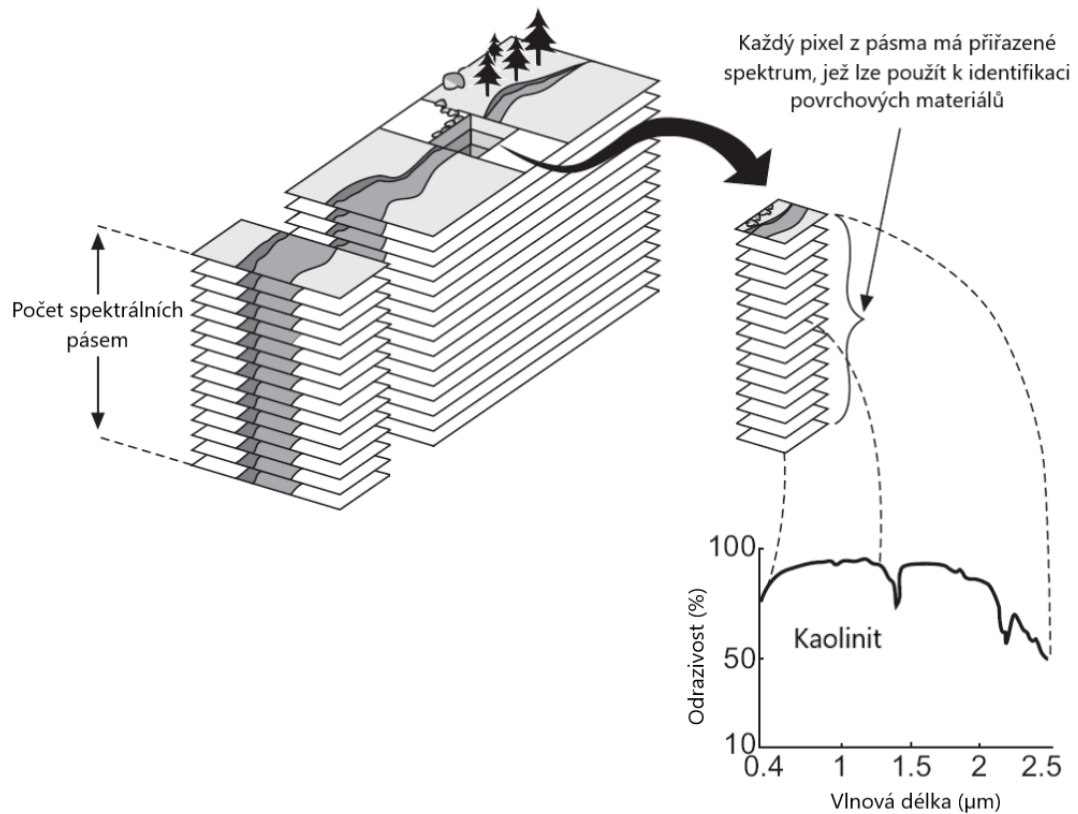
Můžeme rozlišit tři hlavní typy dálkových senzorů: výškoměry, spektrometry a radiometry. Laserové a radarové výškoměry jsou senzory neposkytující obraz (nezobrazovací), ty nám poskytují informace o nadmořské výšce vody a pevniny (Tempfli et al., 2009).

Tepelné senzory se také nazývají (zobrazovací) radiometry. Ty snímají v jednom širokém spektrálním pásmu, anebo pouze v několika pásmech s vysokým radiometrickým rozlišením. Panchromatické kamery a pasivní mikrovlnné senzory jsou dalšími příklady radiometrů. Radiometry se používají třeba k detekci požárů, při určování půdní vlhkosti, monitorování dynamiky ekosystémů, k analýze energetické bilance nad pevninou či v moři atd. (Tempfli et al., 2009).

Spektrometry měří v mnoha úzkých, souvislých spektrálních pásmech (až 224), mají tedy vysoké spektrální rozlišení, zatímco jejich prostorové rozlišení je střední až nízké. Hlavním využitím zobrazovacích spektrometrů je identifikace povrchových materiálů – od minerálního složení půd přes koncentraci látek v suspenzích povrchových vod až po obsah chlorofylu. Spektrometry gama záření mají své hlavní uplatnění při průzkumu nerostných surovin (Tempfli et al., 2009).

V podkapitole 1.2.3 jsme se dozvěděli, že zájmové materiály lze v DPZ rozlišit na základě jejich křivek spektrální odrazivosti. Křivky spektrální odrazivosti můžeme také nazývat "odrazová spektra". Většina multispektrálních senzorů získává data v několika relativně širokých pásmech vlnových délek, řádově 20 až 40 nm. Širokopásmové senzory nedostatečně vzorkují tyto informace a neumožňují využít celý dostupný spektrální rozlišovací potenciál. Zobrazovací spektrometry obvykle pořizují snímky ve velkém počtu spektrálních pásem (více než 100). Tato pásma jsou úzká (šířka menší než 10–20 nm), což umožňuje extrakci odrazových spekter v detailním měřítku pouhého pixelu. Pro tuto oblast dálkového průzkumu Země se vžily různé názvy – zobrazovací spektrometrie, zobrazovací spektroskopie a hyperspektrální zobrazování (Tempfli et al., 2009). Jediným poskytovatelem hyperspektrálních dat v České republice je Centrum výzkumu globální změny Akademie věd ČR, v. v. i. (CzechGlobe). Ke sběru dat je používáno fotogrammetrické letadlo Cessna 208B Grand Caravan a sada tří senzorů – CASI, SASI a TASI (od spol. ITRES, Ltd.) schopné pokrýt celou viditelnou a infračervenou oblast EM spektra (Zemek et al., 2014).

Na Obrázku 1.12 vidíme vzorový příklad hyperspektrálního zobrazení kaolinitu – pro každý pixel je možné přiřadit odrazové spektrum, které lze použít pro identifikaci zkoumaného materiálu (Tempfli et al., 2009).

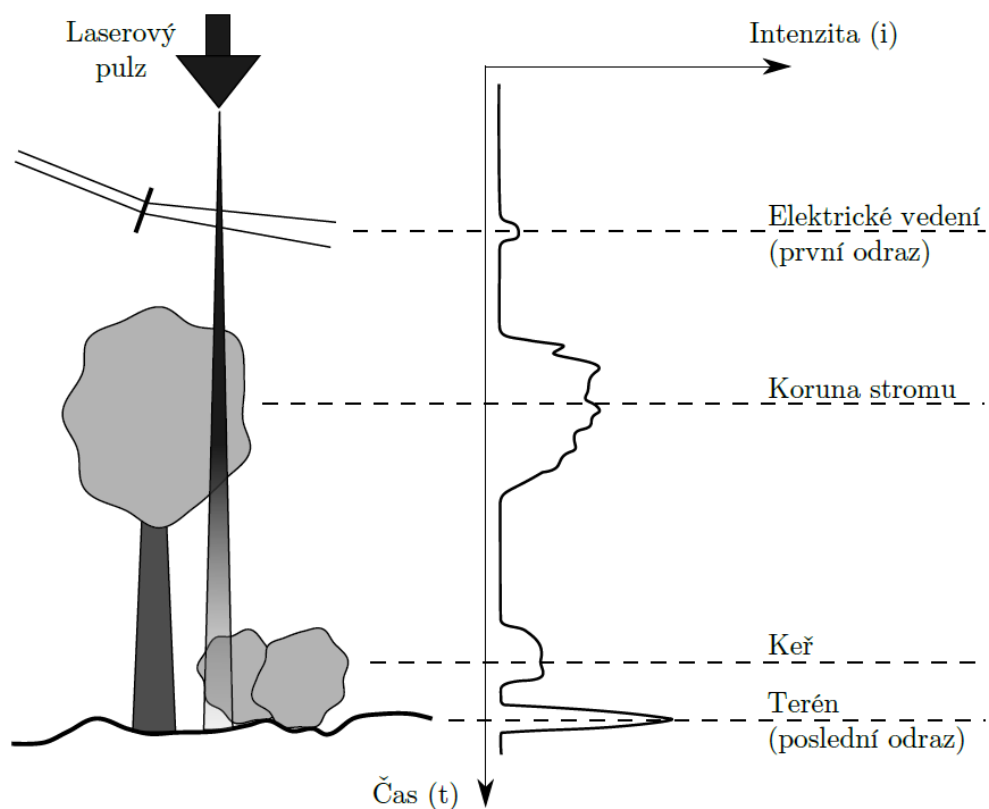


Obrázek 1.12: Koncept zobrazovací spektrometrie (hyperspektrální skenery)
(Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).

Předzpracování dat je obvykle prováděno poskytovatelem dat. To zahrnuje radiometrickou kalibraci, která převádí digitální hodnoty (DN) na fyzikální hodnotu radiance senzoru. Údaje o radiance na senzoru se korigují o atmosférické vlivy a převádějí na hodnoty reflektance – odrazivosti (či v případě termálních hyperspektrálních dat na hodnoty jasové teploty). Pak se záření koriguje geometricky – jde o kompenzace distorzí vzniklých pohybem letadla. Zejména pro vědecké účely je nutná přesná kalibrace senzorů a kontrola kvality provedených korekcí. Pro tento účel jsou nutná podpurná pozemní měření – měření odrazivosti, měření atmosférická a poziční měření kontrolních bodů. Pokud jsou kladeny nižší nároky na radiometrickou kvalitu dat, můžeme použít zjednodušené atmosférické korekce výpočtem tzv. zdánlivé odrazivosti (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Laserové skenery jsou skenovací variantou laserových dálkoměrů a laserových výškoměrů. Měří se vzdálenost od laserového přístroje k mnoha cílovým bodům za velmi krátký čas (např. 150 000 bodů za jednu sekundu). Laserové měření je často označováno jako LiDAR (Light Detection And Ranging). Laserové skenery jsou aktivní a vypouštějí EM pulzy, které se vrací zpět (Tempfli et al., 2009).

Zaznamenává se čas, intenzita, vlnová délka echa a amplituda. To umožňuje podat informaci o poloze a struktuře objektu zájmu. Kvalita signálu závisí na vlnové délce echa, úhlu dopadu, odrazivosti povrchu a atmosférických podmínkách. Velká část systémů využívá vlnové délky v oblasti blízkého infračerveného záření NIR, kteráž je méně ovlivněna atmosférickými podmínkami. Puls se odráží od země a jeho zpětný signál je zachycen fotodiodou – vzdálenost se spočítá jednoduše, pokud si uvědomíme, že i laserový paprsek se šíří rychlostí světla. Z hlediska snímání vegetace nedokáže projít paprsek přes list, ale dokáže vykreslit i velmi hustou korunu stromu (Tempfli et al., 2009; Zemek et al., 2014). Z Obrázku 1.13 je poznat, jak záznam vlny prochází překážkami až k terénu a signál se digitalizuje podle intenzity odraženého paprsku (Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.13: Digitalizace laserového signálu dle intenzity echa (Zemek et al., 2014).

Hlavní aplikací leteckého laserového skenování je vytváření digitálních modelů povrchu s vysokým rozlišením a digitálních modelů terénu. Letecké laserové skenování má, díky vlastnostem laserového záření, veliké výhody ve snímání oblastí s hustou vegetací nebo ve městské zástavbě (Tempfli et al., 2009).

1.3 Městské klima

Teplota vzduchu ve městech postupně roste, zejména pak v sídlech, která se rychle rozrůstají. Jednou z možných příčin těchto změn je razantní zmenšení plochy zeleně ve městech. Pochopení distribuce teploty povrchu země a její prostorové variace pomůže rozluštit její mechanismus a nalézt vhodné protiopatření. Městský tepelný ostrov jako důležitý charakter městské klimatické změny má významný dopad na život ve městě. Teplota povrchu země a energetická bilance mohou být ovlivněny vegetací, která ovlivňuje výměnu energie a vody mezi povrchem země a vzduchem (Kumar a Shekhar, 2015). V mírném pásmu dopadá na každý m² plochy ročně cca 1,2 MWh sluneční energie. V tropech a subtropích to může být i 3–4 MWh (Pokorný, 2001).

Jak potvrzuje studie z Číny, správné využívání zemědělské půdy podpořilo růst vegetace (změnu krajinného pokryvu). Ta zapříčiňuje snižování povrchových teplot a lokální zvýšení úhrnu srážek, vlny veder jsou méně časté. Dále snižují riziko povodní a dalších extrémů. Rozšíření vegetace významně ovlivňuje povrchové albedo a přerozdělování tepla a vlhkosti, což má podstatný vliv na energetickou bilanci Země a vodní cyklus. Ozelenění může usnadnit udržitelný rozvoj lidské společnosti i zemědělství (Yu et al., 2020).

1.3.1 Vliv typů povrchů na teplotu

Terénní měření provedené v Tel-Avivu ukázalo, že asfaltové silnice a střechy byly nejteplejšími městskými prvky během dne, zatímco stromy měly nejvyšší povrchovou teplotu v noci (Chudnovsky et al., 2004). Byly zkoumány účinky stromů na teplotu a vlhkost vzduchu v horkém a vlhkém klimatu z hlediska různých faktorů, jako jsou druhy stromů, prostředí a fyzikální vlastnosti stromů. Výsledky ukázaly, že teploty byly sníženy a vlhkost byla zvýšena pod korunami všech stromů, avšak rozdíl mezi druhy byl nepatrný a shluky stromů neměly větší účinek než jednotlivé stromy (Souch a Souch, 1993). Byl hodnocen vliv různých typů zeleně na potřeby chlazení budov a prokázali, že obecně zelené stěny a stromy se zdají být nejúčinnějšími prvky v chlazení městského okolí (Morille et al., 2015). Vodní prostředí vytváří pokles teploty vzduchu ve dne, ale v noci je to naopak, neboť vysoká tepelná kapacita vody brání rychlému ochlazení kapaliny (Nishimimura et al., 1998). Dlažby z betonových a žulových desek vystavené přímému slunečnímu záření zvyšovaly teplotu atmosféry nad nimi po celý horký letní den. To naznačuje,

že takové nepropustné umělé povrchy lze považovat za „zdroje tepla“ pro letní městské prostředí a používání nepropustných chodníků by mělo být omezeno. Ve srovnání s otevřeným trávníkem měla tráva zastíněná stromy během dne větší chladivý účinek, ale v noci vykazovala mírný ohřívací účinek. Směs keřů a tráv vykazovala vyšší chladičí účinnost během noci. Výsledky naznačují, že vícevrstvá zeleň složená z tráv, keřů a stromů může účinně zvýšit chladičí efekt zeleně. Vodní nádrž snížila teplotu vzduchu během dne, ale snížila rychlost ochlazování atmosféry nad ní během noci (Yang a Zhao, 2015).

1.3.2 Městské tepelné ostrovy

Zastavěné plochy se vyznačují vysokou akumulací tepla během dne. To je v noci opětovně vyzařováno a vytváří pozitivně tepelnou anomálii nad městskou zástavbou, jev je známý jako městský tepelný ostrov (UHI). Navíc znečištění ovzduší a antropogenní zdroje tepla (např. doprava, průmyslová spotřeba energie) zvyšují tepelnou zátěž uvnitř městské zástavby. Vrstva teplého vzduchu, která se vytváří nad městem, je přerušována vlivem chladného efektu parků, jezer a jiných volných vodních ploch (Papangelis, 2012).

Městský tepelný ostrov (Urban Heat Island – UHI) má negativní dopad na zdraví obyvatel měst zvýšením průměrných teplot. Intenzitu efektu UHI ovlivňuje geometrie městské zástavby a množství přítomného vegetačního krytu. Studie prokázala, že intenzita UHI efektu je vyšší v noci než během dne, průměrné teploty ve městě se za desítku let měření zvětšily řádově o jednotky stupňů Celsia (Chapman et al., 2018). Díky efektu UHI může být městská oblast v průměru o 1–6 °C teplejší než blízké mimoměstské oblasti (Dimoudi et al., 2013).

Obzvláště pak během vln extrémních veder se městské tepelné ostrovy rozrostly. Studie Zitera a jeho kolegů ukázala, že města jsou spíše tepelným souostrovím než jedním tepelným ostrovem, především během extrémních tepelných událostí, což znamená, že vnitroměstské rozdíly v teplotě vzduchu jsou často srovnatelné nebo i větší než rozdíly v teplotě vzduchu pozorované mezi přilehlými městskými a venkovskými lokalitami (Ziter et al. 2019).

Absence vegetačního krytu měla největší vliv na růst průměrných teplot ve městě. Udržování a obnova vegetace je proto klíčovým faktorem pro zmírnění efektu UHI (Chapman et al., 2018). Dále se doporučuje ke zmírnění dopadu UHI použití zelených (s vegetací) a bílých (odrazivých) střech – bílé střechy zvyšují albedo. Ozelenění stěn budov a parkovišť přispěje k redukci teplot také,

příp. navržení nových materiálů, ze kterých je vyrobena dlažba. Tyto adaptační strategie mají další environmentální a socioekonomické přínosy, jako je zlepšení kvality ovzduší a třeba lepší nakládání s dešťovou vodou (Adachi et al., 2014; Li et al., 2015). Ve městech zvýšené teploty spojené s UHI mají negativní dopad na zdraví obyvatel, zejména starších a ekonomicky znevýhodněných osob, a vést k nárůstu nemocí a úmrtí souvisejících s horkem (Chapman et al., 2018). Obzvláště v obdobích veder v letních měsících v jižních a středních zeměpisných šířkách se teplotní extrémny na zdraví projevují nejvíce. Zvýšený výskyt úpalů a úmrtnosti jsme mohli pozorovat při vlně veder v roce 2003 v celé západní a jižní Evropě. Také při méně závažných událostech, jako byla vlna veder v roce 1995 ve Velké Británii a vlna veder v roce 1994 v Nizozemsku, statistiky vykazovaly vyšší úmrtnost (Kovats a Hajat, 2008). Extrémní vedra jsou v současné době ve Spojených státech nejčastější příčinou úmrtí souvisejících s počasím (Weinberger et al. 2017).

UHI mají zvýšené nároky na spotřebu elektrické energie (chlazení i vytápění) a vody (Sailor a Pavlova, 2003).

UHI nastává, když jsou městské oblasti teplejší než venkovské. A zvyšuje se s rostoucí velikostí a hustotou městské zástavby. Hlavními mechanismy podporujícími UHI jsou snížení celkové evapotranspirace (součet výparu a transpirace) v důsledku ztráty vegetace, zvýšení antropogenního uvolňování tepla z lidské činnosti (tj. používání vozidel, vytápění a chlazení budov), změny albeda ze střech budov a absorpce záření tmavě zbarvenými povrchy, zadržení většího množství záření v městském údolí, morfologie zástavby – ovlivňuje stínění a pohyb vzduchu – vítr, fyzikální vlastnosti materiálů, využití pozemků atp. (Arnfield, 2003; Farshid et al., 2019). Velikost UHI je ovlivněna zvyšujícím se využitím městské půdy. To zahrnuje výškové budovy a snížený podíl vegetace (Adachi et al., 2014). S rostoucí teplotou se zvyšuje odpařování v místech s dostatečnou dostupností vody, městské oblasti však mají omezenou dostupnost vody pro evapotranspiraci (Li et al., 2015). Geometrie města je důležitá pro ovlivnění mikroklimatu tím způsobem, aby bylo umožněno přijatelné proudění vzduchu (Dimoudi et al., 2013).

Stromy ovlivňují teploty ve městech prostřednictvím stínů, snižování rychlosti větru a vydávanou vlhkostí potřebnou pro evapotranspiraci. Během dne budou oblasti s vysokými stromy chladnější než otevřené oblasti bez stromů v důsledku vyšší míry evapotranspirace a hlubšího stínu. Během večera se budou vysoké stromy ochlazovat pomaleji než travnaté plochy. Otevřený prostor má tendenci být přes den

teplejší, ale po západu slunce se zase rychleji ochladí (Papangelis et al., 2012; Spronken-Smith a Oke, 1998). Travnatá plocha v počátku dne více chladí, než se vyčerpá půdní vlhkost (Li et al., 2015). Stručně řečeno z toho vyplývá, že tráva a stromy mají potenciál snižovat gradienty teploty v městských oblastech, přičemž stromové parky jsou efektivnější během dne a otevřené travnaté plochy v noci. Expanze plochy města zvětšuje oblast ovlivněnou UHI, zatímco zhuštění městských ploch má tendenci zvyšovat intenzitu UHI (Adachi et al., 2014).

Řecká studie odhadla ochlazovací účinek nahrazením průmyslové oblasti velkým zeleným parkem v Aténách. Ukázalo se, že park měl v nočních hodinách chladicí účinek o více než 5 °C vyšší ve srovnání s původním průmyslovým využitím území. Noční ochlazovací efekt se rozšířil i do okolí a v oblasti kolem hranic parku vyvolal snížení teplot o 0,5 až 1,2 °C (Papangelis et al., 2012). Kromě ochlazování vlastního prostoru jsou městské zelené plochy schopny ovlivňovat i okolí a tento jev se nazývá chladicí efekt městské zeleně. Nejvyšší dosah a nejvyšší intenzitu chladicího efektu vykazují parky s rozlohou větší než 10 ha. V průměru se teplota snížila o 1–2 °C až do vzdálenosti 350 m od hranic parku. Pro snížení efektu UHI je možné tedy použít velké i malé městské parky, městské lesy, městské zahrady, pouliční stromy a aleje, zelené fasády ad. (Farshid, 2019).

Studie z Číny z města Fu-čou zjistila, že nejúčinnějšími tvary v ochlazovacím účinku parků jsou kruhové a obdélníkové. Plochy zeleně spojené s vodními plochami zintenzivňují účinky proti efektu UHI, zatímco plochy travních porostů vykazují nejslabší protiúčinky na efekt UHI (Yu et al., 2017).

Je důležité snížit emise skleníkových plynů, aby se zmírnilo budoucí globální oteplování. Městské oblasti mají 2/3 podílu na celosvětové spotřebě energie a produkují přes 70 % celosvětových emisí CO₂. Zmírnění efektu městských tepelných ostrovů se pravděpodobně stane adaptací na celkové globální oteplování. Jednou z výhod kompaktní formy měst je možná efektivita využívání energie a potenciální zvýšení aktivního využívání systémů veřejné dopravy oproti venkovu, což snižuje emise skleníkových plynů (Adachi et al., 2014).

1.3.3 Vliv vegetace na teplotu

Vliv stromů na městské klima prostřednictvím zastínění je dán morfologickými vlastnostmi stromů, zatímco transpirace stromů je převážně fyziologický proces závislý na podmínkách prostředí (Winbourne et al., 2020).

Chladicí efekt stromů je široce známý pojem. Strom chladí dvojitým efektem. Zaprvé stromy snižují povrchové teploty tím, že blokují přichodící denní sluneční záření, které nedosahuje na zem, například na chodníky, které mají vysokou schopnost absorpce tepla (neboli povrchové akumulace). Toto zastínění tedy má za následek menší absorpci a akumulaci přicházejícího krátkovlnného záření povrchem, čímž se sníží i zpětná emise dlouhovlnného záření z povrchů do atmosféry, a tím se nezvýší místní teplota vzduchu. Studie ukazují, že zastínění stromy může vést ke snížení krátkovlnného záření dopadajícího na daný povrch o 60–90 %, přičemž rozdíly v povrchových teplotách mezi zastíněnými plochami a osluněnými asfaltovými plochami dosahují i 20 °C (Rahman et al., 2020). Vliv zastínění na povrchové teploty se liší v závislosti na typu podkladového povrchu – na každou jednotku indexu listové plochy koruny se travnatý povrch ochladil o 1,2–3 °C, zatímco asfaltový povrch se ochladil o 5–6 °C (Gillner et al., 2015). Přestože stín stromů snižuje teplotu vzduchu v teplých a slunečných dnech pouze o 1–2 °C, vnímané teploty jsou ve stínu výrazně nižší. Měření teploty kulovým teploměrem, který integruje konvekci a radiaci, je užitečné pro hodnocení tepelného komfortu člověka (Thorsson et al., 2007). Vnímanou teplotu travnatého povrchu lze snížit o 5–7 °C. U betonu je efekt ještě výraznější, neboť zastínění stromy může snížit jeho pocitovou teplotu až o 12 °C (Armson et al., 2012).

Druhým způsobem, jak stromy ochlazují prostředí, je proces transpirace, při kterém je voda přijímána kořeny stromů, pohybuje se kmenem a následně se vypařuje přes listové průduchy. Evapotranspirace zahrnuje transpiraci a odpařování vody ze všech městských povrchů (např. z povrchu listů, jezer a půdy). Tepelná energie (tj. citelné teplo), která by jinak zvyšovala teplotu vzduchu, je spotřebována ve formě latentního tepla při fázové přeměně vody transpirované stromy v páru, přičemž advekcí ochlazuje povrch listů a teplotu vzduchu v okolí (Winbourne et al., 2020). Bylo prokázáno, že vliv transpirace na teplotu vzduchu se pohybuje v rozmezí 1 až 8 °C (Georgi a Zafiriadis, 2006). Jediný velký strom (např. lípa, dub, kaštan) s průměrem koruny 10 m odpaří v létě až 400 litrů vody a chladí výkonem 23 kW během dne. Latentní teplo by z tolika litrů vody činilo 278 kWh (přepočítáno z měrného skupenského tepla výparu 2,44 MJ při 20 °C), přičemž na průmět koruny o 80 m² dopadá až 450 kWh sluneční energie. Zbytek energie, cca 20–30 %, se odrazí, přemění na teplo, nebo je absorbován půdou (Pokorný, 2001). Biofyzikální faktory, které pozitivně ovlivňují míru transpirace, jsou např. větší dostupnost živin

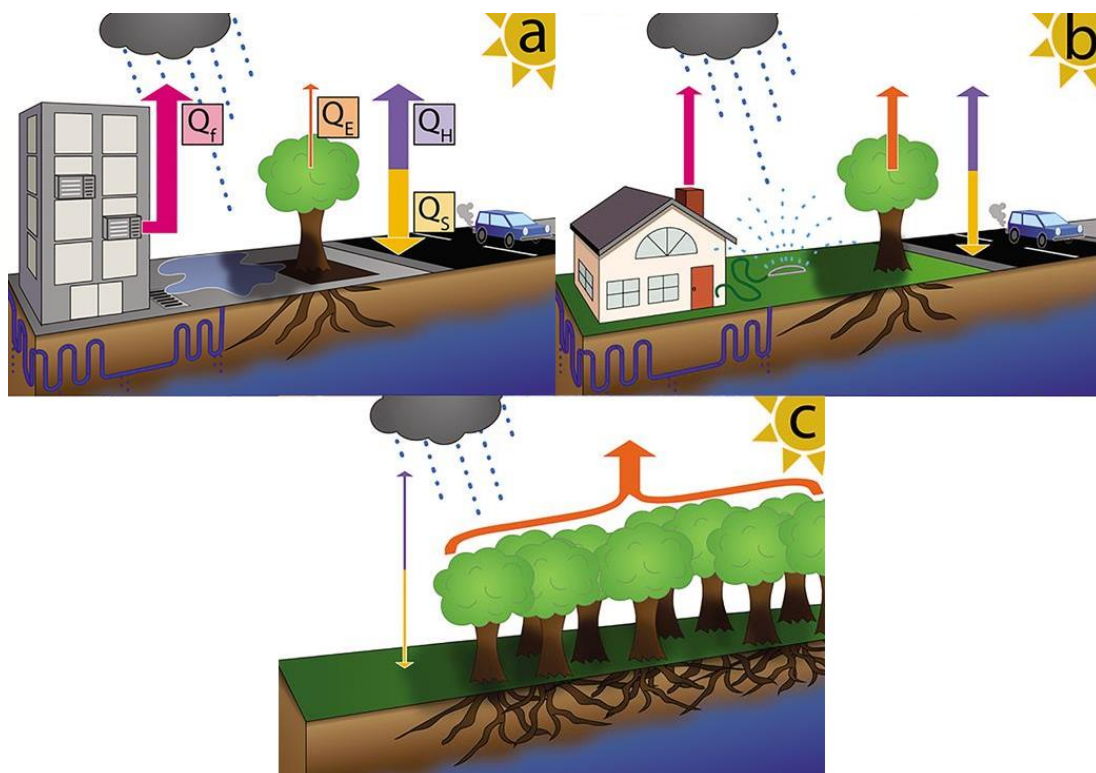
(atmosférická depozice a hnojiva), světla a vody, vyšší teploty vzduchu a delší vegetační období mohou společně vytvořit z městských oblastí oázu pro stromy (Melaas et al., 2016, Rao et al., 2014). Na druhou stranu mohou městské oblasti obsahovat také stresové prostředí, které snižuje rychlost růstu a transpirace, a tím i ochlazovací účinky městských stromů. Přílišná expozice světla, teploty vzduchu překračující optimální rozsah pro fotosyntézu, vystavení invazním škůdcům, omezená dostupnost vody (vysychání půdy nebo nedostatek závlahy) a omezená možnost hlubšího zakořenění mohou působit snížením rychlosti růstu a transpirace stromů (Roman a Scatena, 2011, Wang et al. 2017). Další stresory, které ovlivňují funkce rostlin, jsou vyšší salinita půdy v důsledku infiltrace solí ze silnic, kyselé půdní podmínky a toxicita těžkých kovů v půdě (Pickett a Cadenasso, 2009).

Nejvyšší teplota vzduchu a zároveň nejnižší vlhkost jsou tradičně v pevninském podnebí pozorovány v pozdním odpoledni, naopak nejnižší teploty a nejvyšší vlhkost těsně před východem slunce (Gillner et al., 2015). Stromový porost však může také zvyšovat noční teploty vzduchu ve srovnání s identickými oblastmi bez něj, protože stromový porost může zachycovat dlouhovlnné záření v atmosféře pod korunou (Ziter et al., 2019). Vztah mezi teplotou vzduchu a teplotou samotné koruny je také druhově závislý (Leuzinger et al., 2009).

Podle studie z Drážďan v Německu stromy líska (*Corylus*) a lípa (*Tilia*) vykazují nejnižší teploty vzduchu pod korunami a nejvyšší hodnoty relativní vlhkosti, měly také nejrozsáhlejší listovou plochu a největší transpiraci – tyto stromy se hodí do městských lokalit s vysokou tepelnou zátěží. Jinany (*Ginkgo*) a jilmy (*Ulmus*) by eventuálně mohly být situovány v lokalitách s vyššími nároky na teplo, např. na severně a západně exponovaných místech před budovami (Gillner et al., 2015). Jehličnany jsou v zimním období více ohroženy používáním posypové soli a často citlivě reagují na znečištění ovzduší, z těchto důvodů jsou na stanovištích uličních stromořadí častější listnaté stromy (Goodrich a Jacobi, 2012).

Na Obrázku 1.14 je schéma energetické bilance a vodní bilance pro 3 modelová prostředí v městských oblastech – a) hustě zastavená městská čtvrť, b) obytná čtvrť, c) městský les. Povrchová energetická bilance je výsledkem výměny energie ($W \cdot m^{-2}$) způsobené přichozí zářením (radiací), šířením tepla prouděním (konvekcí) a vedením v tělese (kondukcí) mezi složkami zemského povrchu a atmosférou. Čisté toky záření (Q^*) se skládají z toku citelného tepla (Q_H), toku latentního tepla (Q_E), změn v akumulaci tepla na povrchu (ΔQ_S). Kromě toho je zde tepelná energie

produkovaná z antropogenních zdrojů (Q_f), jako jsou vozidla a systémy vytápění a chlazení budov (Winbourne et al., 2020).



Obrázek 1.14: Energetické bilance 3 modelových městských oblastí (Winbourne et al., 2020).

Citelný tepelný tok (Q_H) je řízen teplotními rozdíly mezi povrchem a atmosférou. Latentní tepelný tok (Q_E) je poháněn energií spotřebovanou na odpařování vody z povrchu, zejména z korun stromů v důsledku transpirace stromů. Akumulace tepla (ΔQ_S) se na různých městských površích liší. Na každém příkladu jsou zobrazeny hlavní toky energie, přičemž objemnost šipek demonstruje variabilitu velikosti jednotlivých toků energie. Směr šipek představuje pouze kladné toky. Velikost latentního tepelného toku je silně ovlivněna dostupností vody v jednotlivých městských lokalitách a také hustotou korun stromů (Winbourne et al., 2020).

Z příkladu a) je patrné, že pouliční stromy v husté městské zástavbě jsou vystaveny vysoké tepelné zátěži a zvýšené atmosférické suchosti. Mají jen omezeně dostupnou vodu kvůli nepropustným vrstvám, které brání infiltraci dešťové vody do půdy. Ve scéně b) vidíme, že v obytných oblastech jsou často stromy lépe zavlažovány srážkovou vodou. V separátních lesních celcích (c) a třeba i v nezavlažovaných parcích jsou stromy závislé na zachytávání srážek a zadržování

půdní vlhkosti, v některých případech ale mohou mít také přístup k zásobám podzemní vody (Winbourne et al., 2020).

Kromě toho mohou stromy nepřímo ochlazovat místní teplotu vzduchu tím, že snižují závislost lidí využívání klimatizačních zařízení. Ta totiž krátkodobě vypouštějí do venkovního prostředí odpadní teplo (Stratópoulos et al. 2018). Dlouhodobě pak zvyšují teploty prostřednictvím emisí oxidu uhličitého (CO₂) a dalších skleníkových plynů (de Munck et al. 2012). V celosvětovém měřítku spotřebovávají města více než 75 % elektrické energie a očekává se, že spotřeba energie ve městech se do roku 2050 zvýší o 25–58 % v důsledku předpokládaného rychlého nárůstu počtu obyvatel měst a oteplování klimatu (van Ruijven et al. 2019).

Teploty povrchu ve městech se nejčastěji kvantifikují jako část městské krajiny pomocí přístrojů satelitního DPZ, které mají často rozlišení větší než 30 metrů. Teploty vzduchu se měří nasazením metrologických přístrojů, které mají zpravidla méně souvislé pokrytí celé krajiny. Jemnější prostorové rozlišení pomocí pozemního DPZ lépe zachycuje heterogenitu místních teplot, které jsou pro tepelnou pohodu lidí důležitější než produkty satelitního DPZ (Winbourne et al., 2020).

Údaje z pozorování a výsledky modelování ukazují, že zvýšení pokryvu korun stromů vede ke snížení toku citelného tepla a zvýšení toku latentního tepla. Poměr citelného ku latentnímu tepelnému toku je znám jako Bowenův poměr. Vyšší Bowenův poměr znamená silnější ohřev okolního vzduchu potažmo atmosféry, kterého se chceme vyvarovat. Ochlazující účinky korun stromů jsou zesilovány nárůstem zavlažování. S rostoucím pokrytím koruny stromu se zvyšuje i tok latentního tepla, což je indikováno poklesem Bowenova poměru (Best a Grimmond, 2016).

1.3.4 Další funkce vegetace

Terénní studie ukázaly, že husté koruny stromů a pravidelné uspořádání stromů snižují hluk z bodového zdroje. V městských oblastech je zdrojů hluku více, ale porost je málokdy zapojen hustě (Zhao et al., 2021). Keře a stromy s bohatými korunami snižují hluk díky rozptylu akustického vlnění z důvodu hustého olistění a větvení, příp. díky jeho pohlcování (Fang a Ling, 2003). Dlouhodobé vystavení hluku v prostředí může vést k poruchám spánku, hypertenzi a kardiovaskulárním onemocněním (Clark a Paunovic, 2018). Bylo prokázáno, že středně husté až husté vegetační bariéry u silnic mohou snížit hluk z dopravy o 9–11 dB (až o 50 %), přičemž největší přínos pro snížení hluku se nachází v 5 m vzdáleném pásu stromů

od zdroje zvuku (více než 10 metrů ztrácí efektivnost). Záleží také na velikosti kmene (čím větší, tím lepší) a jestli je půda měkkou a porézní (lépe pohlcuje vibrace). Tak jako u teploty zde hraje roli i psychologický faktor, kdy se vnímané snížené hluku může zdát větší než reálné (Ow a Ghosh, 2017). Důležitými podmínkami pro pochopení šíření zvuku prostředím jsou ve městě také údaje o prostorové morfologické struktuře městských prvků, včetně povrchů silnic a materiálů fasád a orientace budov, které mohou ovlivnit pohltivost, odrazivost a průchodnost hladin hluku (Sakieh et al., 2017).

LiDAR je výkonným nástrojem dálkového průzkumu, který nám umožňuje lépe porozumět tlumícím účinkům vlastností stromů na hluk v životním prostředí. Data mračna bodů LiDAR lze využít nejen k rozeznávání jednotlivých stromů na velkých geografických plochách, ale také ke kvantifikaci parametrů jednotlivých stromů ve třech rozměrech (např. výška stromu a průměr a objem koruny) (Liu et al., 2017).

Systémy sídelní zeleně plní široké ekologické funkce, jimiž je např. stínění, termoregulace, retence vody a zvlhčování vzduchu, zachycování prachu, tvorba kyslíku, jímání oxidu uhličitého z atmosféry, a tím ukládání uhlíku do biomasy rostlin, zvyšování biodiverzity území (Liberec.cz, 2019).

1.4 Globální změna klimatu a znečištění ovzduší

Neustálý nárůst antropogenních emisí oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů po průmyslové revoluci dramaticky mění klima. Stejně jako v jiných částech světa dochází i v Evropě k postupnému oteplování (+0,90 °C za období 1901–2005) a k nárůstu průměrných srážek, s výjimkou některých oblastí (např. Středomoří), které se stávají suchými. Klimatické scénáře předpovídají, že oteplování bude spojeno s častějšími, intenzivnějšími a déle trvajícímí vlnami veder, zejména v jižní a východní Evropě, a také v oblastech, které nejsou v současnosti na tyto jevy náchylné. Souběžně s tím se zvýší intenzita krátkodobých srážek (1–2 dny) v oblastech, jako je Středomoří, kde se rovněž očekává pokles průměrného úhrnu srážek. Vyšší intenzita srážek zvýší pravděpodobnost povodní, zejména bleskových, v celé Evropě, zatímco výskyt vln veder a sucha zvýší riziko požárů a rozšiřování pouští, zejména v okolí Středozemního moře (De Sario et al., 2013).

Kvalita ovzduší a změna klimatu spolu úzce souvisejí, protože skleníkové plyny a látky znečišťující ovzduší pocházejí ze stejného zdroje, ze spalování fosilních paliv (Jacob a Winner, 2009). Při spalovacích procesech totiž vznikají jak skleníkové

plyny, jako je oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a oxid dusný (N₂O), tak látky znečišťující ovzduší, jako jsou pevné částice, oxid siřičitý (SO₂), oxid dusičitý (NO₂) a oxid uhelnatý (CO) (De Sario et al., 2013). Očekává se, že budoucí klima bude spíše stagnující, a to v důsledku slabší globální cirkulace a klesající četnosti cyklón ve středních šířkách. Pozorovaná korelace mezi výskytem přízemního ozonu a vyšší teplotou ve znečištěných oblastech ukazuje na škodlivý vliv oteplování. Samotná změna klimatu zvýší v příštích desetiletích množství letního přízemního ozonu ve znečištěných regionech o 1–10 ppb, přičemž největší dopady se projeví v městských oblastech (Jacob a Winner, 2009).

Dvě látky znečišťující ovzduší, které nejvíce škodí veřejnému zdraví, jsou přízemní ozon a pevné částice. Znečištění ozonem je převážně letním problémem vzhledem k fotochemické povaze zdroje – jsou potřeba vysoké teploty a jasné sluneční světlo (Engardt et al., 2009). Vysoké teploty jsou spojeny se suchým klimatem během vln veder, které působí na vegetaci tepelným stresem a odpovědí je snížená absorpce ozonu průduchy rostlin (Ordonez et al., 2005). Hlavním globálním pohlcovačem troposférického ozonu je fotolýza zelených rostlin za přítomnosti vodní páry, důležitým pohlcovačem ozonu je také absorpce vegetací. Vliv změny klimatu na pevné částice je složitější než v případě ozonu. Lesní požáry podporované změnou klimatu a obecně spalování by se mohly stát stále významnějším zdrojem pevných částic. Pevné částice sestávají ze síranů, dusičnanů, organického uhlíku, elementárního uhlíku, půdního prachu a mořské soli. První čtyři vyjmenované složky jsou většinou přítomny ve formě jemných částic o průměru menším než 2,5 μm a ty jsou pro lidské zdraví nejzávažnější. Pevné částice jsou odváděny (pohlcovány) srážkami (Jacob a Winner, 2009).

2 Metodika

2.1 Cíle práce

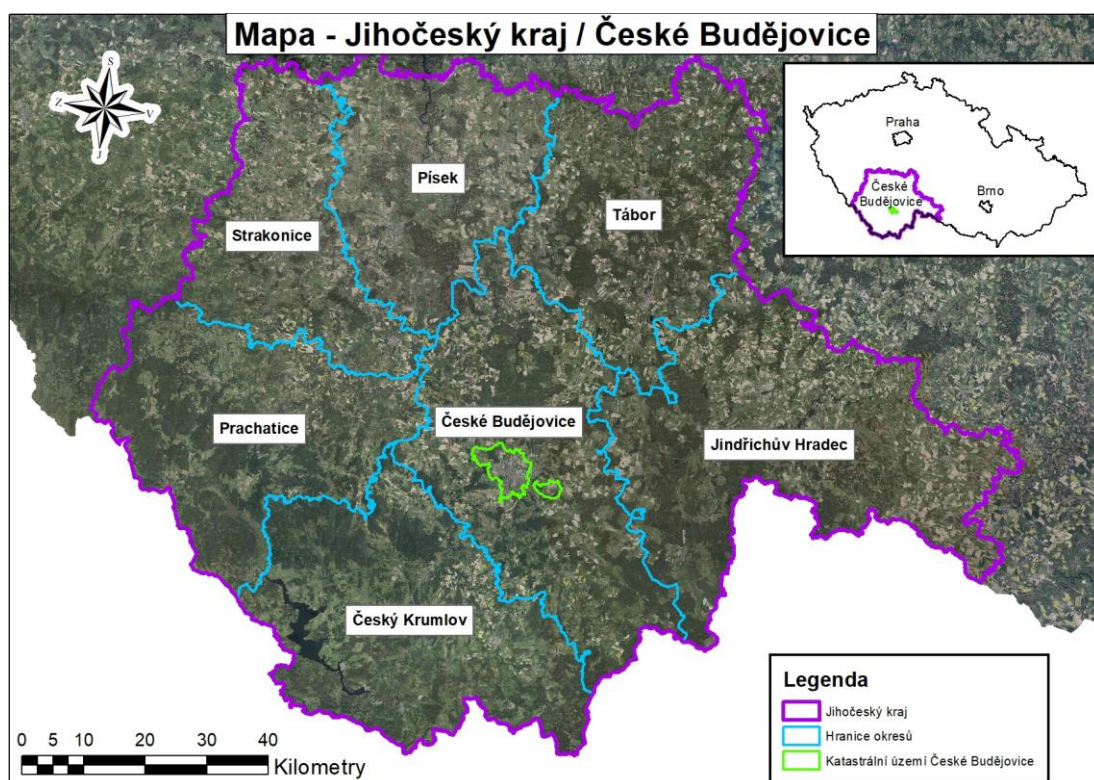
Cílem praktické části práce je zhodnotit prostorové rozložení povrchových teplot ve třech vybraných charakteristických lokalitách města České Budějovice v době extrémních letních veder v závislosti na jednotlivých třídách pokryvu (zejména se jedná o různé druhy sídelní vegetace, ale také o různé typy materiálů).

2.2 Popis území – České Budějovice

Statutární město České Budějovice (německy Budweis) je hospodářskou, správní a kulturní metropolí Jihočeského kraje s necelými 95 tisíci obyvateli, rozlohou 5 560 ha a jsou situovány v nadmořské výšce 381 m. První písemná zmínka o městě pochází z roku 1265, kdy bylo město založeno českým králem Přemyslem Otakarem II. Město České Budějovice se dělí do 7 správních částí. Leží na soutoku řek Vltavy a Malše v jihovýchodní části Českobudějovické pánve, která je bohatá na rybníky. Jsou sídlem několika vysokých škol a také významných firem, jako jsou např. Koh-i-noor Hardtmuth, a.s., Budějovický Budvar, n.p., Robert Bosch, s.r.o. a Madeta, a.s. Nalezneme zde Jihočeské divadlo, Malé divadlo, Jihočeské muzeum, Muzeum koněspřežky, Jihočeské motocyklové muzeum a Muzeum energetiky, Alšovu Jihočeskou galerii, můžeme navštívit Výstaviště České Budějovice, českobudějovickou hvězdárnu a planetárium. Je zde taktéž několik kin, kulturních domů, knihoven, vzdělávacích center, hudebních klubů a konzervatoř. Ve městě je k dispozici řada sportovních zařízení jako např. fotbalový stadion Střelecký ostrov, Budvar Aréna, Plavecký stadion, letní plovárna, zimní stadion, sportovní hala další. Městem prochází silnice I. třídy č. 3, 20 a 34 a silnice II. třídy č. 156 a 157. Ve městě je jedno hlavní vlakové nádraží a několik menších železničních zastávek. Městskou hromadnou dopravu v rámci Českých Budějovic v současnosti zajišťuje Dopravní podnik města České Budějovice, a.s. jejímž výlučným vlastníkem je město a má už více než staletou historii. V areálu bývalého vojenského letiště v Plané u Českých Budějovic je veřejné vnitrostátní a neveřejné mezinárodní Letiště České Budějovice (Místopisy.cz, 2022; Statutární město České Budějovice, 2022). V současné době se staví 26 km dlouhý horkovod z blízké Jaderné elektrárny Temelín, který by měl pokrýt tepelnou spotřebu města ze 30 %, zbytek zajistí teplárna z vlastních zdrojů. Mělo by to ročně ušetřit ovzduší až 80 000 tun oxidu uhličitého (Technicka-zarizeni.cz, 2021).

V Litvínovicích u Českých Budějovic byla roku 1929 naměřena vůbec nejnižší teplota vzduchu $-42,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ČHMÚ, 2022). Podnebí města je mírně teplé a vlhké, zima je často mírná. Blízká pohoří Šumava, Novohradské hory a částečně Alpy způsobují občasný fénový efekt vyvolávající srážkový stín a zvýšené teploty, a to v důsledku proudění jižních a jihovýchodních větrů – k opačnému efektu dochází při severních a severozápadních větrech. Převládajícími směry proudění vzduchu ve městě jsou západní a severozápadní, nezanedbatelný je ale i podíl větrů se směrem východním a jihovýchodním (Místopisy.cz, 2022).

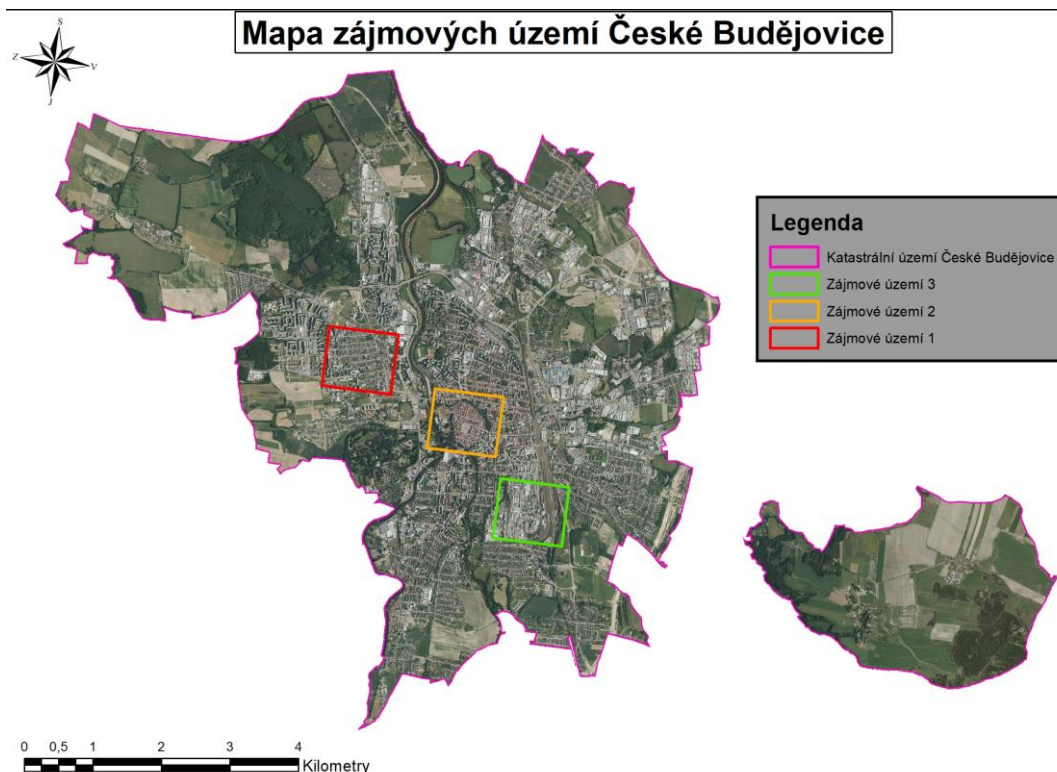
Samotné umístění na dně mělké, zato však široké pánve omezuje proudění vzduchu, což způsobuje časté a husté mlhy zejména v severozápadní části města, které vznikají výparem z okolních rybníků při inverzním charakteru počasí. Taktéž hustá zástavba a široké betonové či vydlážděné plochy zpomalují rychlost větru a vyšší teploty v centru města oproti městským okrajům (Místopisy.cz, 2022). České Budějovice jsou znázorněny na Obrázku 2.1:



Obrázek 2.1: Území Č. Budějovic v Jihočeském kraji (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Ve městě Českých Budějovicích byly vytyčeny 3 referenční oblasti, které mají reprezentovat z hlediska využití území odlišné části města, abychom si na nich demonstrativně ukázali, jak se v nich liší rozložení povrchových teplot v závislosti na vezejších třídách pokryvu. Zájmovými územími byla část s rodinnými domy,

historické centrum města a část s průmyslovou zónou. To můžeme spatřit na mapě zájmových území z Obrázku 2.2:



Obrázek 2.2: Mapa zájmových území Č. Budějovice (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

2.2.1 První lokalita

První zkoumanou lokalitou je vymezená referenční oblast z městské části Čtyři Dvory, která je charakteristická zástavbou rodinnými domy v pravoúhle orientovaných ulicích. V jihozápadním cípu se rozprostírá pás budov Jihočeské univerzity. K severnímu okraji se přibližuje ulice O. Nedbala a k východním hranicím zase Husova třída. V Přílohách jsou k nahlédnutí 2 dokumentační a ilustrační fotografie z tohoto území (fotbalové hřiště ze západní poloviny území a pohled do ulice Antonína Slavička). Zájmové území 1 vidíme na Obrázku 2.3:



Obrázek 2.3: Zájmové území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

V severovýchodním cípu vybraného území můžeme nalézt park u zastávky MHD Evžena Rošického, severně přes ulici leží Katastrální úřad pro Jihočeský kraj Archiv. Tento park čítá celkem 102 stromů a keřů (vegetace/dřevin), jak bylo zjištěno z terénního dendrologického šetření. Nejrozšířenější dřeviny jsou zaznamenány vzhledem k celému parku, viz Tabulka 2.1:

Tabulka 2.1: Nejrozšířenější vegetace parku u zastávky MHD Evžena Rošického v číslech (zdroj: vlastní).

Rodové a druhové jméno	Relativní zastoupení dřevin v rámci parku	Absolutní počet dřevin
Javor mlč (<i>Acer platanoides</i>)	31,37 %	32
Líska obecná (<i>Corylus avellana</i>)	19,61 %	20
Lípa malolistá (<i>Tilia cordata</i>)	19,61 %	20
CELKEM	70,59 %	72

Park majoritně pokrývají 3 druhy z celkem 11, a to z téměř tří čtvrtin všech rostlin. Nejrozšířenější rostlinou je javor mléč s téměř třetinovým zastoupením vůči parku (31,37 %). Z jehličnatých rostlin se zde nacházejí pouze jeden smrk omorika a dva jalovce obecné (keře), tudíž převážnou část tvoří listnaté stromy a keř (97 %).

Plošnou distribuci dřevin 11 druhů v rámci lokality 1 lze spatřit na Obrázku 2.4:



Obrázek 2.4: Dřeviny v zájmovém území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Jak vidno z mapy, nejzastoupenější dřevinou je skutečně javor mléč, dále je to lípa malolistá – zejména ve východních okrajích parku. Líska obecná kopíruje převážně jižní hranu a pár kusů nalezneme v pomyslném středu parku. Charakteristické listy těchto 3 dřevin jsou zadokumentované v Přílohách.

2.2.2 Druhá lokalita

V rámci druhé lokality bylo vybráno historické centrum města s náměstím Přemysla Otakara II. čtvercového tvaru se Samsonovou kašnou ve středu a Sokolský ostrov. Jsou zde umístěny historické budovy o několika podlažích. Ulice jsou užší než v oblastech mimo centrum měst, náměstí a ulice jsou vydlážděny žulovou, keramickou (obecně kamennou) nebo betonovou dlažbou. Jihozápadní pomezí omývá řeka Malše vlévající se do Vltavy. V Přílohách jsou založeny 2 ilustrační fotografie území. Na Obrázku 2.5 ho vidíme z ptačí perspektivy:



Obrázek 2.5: Zájmové území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

V severní části se line ulice a park Na Sadech. Ten spojuje Mariánské a Senovážné náměstí. Plochu parku odděluje od historické části Mlýnská stoka. V parku nalezneme až 63 druhů stromů a keřů, celkem zde roste 525 exemplářů vegetace.

Nejrozšířenější druhy vegetace v parku byly vybrány tak, že v každé z vyčleněných oblastí O1–O5 (bude vysvětleno níže) byly zvoleny nejčastěji se vyskytující druhy (hodnoty), které byly zapsány do tabulky. To zajistí vysokou výpovědní hodnotu vybraného souboru vegetace, aby byla co nejvyrovnanější pro všech 5 separátních oblastí. Dále se provedl součet absolutní četnosti všech druhů stromů a vybraly se ty s největším zastoupením v rámci celého parku, které tabulku vhodně doplnily. Dokumentace charakteristických znaků 3 prvních z těchto dřevin je uvedena v Přílohách. Nejrozšířenější druhy vypsáné nalezneme v Tabulce 2.2:

Tabulka 2.2: Nejrozšířenější vegetace parku Na Sadech v číslech (zdroj: vlastní).

Rodové a druhové jméno	Relativní zastoupení dřevin v rámci parku	Absolutní počet dřevin
Jírovec maďal (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	26,29 %	138
Lípa malolistá (<i>Tilia cordata</i>)	8,00 %	42
Javor mlč (<i>Acer platanoides</i>)	6,86 %	36
Jasan ztepilý (<i>Fraxinus excelsior</i>)	5,91 %	31
Tis červený (<i>Taxus baccata</i>)	5,14 %	27
Habr obecný (<i>Carpinus betulus</i>)	4,57 %	24
Dub letní (<i>Quercus robur</i>)	3,05 %	16
Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>)	3,05 %	16
Ptačí zob obecný (<i>Ligustrum vulgare</i>)	2,67 %	14
Hlohyně šarlatová (<i>Pyracantha coccinea</i>)	1,91 %	10
Jírovec pleťový (<i>Aesculus x carnea</i>)	1,14 %	6
CELKEM	68,59 %	360

Vzorek nejčastěji se vyskytující vegetace pokrývá více než dvě třetiny veškerých rostlin zaznamenaných při terénním průzkumu. Nutno podotknout, že druhová rozmanitost parku je velmi vysoká (63 druhů). Nejčetnější rostlinou je jírovec maďal, který přesahuje čtvrtinu všech zaznamenaných druhů (26,29 %).

Poměrové zastoupení listnatých vůči jehličnatým rostlinám činilo cca 92 % listnatých ku 8 % jehličnatých dřevin. Jako u prvního parku se zde setkáváme s výraznou převahou listnatých dřevin, celou třetinu parku tvoří pouze dva druhy listnáčů – jírovec maďal a lípa malolistá (34,29 %).

Protože je park velmi rozlehlý, byl rozdělen do 5 svébytných částí (O1–O5) pro lepší vyhodnocení vlivu charakteru vegetace na teplotu. Části jsou vždy rozdělené silnicí nebo chodníkem, jak je tomu i ve skutečnosti v terénu. Počty jednotlivých dřevin jsou k prohlédnutí v Tabulce 2.3:

Tabulka 2.3: Nejrozšířenější vegetace parku Na Sadech v 5 dílčích oblastech (zdroj: vlastní).

Rodové a druhové jméno	O1	O2	O3	O4	O5
Jírovec maďal (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	8	9	19	32	67
Lípa malolistá (<i>Tilia cordata</i>)	1	1	16	11	13
Javor mlč (<i>Acer platanoides</i>)	3	7	8	9	9
Jasan ztepilý (<i>Fraxinus excelsior</i>)	-	2	8	10	11
Tis červený (<i>Taxus baccata</i>)	1	1	7	10	8
Habr obecný (<i>Carpinus betulus</i>)	1	-	6	10	7
Dub letní (<i>Quercus robur</i>)	-	4	3	5	4
Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>)	2	-	5	3	6
Ptačí zob obecný (<i>Ligustrum vulgare</i>)	-	6	8	-	-
Hlohyně šarlatová (<i>Pyracantha coccinea</i>)	-	4	5	-	1
Jírovec pleťový (<i>Aesculus x carnea</i>)	-	6	-	-	-
CELKEM	16	40	85	90	126

V parku Na Sadech se nenašel žádný jehličnatý keř, proto je zde jeho kategorie vynechána (pro přehlednost). Tabulka 2.4 zobrazuje absolutní počet veškeré vegetace v jednotlivých částech parku.

Tabulka 2.4: Sumární počet kusů dřevin parku Na Sadech v 5 dílčích oblastech (zdroj: vlastní).

Typ vegetace	O1	O2	O3	O4	O5
Jehličnaté stromy	1	1	8	19	12
Listnaté stromy	20	45	89	89	133
Listnaté keře	2	31	41	9	25
CELKEM	23	77	138	117	170

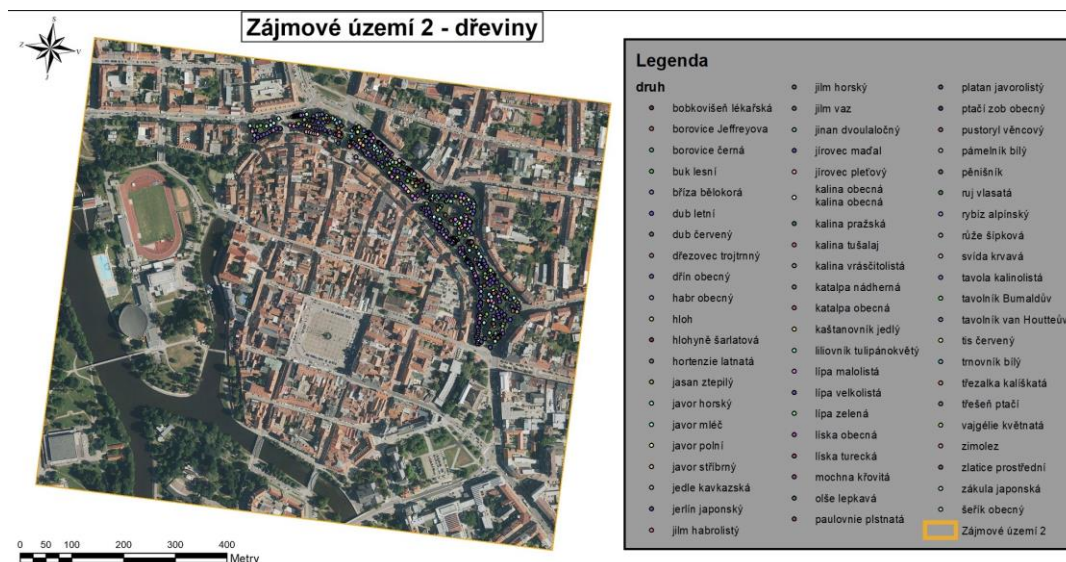
V následující tabulce je zaznamenáno relativní zastoupení nejrozšířenějších dřevin k celkovému počtu dřevin v rámci oblastí O1–O5. Viz Tabulka 2.5:

Tabulka 2.5: Poměr počtu nejrozšířenější k celkové vegetaci v oblastech O1–O5 (zdroj: vlastní).

Vegetace	O1	O2	O3	O4	O5
Nejrozšířenější vegetace	16	40	85	90	126
Celková vegetace	23	77	138	117	170
POMĚR [%]	69,57	55,95	61,59	76,92	74,12

Z této tabulky vyplývá, že v přepočtu na absolutní numera dřevin jsou oblasti O4 (76,92 %) a O5 (74,12 %), s okolo 75 procent připadajících na vyjmenované nejrozšířenější dřeviny, velmi druhově homogenní, neboť jiné druhy dřevin jsou zde méně časté a pohybují se přibližně na zbývajících 25 procentech.

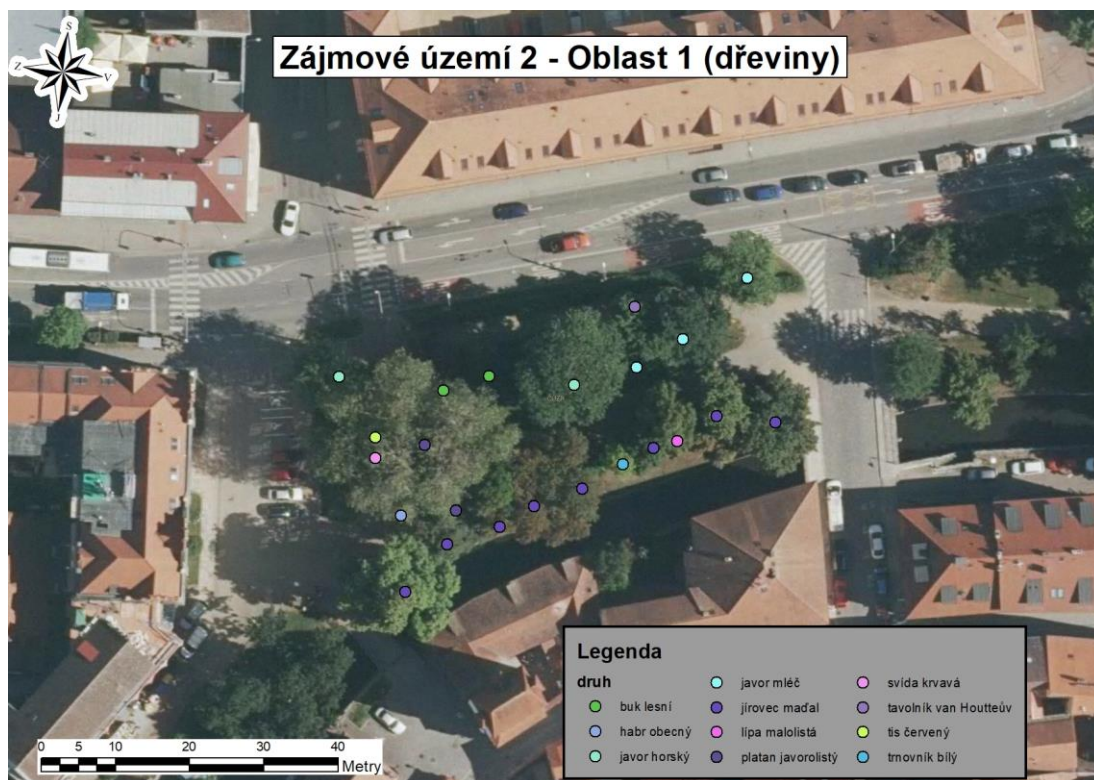
Rozložení druhů zkoumaných dřevin v rámci zájmového území 2 můžeme nalézt na Obrázku 2.:



Obrázek 2.6: Dřeviny v zájmovém území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Z mapy je patrné, že prostorově nejrozšířenější dřevinou je jírovec maďal, který je nejvíce vysázen podél jižního nábřeží Mlýnské stoky. Druhou příčku obsadila lípa malolistá, která ovšem nemá charakteristicky určitelnou pozici, je rozmístěna vcelku nepravidelně, vyskytuje se ovšem pouze v oblastech 3–5. Tyto oblasti budou ještě detailněji rozebrány v následujících obrázcích.

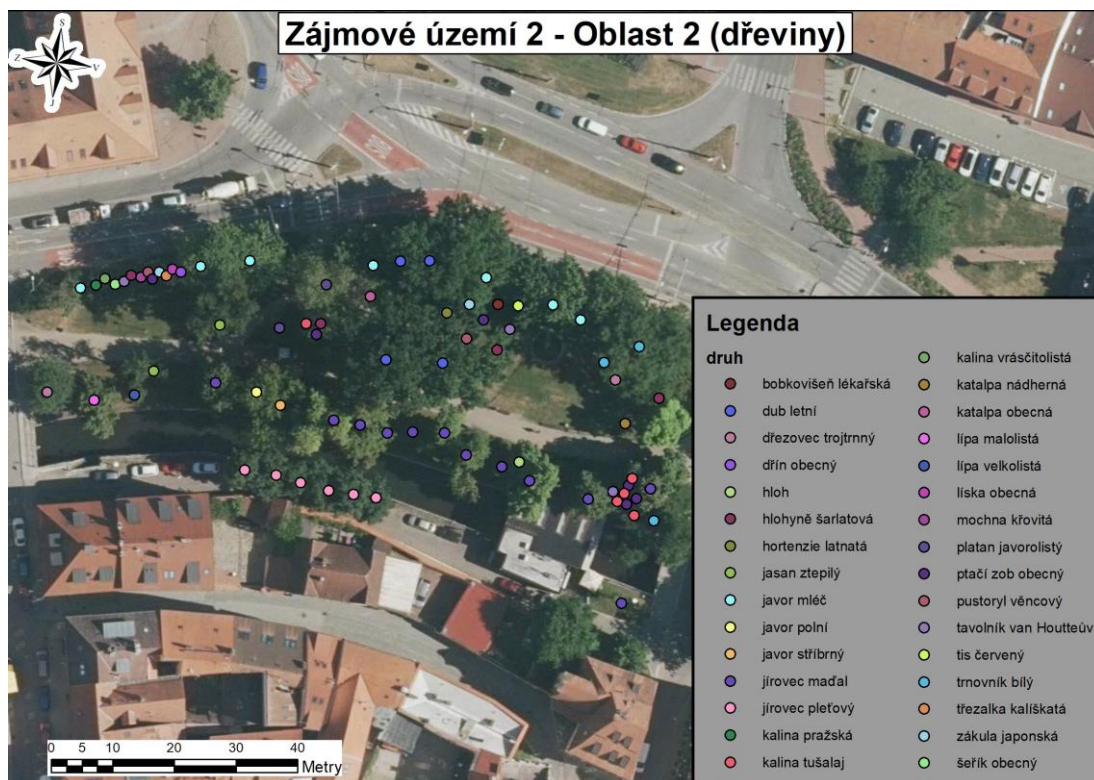
Na Obrázku 2.7 již vidíme první oblast.



Obrázek 2.7: Mapa dřevin Oblasti 1 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Tento ostrůvek má nejrozšířenější dřevinu jírovec maďal (8x), který je veden podél parkovní nábrežní strany. Ještě je zde významné zastoupení javoru mléče (3x), který přiléhá k chodníkové části parku. Uprostřed se rozprostírá javor horský, další zástupce tohoto druhu stojí v severozápadním koutě.

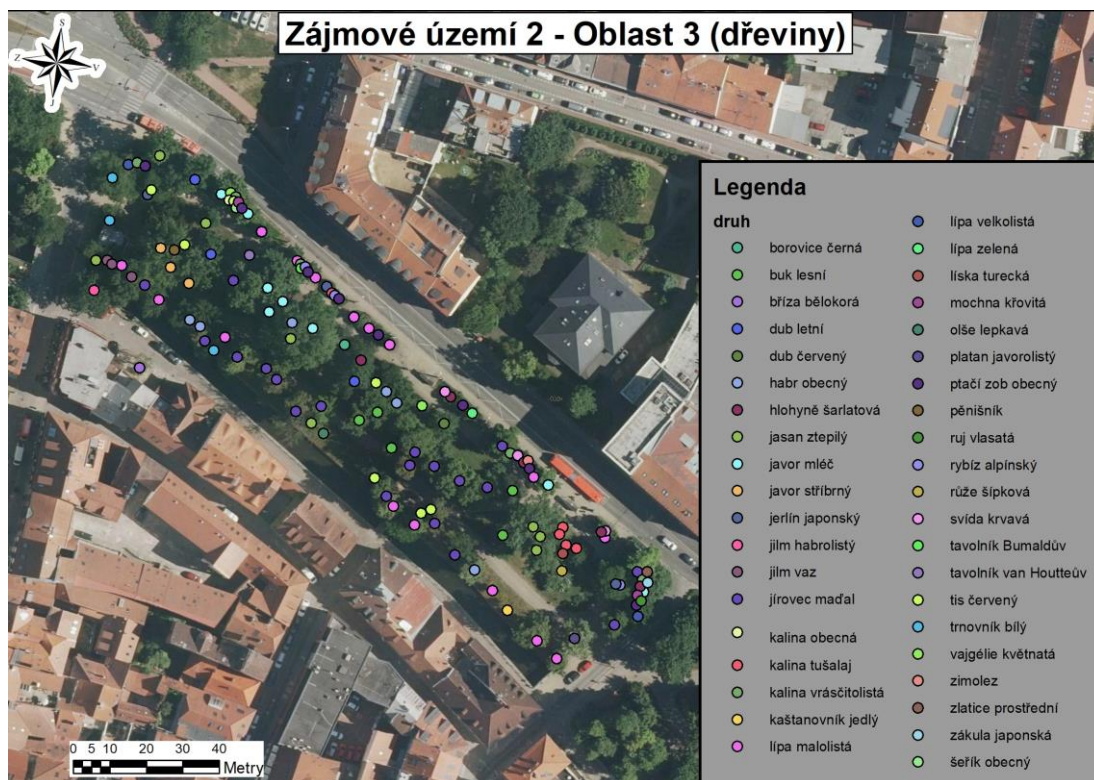
Oblast druhá zájmového území 2 je zpracována na Obrázku 2.8:



Obrázek 2.8: Mapa dřevin Oblasti 2 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Absolutně nejčastější dřevinou je i zde strom jírovec maďal (12x), tak jak tomu bylo i u první oblasti, tento druh vegetace je situován podél nábřeží na jižním pomezí. Na protější straně se rozpíná alej jírovců plet'ových. V jihovýchodním cípu území nalezneme shluk kaliny tušalaje. Jak jírovec maďal lemuje jižní hranu, tak javor mléč je umístěn k přivrácené straně k vozovce. Centrum této části tvoří jasan ztepilý, platan javorolistý, dub letní, ptačí zob obecný a hlohyně šarlatová.

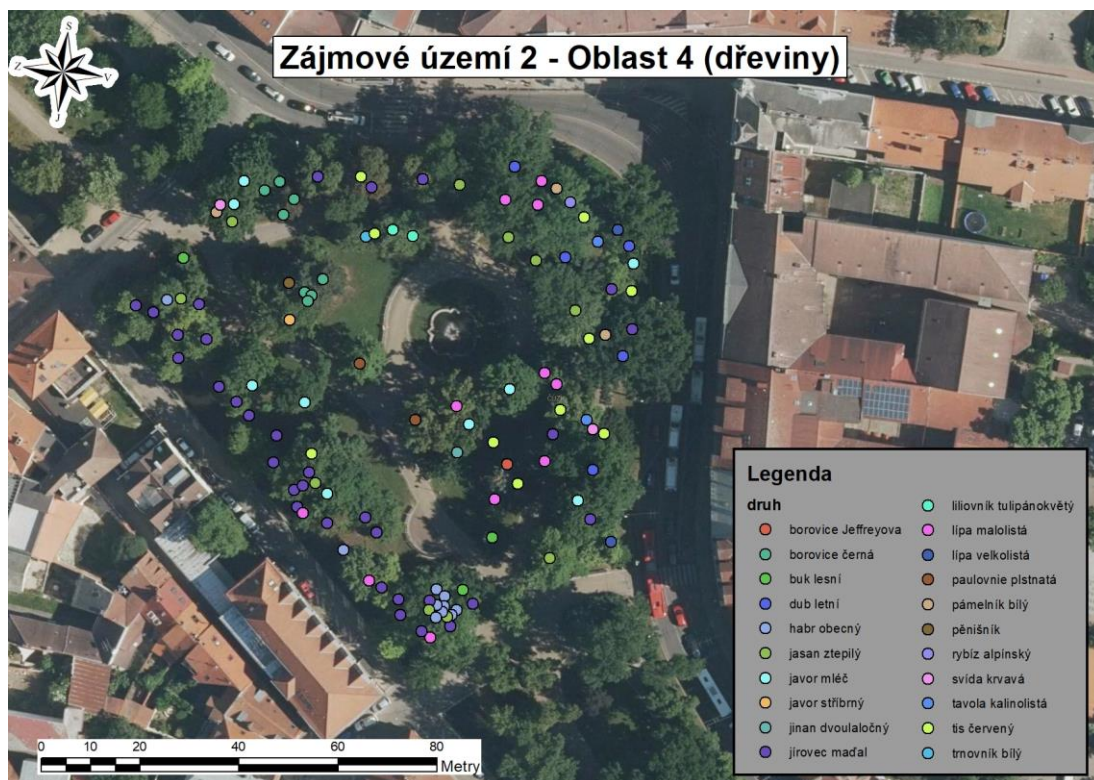
Oblastí tři nabízí pohled na ještě rozmanitější vegetaci než v té druhé, viz Obrázek 2.9:



Obrázek 2.9: Mapa dřevin Oblasti 3 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Co se týká absolutní četnosti dřevin, je to znovu jírovec maďal (19), ale také lípa malolistá (16), které jsou v této části parku nejvíce. Lípa malolistá zaujímá pozice jak v severní části, tak ojediněle doplňuje výsadbu jírovce maďala při jižním lemu podél Mlýnské stoky. Jírovec také prostupuje středem křížem k zastávce MHD. U zastávky MHD se tyčí v menší skupině 4x kalina tušalaj. Jedinců javora mléče zde roste relativně méně než v předchozích případech, tento strom se nachází spíše v západní části s orientací k severu. Tato oblast je poměrně druhově rozmanitá.

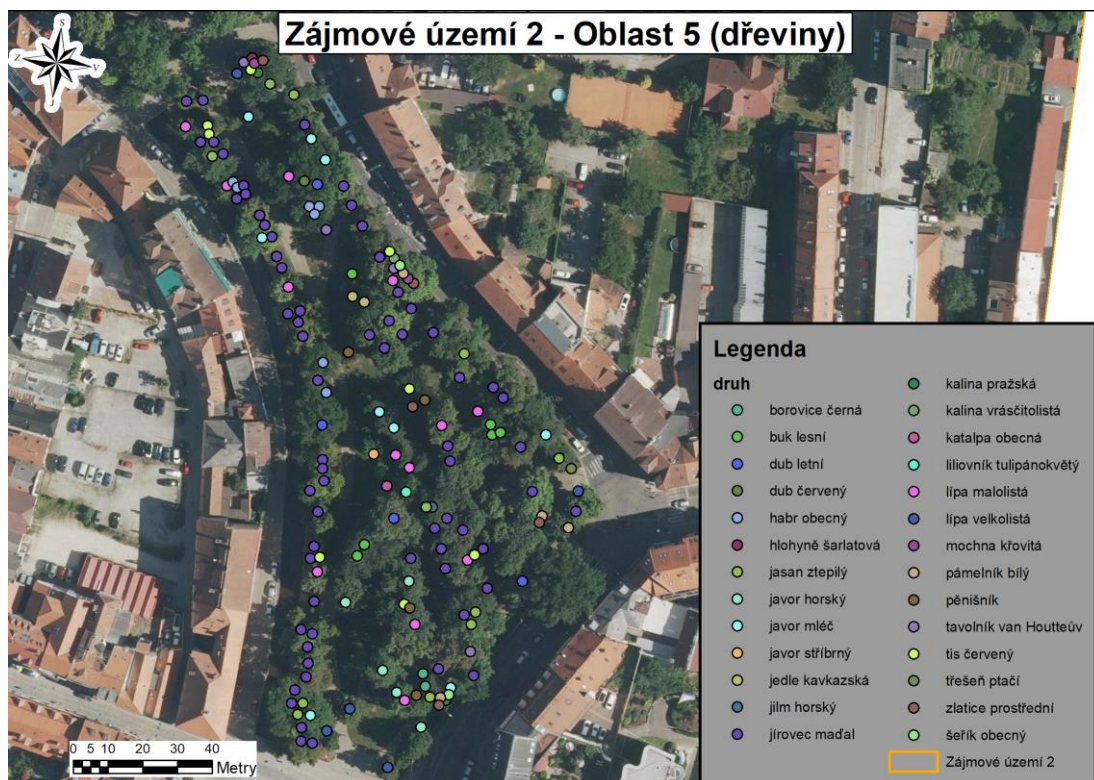
V Oblasti 4 je ústřední dominantou fontána, která se i hodí do tohoto geometrického tvaru, jak lze uvažovat z Obrázku 2.10:



Obrázek 2.10: Mapa dřevin Oblasti 4 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Již počtvrté v řadě je jírovec maďal (32) nejzastoupenější dřevinou v rámci parku Na Sadech, jeho výsadba se nejen drží linie kolem Mlýnské stoky, ale částečně zasahuje také do severních a východních mezí. Lípa malolistá sekunduje charakteru výsadby jírovce, avšak je orientován spíše do jižnější poloviny parku. Jasan ztepilý má také perimetrální charakter rozmístění. V jižním cípu se můžeme zaměřit na zahuštěnou skupinu habrů obecných. Javor mléč je roztroušen téměř po celém prostoru. Za zmínku stojí také borovice černá, která je v severozápadní části nahusto umístěna.

Poslední oblast, pátá, se skrývá pod Obrázkem 2.11:

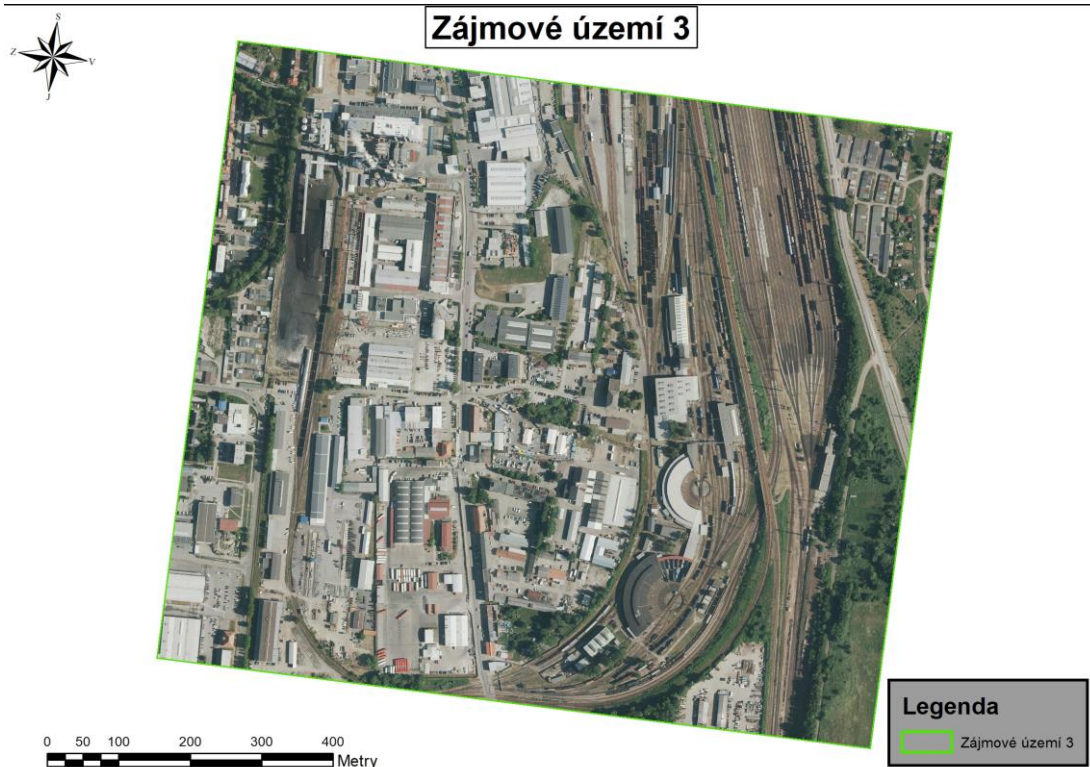


Obrázek 2.11: Mapa dřevin Oblasti 5 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Jak lze svědčit z tohoto leteckého pohledu, pokud se zaměříme na strom jírovec maďal, můžeme potvrdit jeho afinní vztah k Mlýnské stoce stejně jako to, že je nejrozšířenější dřevinou této oblasti vůbec, a to jak vztaženo k prostorové relaci, tak k absolutnímu množství rostlin, kde jírovec zaujímá první místo se 67 zástupci. Jeho distribuce uvnitř oblasti parku je víceméně rovnoměrná. Ostatní vegetace je zde spíše v doplňkovém statutu, zejména se jedná o lípu malolistou (13) a jasan ztepilý (11). Lípa malolistá se rozkládá také po celém prostoru, za její nejhojnější výskyt můžeme považovat střed této části. Nejvíce jasanů ztepilých máme v jižně položených okruzích.

2.2.3 Třetí lokalita

Třetí lokalita představuje industrializovanou zónu města v jeho jižní oblasti, jejíž součástí na východní hraně zájmového území je nákladíště a depo ČD Cargo, a.s., také tudy prochází kolejiště až k hlavnímu nádraží ve směru na sever. Zázemí má zde spousta firem vč. Dopravního podniku města České Budějovice, a.s. Typickými budovami nacházejícími se v této oblasti jsou rozsáhlé průmyslové haly, velká skladiště, asfaltové a betonové manipulační plochy, parkoviště a ostatní povrchy obdobného charakteru. Zájmovou lokalitu vidíme na Obrázku 2.12.



Obrázek 2.12: Zájmové území 3 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Vegetace je zde skutečně poskrovnu a většinou se ani nejedná o sídelní zeleň v pravém slova smyslu, jde spíše o zeleň rostoucí na soukromých pozemcích. Výjimku tvoří hrany obrazu zleva a zprava. Tato oblast byla vybrána jako extrémní případ průmyslového využití plochy.

2.3 Sběr dat

Sběr hyperspektrálních dat byl realizován Ústavem výzkumu globální změny Akademie věd ČR, v. v. i. (CzechGlobe) za podpory projektu TAČR TL02000322 – Teplotní komfort v obcích: pocitový vjem obyvatel, fyzikální skutečnost, role zeleně a infrastruktury CzeCOS. Czechglobe, jak již bylo zmíněno v literární rešerši, je jediným poskytovatelem takových dat v České republice. Bylo použito letadlo Cessna 208B Grand Caravan. Předzpracování dat bylo provedeno ústavem, viz níže.



Obrázek 2.13: Cessna 208B Grand Caravan (Oddělení leteckých činností CzechGlobe, 2022).

Samotný let se konal 24. července roku 2019. Počasí v čase 11:58 hod. bylo následovné: teplota vzduchu 28,3 °C, relativní vlhkost se pohybovala na 48 % a tlak byl ustálen 1017 hPa. Z hlediska charakteru počasí – teplota vzduchu vystoupala až na 31,4 °C v 17:29 hod. Relativní vlhkost klesala do svého minima 38 % v 17:58 hod., tlak také klesal na hodnotu 1014 hPa v 18:59 hod., pak zase obdobně jako vlhkost začal tlak stoupat (In-počasí.cz, 2022).

2.4 Předzpracování obrazových dat

Pro letecké skenování se použilo tři hyperspektrálních skenerů - CASI, SASI, TASI (ITRES Research Limited) schopných snímat obrazová data v rozsahu viditelného a blízkého infračerveného (CASI), krátkovlnného infračerveného (SASI) i dlouhovlnného (TASI) infračerveného EM záření. Vedle hyperspektrálního skenování probíhalo také letecké laserové skenování (LiDAR), pro nějž byl využit přístroj Riegl LMS Q-780. Pozice a prostorová orientace leteckého nosiče byla kontinuálně zaznamenávána dvěma GNSS/IMU jednotkami Applanix.

Veškerá data získaná metodami DPZ jsou ovlivněna specifickými vlastnostmi snímací aparatury a aktuálními vlastnostmi atmosféry mezi senzorem a snímaným povrchem. Proto se před vlastní analýzou či interpretací dat, v závislosti na jejich kategorii, provádí několik korekcí.

2.4.1 Předzpracování dat CASI, SASI

Radiometrické korekce

Provádí se v programu RadCorr Ver. 9.3.6.0 (ITRES Research Limited) prostřednictvím laboratorně ustanovených kalibračních parametrů. Nejprve je odečten pozadový šum senzoru (DS – Dark Subtraction). Poté jsou data pomocí kalibračních parametrů přeměněna na radiometrické hodnoty [$\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$].

Atmosférické korekce

Ve VIS a SWIR oblasti EM spektra zaznamenaný signál se skládá ze tří záření: odraženého od měřeného povrchu, rozptýleného atmosférou a odraženého od okolí měřeného povrchu. Signál je dále měněn působením aerosolů a atmosférických plynů při průchodu atmosférou. Smyslem atmosférické korekce je vyčlenit tu část signálu, která je odražena pouze od měřeného povrchu. Z oné části pak lze kvantifikovat spektrální odrazivost měřeného povrchu. Vyjmenované atmosférické korekce se provádí v programu ATCOR-4 Ver. 7.1 (ReSe Application) s uplatněním radiativního modelu atmosféry MODTRAN (Spectral Sciences Inc).

2.4.2 Předzpracování dat TASI

Radiometrické korekce

Tento typ korekcí dat se provádí v programu RadCorr Ver. 9.3.6.0 (ITRES Research Limited). Odečtení pozadového šumu senzoru (DS – Dark Subtraction) je provedeno jako první krok. Posléze jsou data jednotlivých linií převedena na radiometrické hodnoty [$\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$]. Pro jejich přepočítání jsou užity koeficienty odvozené z dat kalibračních těles snímaných na začátku a na konci každé letové linie.

Atmosférické korekce, odhad emisivity a teplotních charakteristik

Senzorem snímané záření (L) se dělí na záření emitované povrchem $\varepsilon B(T)$, odražené záření dopadající z atmosféry $(1 - \varepsilon) L_{\text{atm}}^{\downarrow}$, a přímé vyzařování atmosféry $L_{\text{atm}}^{\uparrow}$. Pojmenované komponenty lze zasadit do rovnice radiačního přenosu:

$$L = \tau \varepsilon B(T) + \tau (1 - \varepsilon) L_{\text{atm}}^{\downarrow} + L_{\text{atm}}^{\uparrow},$$

kde τ je propustností atmosféry, ε emisivitou materiálu, $B(T)$ zářením černého tělesa při teplotě T , $L_{\text{atm}}^{\downarrow}$ dopadajícím zářením z atmosféry a $L_{\text{atm}}^{\uparrow}$ zářením samotné atmosféry.

Zprv se odstraňuje vliv atmosféry, kdy jsou veličiny $L_{\text{atm}}^{\downarrow}$, $L_{\text{atm}}^{\uparrow}$ a τ stanoveny pomocí modelu radiativního transferu MODTRAN (Spectral Sciences Inc).

Parametrizace modelu je uskutečněna díky sondážním měřením atmosféry, data jsou doplněna o parametry získané ze satelitních dat. Po dosažení těchto hodnot do rovnice radiativního transferu vypočítáme záření, které se odráží od povrchu snímaného objektu. Z tohoto záření se pak pomocí algoritmu TES (Temperature and Emissivity Separation) odhaduje emisivita a jasová teplota zájmového povrchu. Senzory CASI, SASI a TASI. Letecká laboratoř zobrazujících systémů (anglicky Flying Laboratory of Imaging Systems – FLIS) zahrnuje letecký nosič, zobrazující spektrometr a laserový skener. Tyto složky vidíme na Obrázku 2.14:



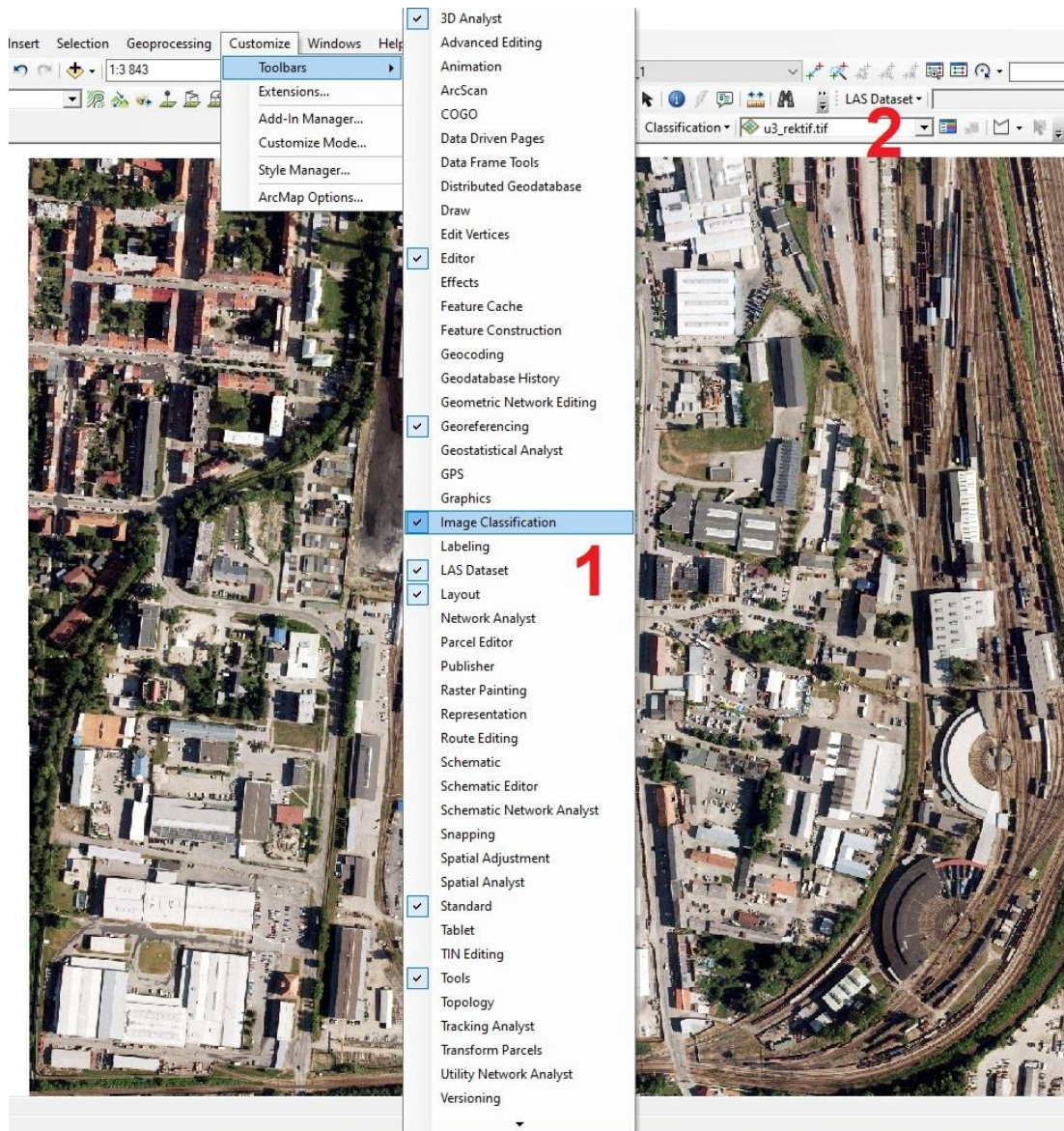
Obrázek 2.14: Přístrojové vybavení FLIS (Oddělení leteckých činností CzechGlobe, 2022).

2.4.3 Georeferencování

Metoda georeferencování je identickou pro všechny tři hyperspektrální senzory (CASI, SASI a TASI). Provádí se metodou parametrického geokódování za pomoci dat nasnímaných GNSS/IMU a digitálního modelu terénu (DMT) v programu GeoCor Ver. 5.6.3. (ITRES Research Limited). Současně jsou tak provedeny v jednom kroku geometrické korekce, ortorektifikace i georeferencování dat. V rámci převzorkování dat do souřadnicového systému je zvolena metoda nejbližšího souseda (Nearest Neighbor). Hyperspektrální data jsou georeferencována do souřadnicového systému UTM (zóna 33N, ETRS89). V programu ENVI (Harris Corporation) jsou z georeferencovaných linií vytvořeny mozaiky snímaných lokalit.

2.5 Třídy pokryvu

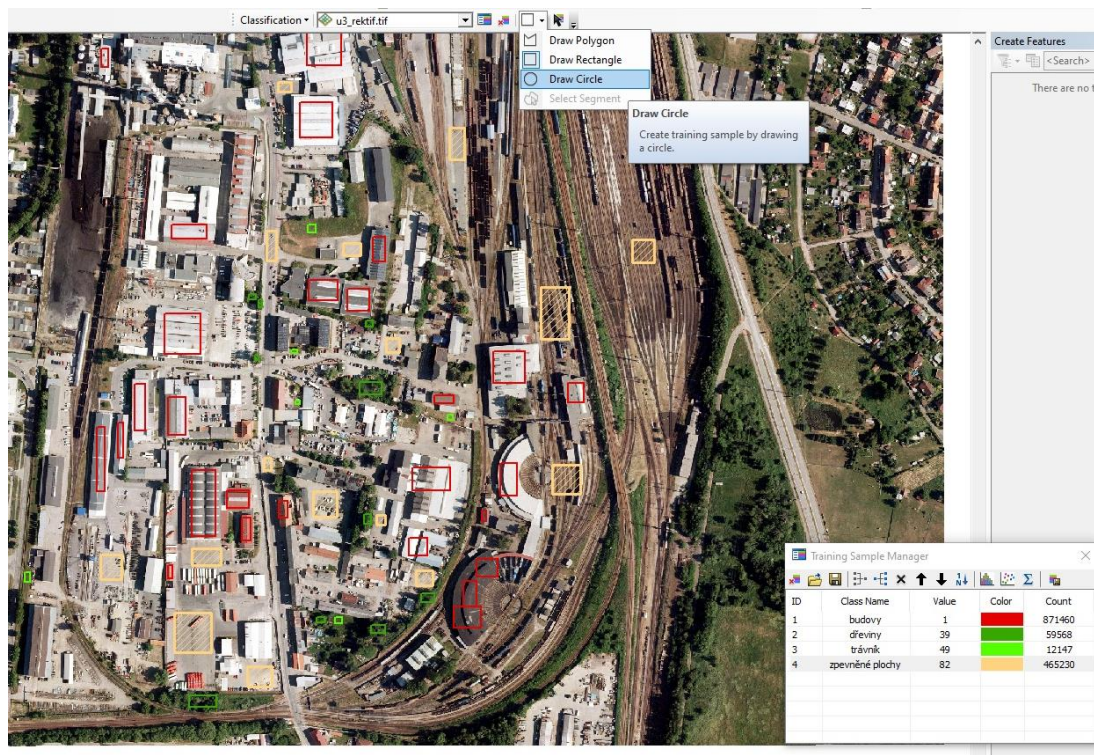
Klasifikace obrazových dat do tříd pokryvu proběhly v prostředí programu ArcMap 10.6.1. v souřadnicovém systému S–JTSK Křovák East North. Podkladovou mapou bylo ortofoto od poskytovatele ČÚZK. Nejprve je nutné zapnout rozšíření Spatial Analyst a v panelu nástrojů vybrat položku „Image Classification“, to je na Obrázku 2.15 znázorněno číslem 1. V rozhraní si vybereme správný obraz, který chceme klasifikovat do tříd, tento krok je pod číslem 2.



Obrázek 2.15: Postup 1 – třídy pokryvu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

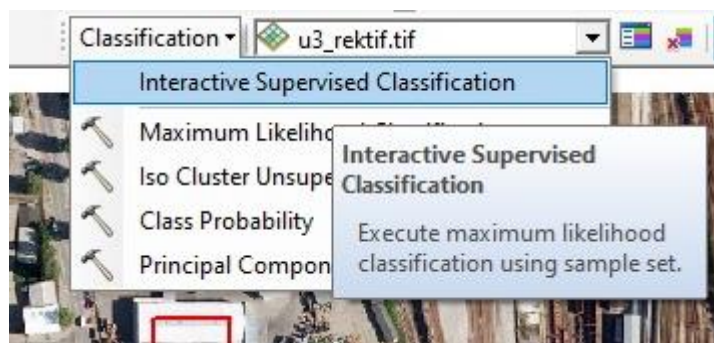
Následně začneme klasifikovat jednotlivé vyobrazené povrchy tím, že je na obrazu označíme, aby se pomocí strojového učení dokázal program naučit orientovat

v jednotlivých třídách povrchu. Tyto polygony pak sloučíme do skupin, které chceme, aby program chápal jako jedno. Viz Obrázek 2.16:



Obrázek 2.16: Postup 2 – třídy povrchu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

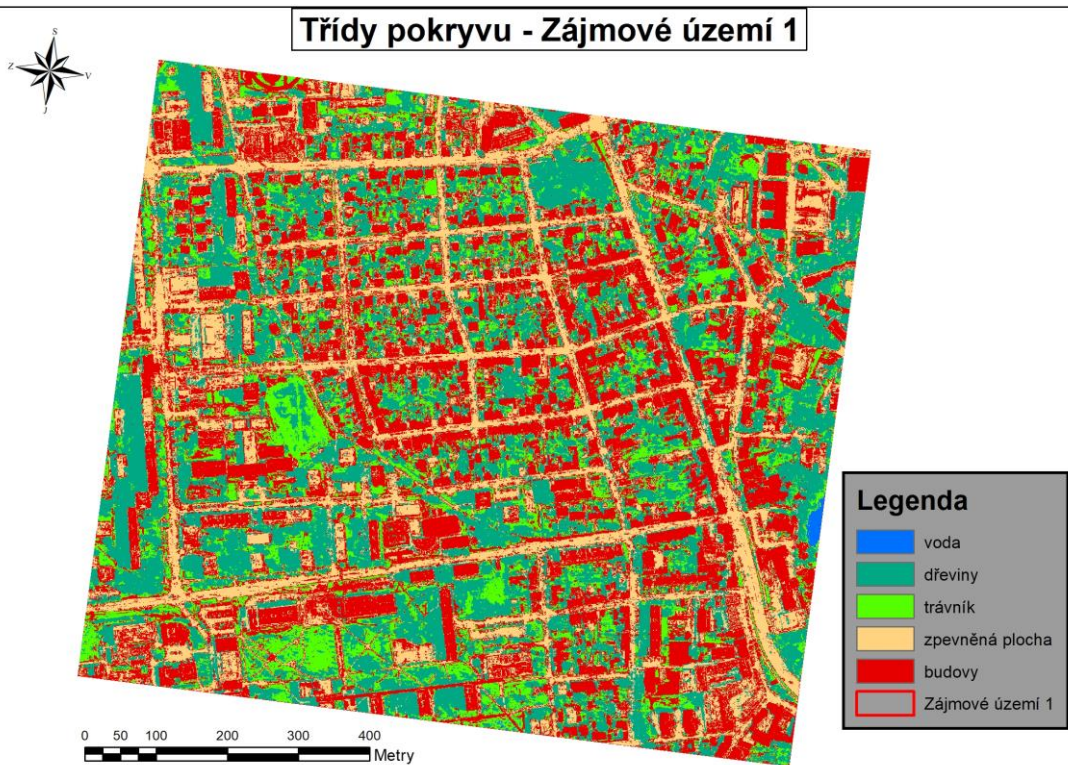
Třídy také označíme vhodnou barvou. Někdy má program problém s tím, aby rozlišil barvy, které jsou si velmi podobné, ale zobrazují něco jiného, např. rozeznat stín a vodu, střechu a zpevněný povrch, pakliže jsou barvy na obraze podobné. Na obrázku 2.17 vidíme, že byla zvolena „Interactive Supervised Classification“, čili řízená klasifikace, neboť proto jsme program učili, co který povrch znamená.



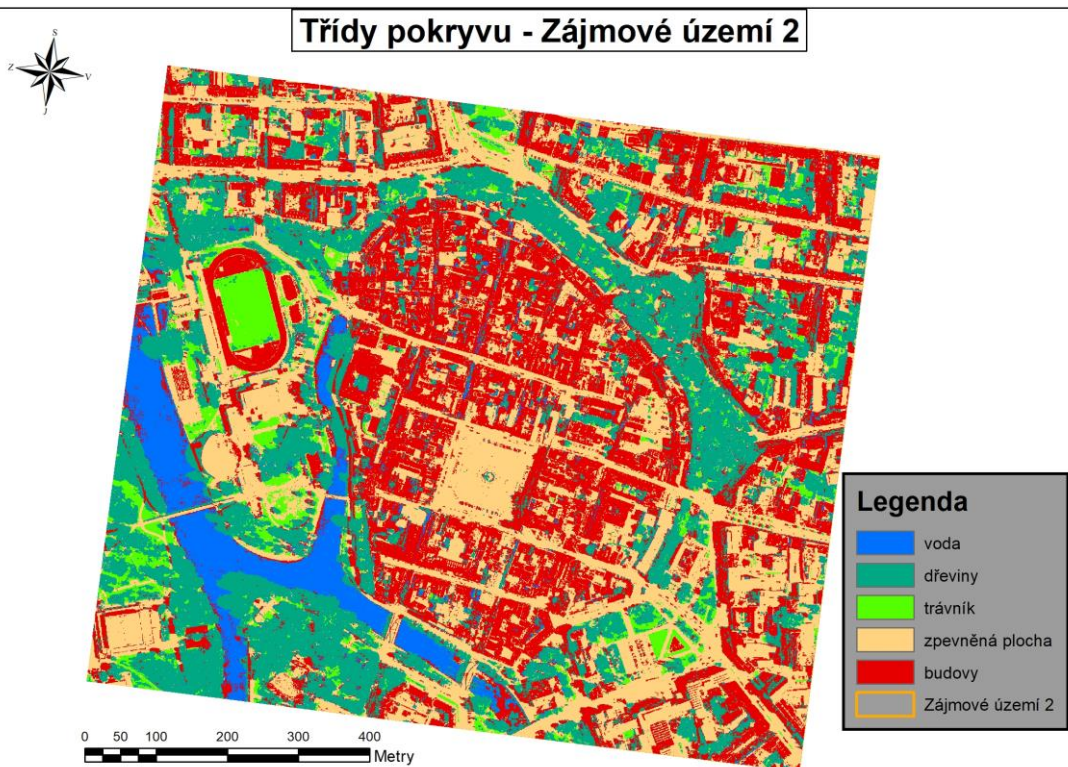
Obrázek 2.17: Postup 3 – třídy povrchu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

Pak lze obraz vyříznout nástrojem Clip např. podle geometrie zájmového území, neboť se jedná o data rastrová.

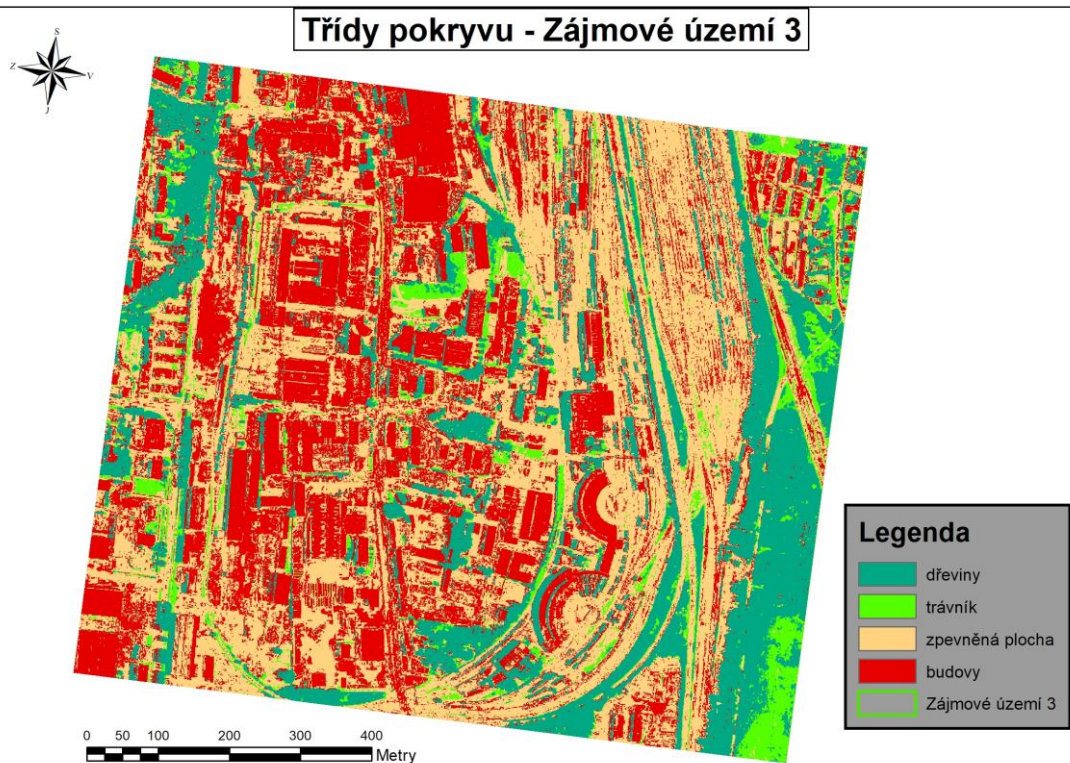
Na Obrázcích 2.18, 2.19 a 2.20 jsou vidět jednotlivé třídy povrchu v zájmových územích 1–3:



Obrázek 2.18: Třídy pokryvu Zájmového území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).



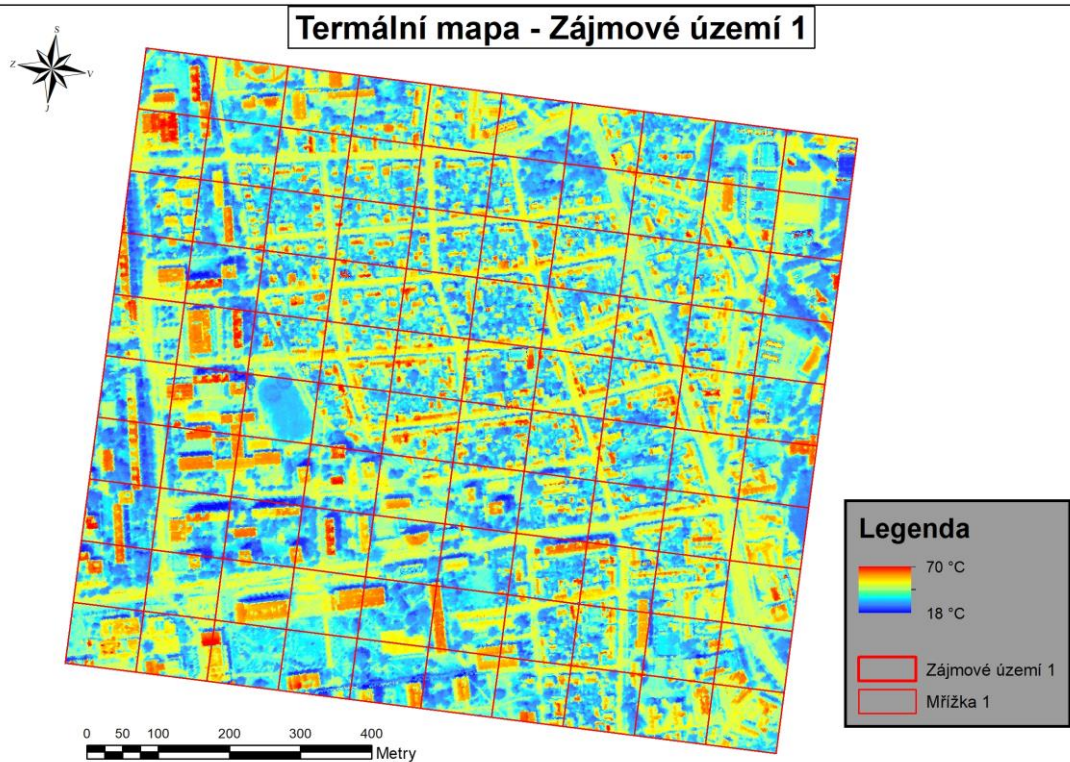
Obrázek 2.19: Třídy pokryvu Zájmového území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).



Obrázek 2.20: Třídy pokryvu Zájmového území 3 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).

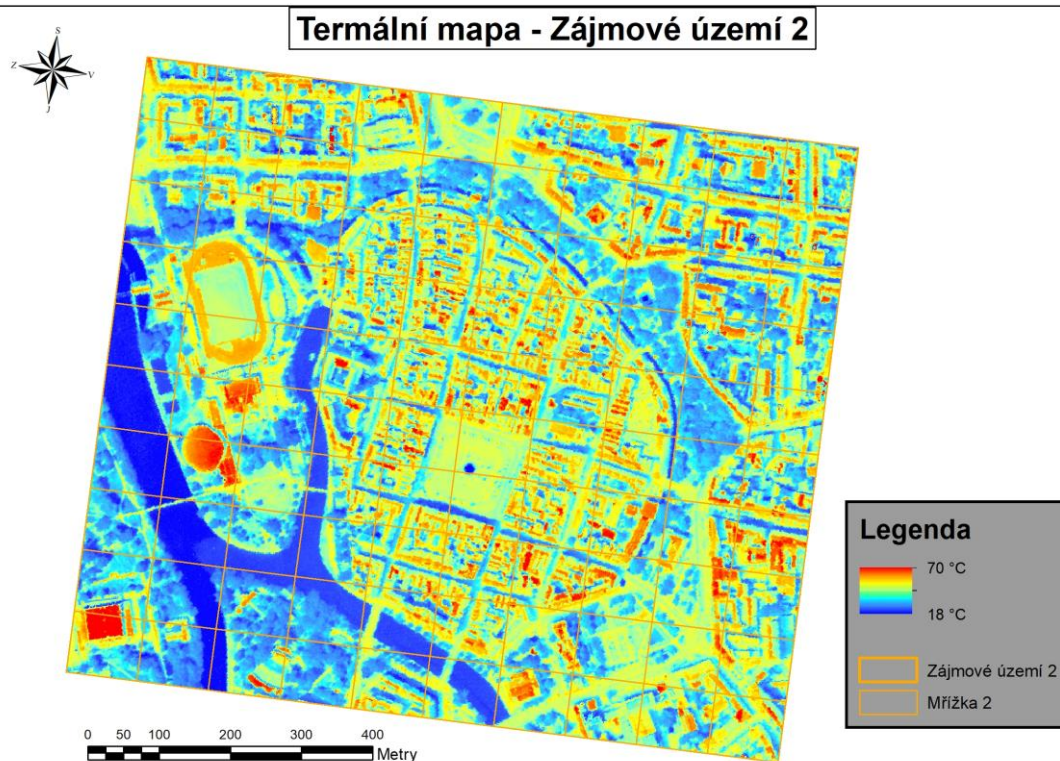
2.6 Termální mapa

Termální mapa v Zájmových územích 1–3 byla rozdělena v obdélníkové síti 10x10 o obdélnících 100,8 m délky a 87,3 m výšky. Viz Obrázky 2.21, 2.12 a 2.23:



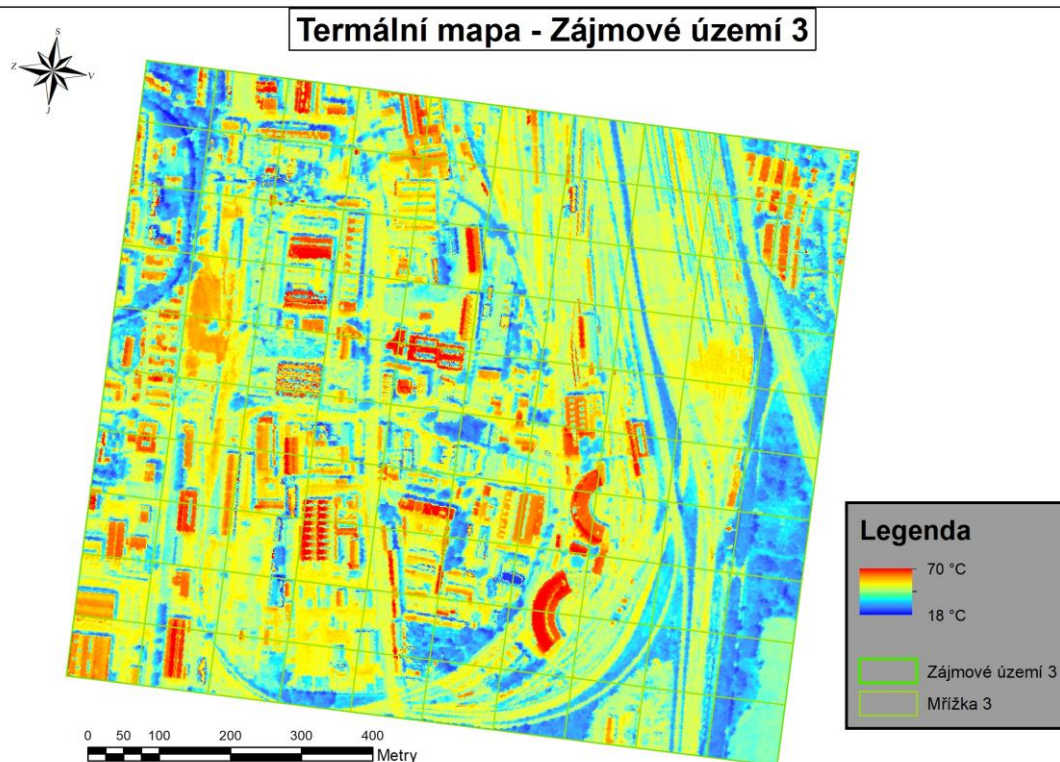
Obrázek 2.21: Termální mapa Zájmového území 1 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

V prvním výřezku se vyšplhala průměrná teplota povrchů na cca 46,3 °C.



Obrázek 2.22: Termální mapa Zájmového území 2 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

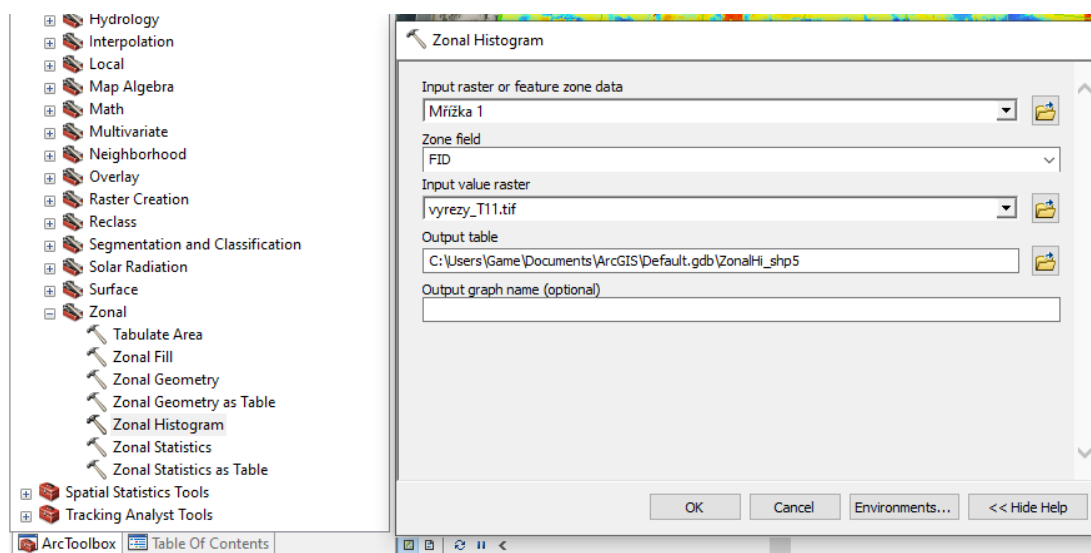
Ve druhé oblasti vyšla průměrná teplota ze všech pokryvů cca 45,9 °C.



Obrázek 2.23: Termální mapa Zájmového území 3 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

Za území číslo 3 byla spočítána průměrná teplota 49,5 °C, což je absolutně nejvíce.

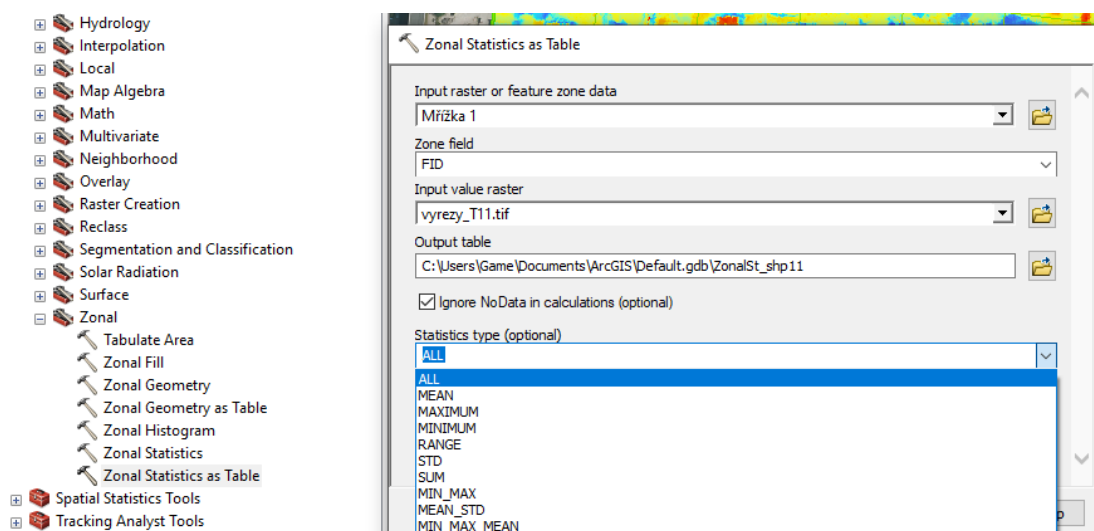
Z každého zájmového území tedy bylo vyčleněno celkem 100 buněk, jak je vidět na Obrázcích 2.18–2.20, dohromady 300 ze všech území. Pro každou buňku zvlášť se spočítala na základě rastru třídy pokryvu výměra jednotlivých typů ploch – využití území. A to přes „Spatial Analyst Tool → Zonal → Zonal Histogram“, jak vidíme na Obrázku 2.24:



Obrázek 2.24: Postup 1: termální mapa v prostředí ArcMap (zdroj: vlastní).

Jako vstupní zonální rastr je zvolena Mřížka 1, která bude tvořit zonální pole, a to podle FID (identifikačního čísla prvku). Vstupním rastrem hodnot je výřezek termální mapy pro danou oblast. Data se dají převést do rozličných datových formátů. Tímto krokem získáme data o počtu jednotlivých pixelů pro danou kategorii třídy pokryvu a můžeme je vyjádřit relativně v závislosti na celkovém počtu pixelů všech kategorií pro danou zónu (obdélník).

Poté byla získána průměrná teplota pro každou ze zón, a to přes nástroj „Zonal Statistics as Table“. Viz Obrázek 2.25:



Obrázek 2.25: Postup 2: termální mapa v prostředí ArcMap (zdroj: vlastní).

Jak již vidno z obrázku, analogicky je zde stejná první část, tedy definice vstupního zonálního rastru a vstupního hodnotového rastru. Co je zde volitelné, jsou operace, které si přejeme provést. Vybereme položku „MEAN“ a spočítáme tedy průměrnou hodnotu teplot pro každý obdélník. Data zase můžeme převést do mnohých datových formátů, abychom je dokázali statisticky zpracovat. Data byla převedena do formátu XLS pro zpracování v programu Microsoft Excel.

V programu Microsoft Excel položíme zonální data o procentuálním zastoupení třídy povrchu (závislá proměnná) k průměrné teplotě (nezávislá proměnná) do vztahu lineární regrese, jejímž výstupem je trend rostoucí, nebo klesající teploty v závislosti na rostoucí ploše třídy v buňce.

2.6.1 Termální mapa – stromy

Jelikož byla zmíněna v první části sada nejčastějších stromů v parcích u MHD Evžena Rošického a Na Sadech, tak byla analyzována teplota v rámci stromů a třeba i jejich bezprostředního okolí (buffer zóna), abychom zjistili, který druh dřeviny bude vykazovat nejnižší teplotu. Buffer zóna byla standardizována na 2 m pro každý z druhů – vytvořena přes „Geoprocessing → Buffer“. Celkem bylo vybráno 5 druhů: javor mlč, líska obecná, lípa malolistá, jírovec maďal a jasan ztepilý. Stejně jako v případě porovnávání povrchů v území jsme využili zonálních statistik pro výpočet průměrné teploty každé z bufferových zón pomocí funkce „MEAN“. Odlehle hodnoty (outliers) byly identifikovány pomocí interkvartilového rozpětí (IQR) a výpočtem vnitřních hradeb. Viz vzorec, kde x_i je odlehlým pozorováním: $[(x_i < x_{0,25} - 1,5IQR) \cup (x_i > x_{0,75} + 1,5IQR)]$.

Na základě výpočtu vnitřních hradeb interkvartilového rozpětí (IQR) pro první území bylo z termálních dat o dřevinách odstraněno následující množství teplot:

Javor mléč: 2/32 (hranice hradeb: 30,003–41,149 °C).

Líska obecná: 3/20 (hranice hradeb: 27,481–44,526 °C).

Lípa malolistá: 0/20 (hranice hradeb: 19,722–57,594 °C).

Ostatní hodnoty byly obsaženy ve výpočtu průměrné teploty daného druhu dřeviny.

Odlehlé hodnoty pozorování ve druhém území byly odstraněny v následujícím množství – mimo vnitřní hradby se nachází:

Jírovec maďal: 11/138 (hranice hradeb: 30,155–45,851 °C).

Lípa malolistá: 4/42 (hranice hradeb: 28,458–46,673 °C).

Javor mléč: 1/36 (hranice hradeb: 30,257–45,005 °C).

Janas ztepilý: 1/31 (hranice hradeb: 31,370–45,192 °C).

Dále probíhal výpočet průměrné teploty standardně.

2.7 Dotazníkové šetření

V rámci projektu TEKOB (Teplotní komfort v obcích: pocitový vjem obyvatel, fyzikální skutečnost, role zeleně (financovaného Technologickou agenturou ČR) byli osloveni respondenti z krajského města Českých Budějovic, aby vyjádřili svůj názor a preference ohledně tématu veřejné zeleně ve městě a její roli. Celkem bylo kladeno 23 otázek, z nichž 5 bylo všeobecných, vztahujících se na osobu dotazovaného, a zbylých 18 věcných, zabývajících se faktografií. Otázky byly formulovány jako otevřené i uzavřené (dichotomické, výčtové, výběrové a škálové otázky) – čili kombinované. Odpovídalo se dálkově prostřednictvím platformy Google Forms, odkaz byl umístěn na titulní straně webu <http://tekob.czechglobe.cz/> a byl pojat anonymizovanou formou. Celé znění a struktura elektronického dotazníku jsou k prohlédnutí v Přílohách.

3 Výsledky a diskuze

3.1 Termální mapy – efekt třídy pokryvu na teplotu

Pro každý typ povrchu z lokalit 1 až 3 byla zpracována regresní analýza závislosti teplot dané plochy na její velikosti (poměrném zastoupení).

Zájmové území 1

V prvním zájmovém území se nacházelo všech 5 klasifikovaných tříd pokryvu – plocha vody (0,6 %), dřevin (28,8 %), trávníků (12,8 %), zpevněných ploch (21,5 %) a budov (36,3 %). Průměrná teplota celé oblasti činila 46,3 °C.

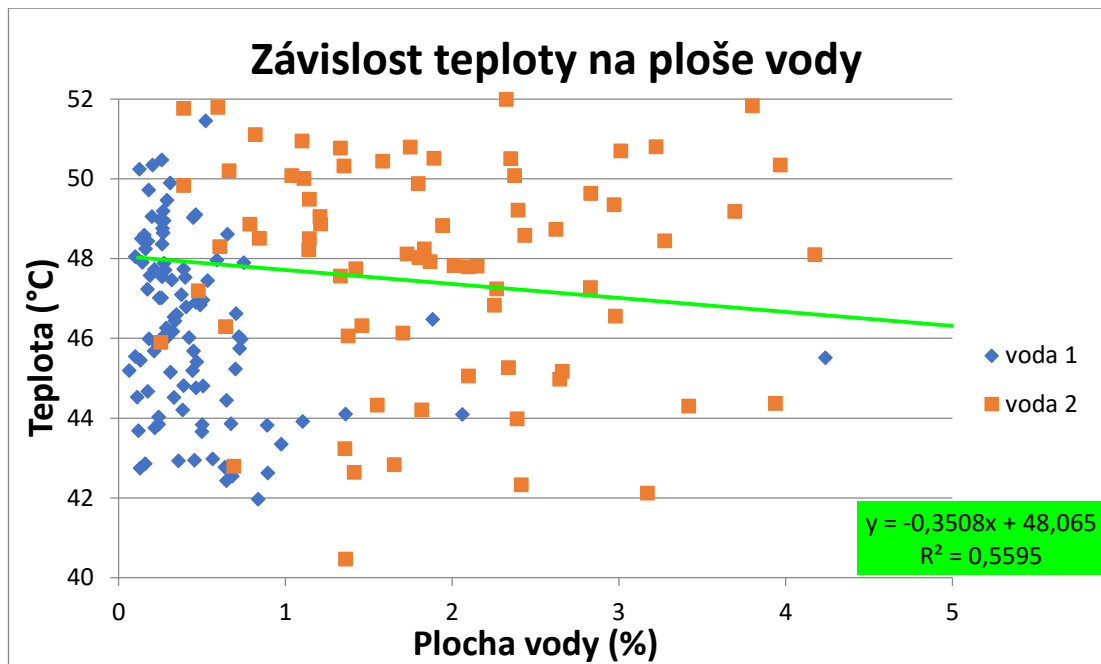
Zájmové území 2

Druhé zájmové území reprezentovalo všech 5 tříd pokryvu – plocha vody (6,2 %), dřevin (24,8 %), trávníků (4,9 %), zpevněných ploch (31,2 %) a budov (32,9 %). Průměrná teplota celé oblasti činila 45,9 °C.

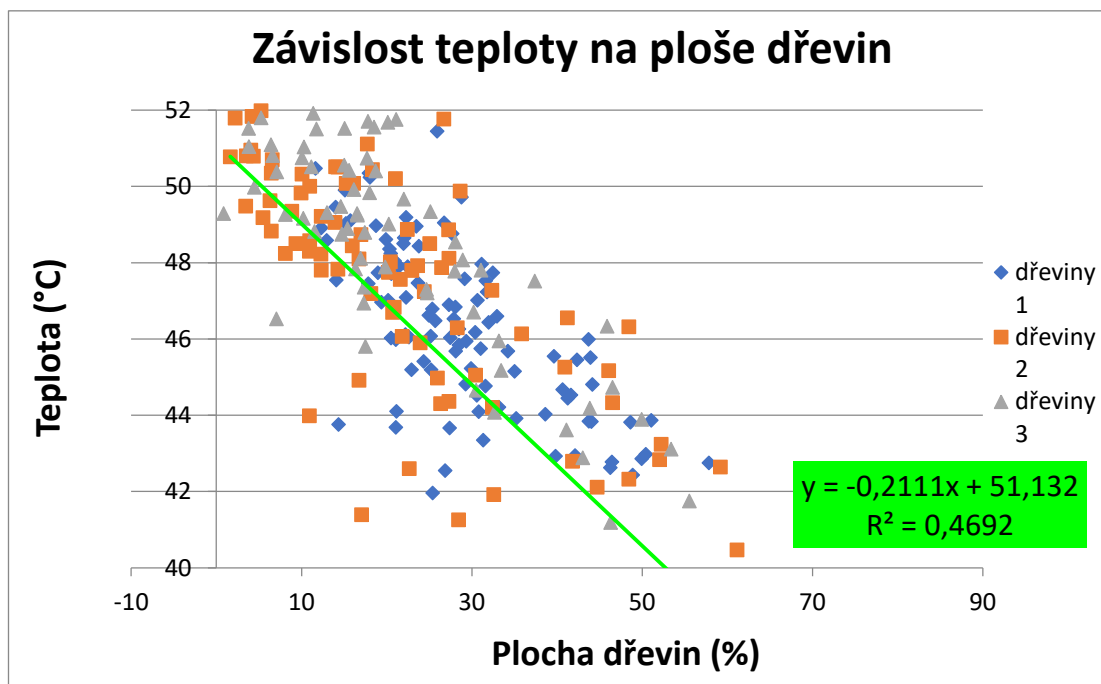
Zájmové území 3

Zájmové území 3 obsahuje 4 třídy pokryvu – plochu dřevin (21 %), trávníků (6,4 %), zpevněných ploch (39,3 %) a budov (33,3 %). Průměrná teplota celé oblasti činila 49,5 °C.

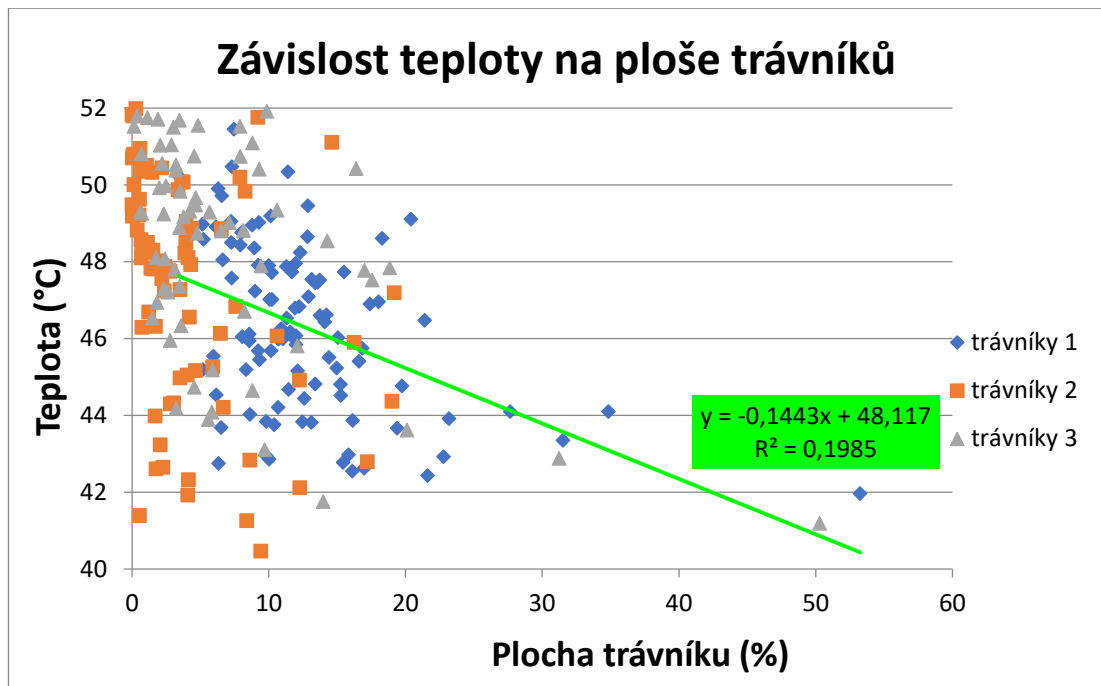
Jaká je závislost velikosti plochy třídy pokryvu na teplotu ze všech zkoumaných území, je znázorněno v Grafech 3.1 – 3.5:



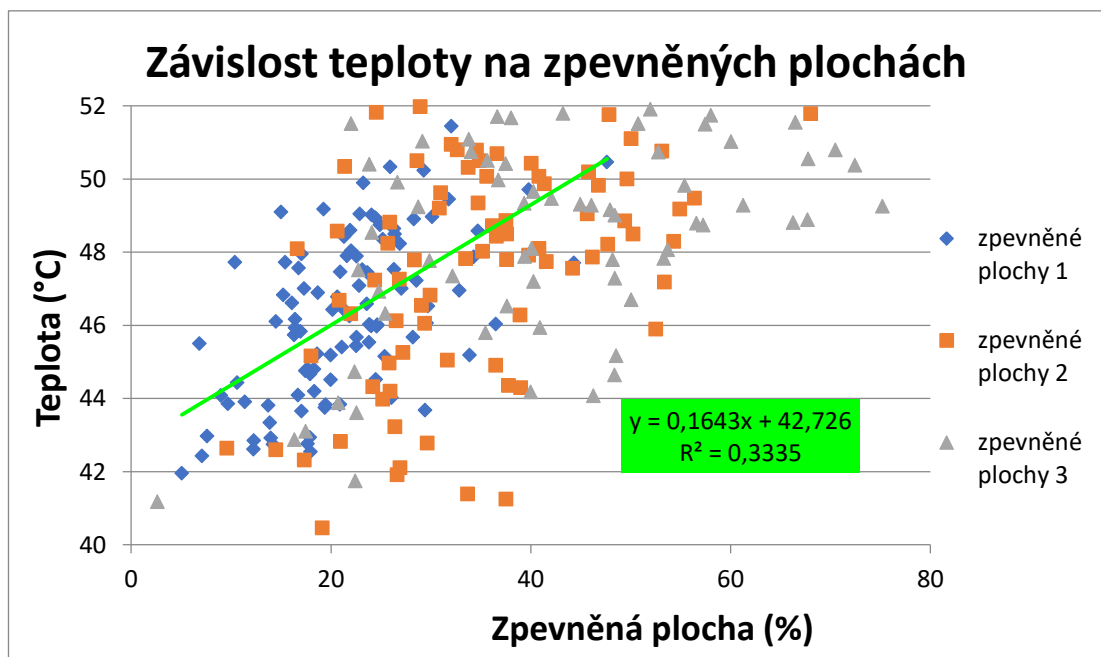
Graf 3.1: Regresní závislost teploty na plochách vody (všechna území) (zdroj: vlastní).



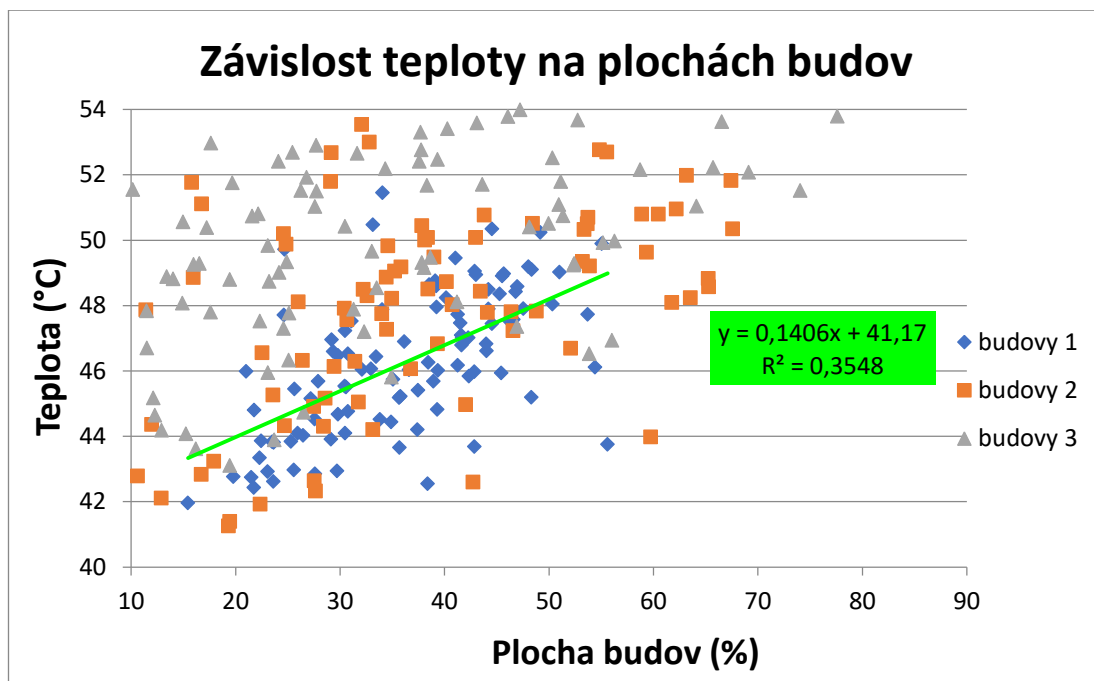
Graf 3.2: Regresní závislost teploty na plochách dřevin (všechna území) (zdroj: vlastní).



Graf 3.3: Regresní závislost teploty na plochách trávníků (všechna území) (zdroj: vlastní).



Graf 3.4: Regresní závislost teploty na zpevněných plochách (všechna území) (zdroj: vlastní).



Graf 3.5: Regresní závislost teploty na plochách budov (všechna území) (zdroj: vlastní).

Koeficient determinace (R^2) vyjadřuje, jak model vysvětluje x % variability případů. Nejslabší koeficient determinace měly trávníky (k 20 %). Zatímco voda a dřeviny měly koeficient determinace nejvyšší (cca 56 % a 47 %).

Z regresní analýzy závislosti teploty na jednotlivých druzích a zastoupenosti povrchů vyplývá, že voda, dřeviny a trávníky přispívají ke snížení okolních teplot povrchu i potažmo vzduchu. Zatímco budovy a zpevněné plochy mají přesně opačný efekt, s jejich rostoucím podílem v území teplota stoupá.

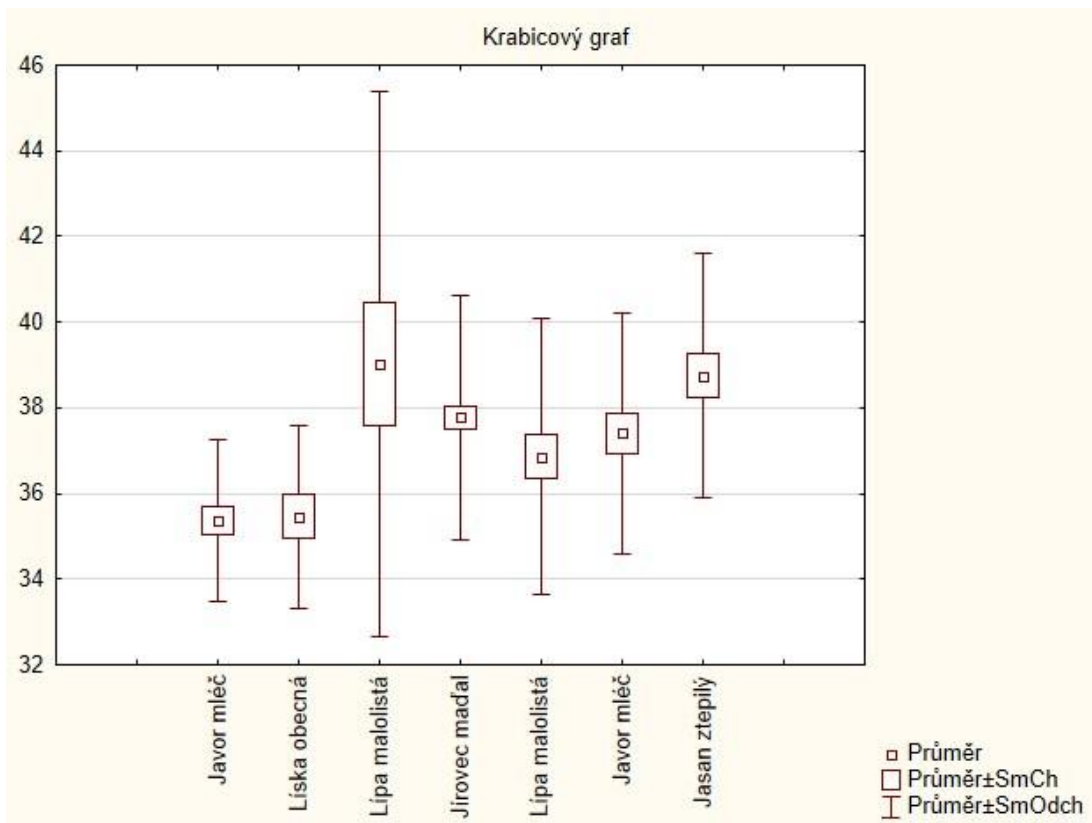
Autoři zmínění v literární rešerši se shodují s podanými daty touto prací, že pevné a nepropustné povrchy včetně městských střech absorbují nejvíce tepla (Chudnovsky et al., 2004). Zatímco vegetace (stromy, keře a trávníky) a vodní prostředí teploty ve dne snižovaly (Morille et al., 2015; Nishimimura et al., 1998). Betonový a žulový materiál zvyšoval teplotu atmosféry nad ním po celý horký letní den. Vodní útvary jsou schopny snižovat teplotu vzduchu nad nimi během celého dne (Yang a Zhao, 2015)

Je důležité zmínit, že právě voda je hlavním mediátorem při snižování teploty, přičemž sama o sobě ale nenabízí tolik užitku jako právě zmíněná vegetace. Například vegetace dokáže zachytávat z ovzduší uhlík a ukládat ho do své biomasy, čímž příznivě působí proti globální změně klimatu. Změna klimatu přináší zvyšování průměrných teplot vzduchu. Avšak při zvýšených teplotách vzduchu dochází

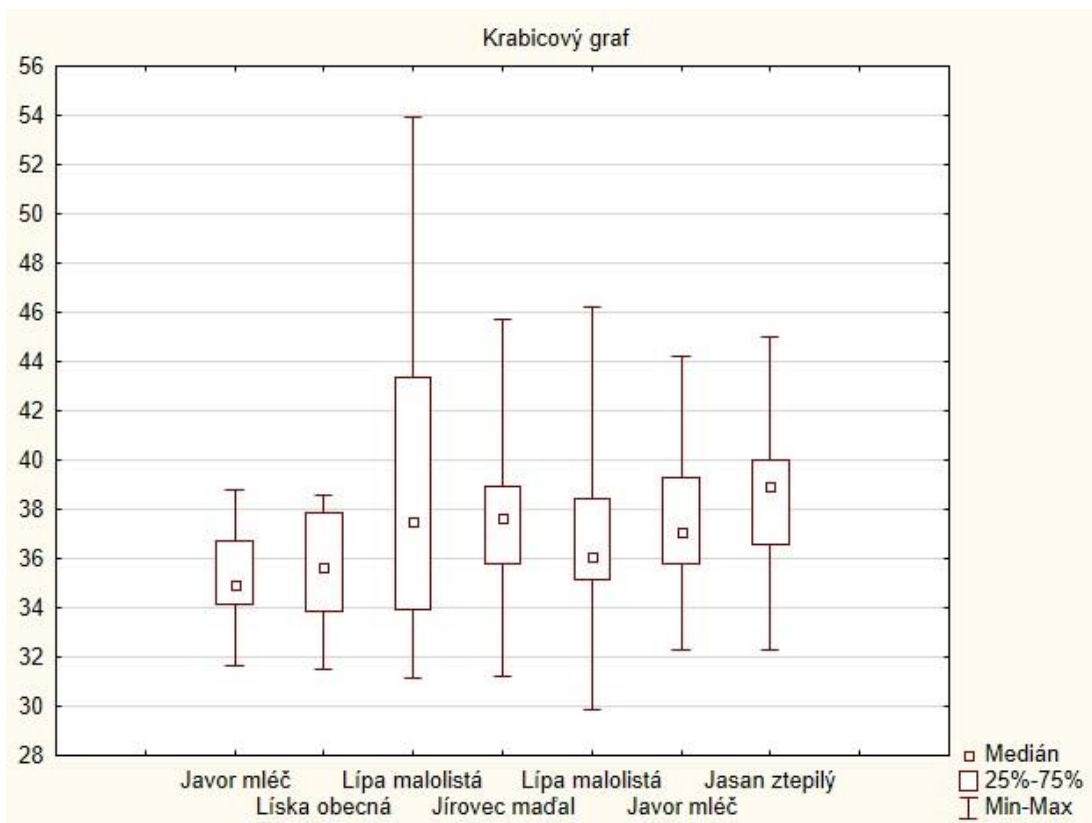
ke kumulaci přízemního ozonu v městské zástavbě (De Sario et al., 2013). Přízemní ozon a pevné částice nejvíce škodí lidskému zdraví (Engardt et al., 2009). Vysoké teploty během nárazových vln veder a přítomnost suchého klimatu působí na vegetaci tepelným stresem a odpovědí vegetace je snížená schopnost absorpce ozonu průduchy rostlin (Ordonez et al., 2005). Hlavním globálním pohlcovačem troposférického ozonu je právě vegetace (Jacob a Winner, 2009). Z čehož tedy vyplývá, že pokud se se zastoupením vegetace v území dostaneme za určitou hodnotu, a zároveň přijde vlna veder, vegetace přestává plnit své funkce a stává se zbytečnou. Proto je důležité dbát na zdravý podíl vegetace ve městech, a to s čím dál vyšším důrazem na budoucí zvyšování teplot, zvyšování počtu dnů veder tak, aby stále byla schopna chladit své okolí a udržovat život i ve městě. Podíl uměle vytvořených povrchů se musí setrvale snižovat, abychom předcházeli čím dál intenzivnějšímu efektu městských tepelných ostrovů.

3.2 Termální mapy – efekt stromů na teplotu

Z první zóny bylo zanalyzováno 72 stromů (32x javor mléč, 20x líska obecná a 20x lípa malolistá) a z druhé části 247 jedinců (138x jírovec maďal, 42x lípa malolistá, 36x javor mléč a 31x jasan ztepilý), dohromady 319 kusů dřevin. V programu STATISTICA (TIBCO Software Inc.) byl vypracován graf průměrů a směrodatných odchylek jednotlivých dřevin. První tři hodnoty zleva na ose x patří do prvního zájmového území. Viz Obrázek 3.1. Byl vypočítán mediány, horní a dolní kvartily, minima a maxima. Viz Obrázek 3.2.



Obrázek 3.1: Krabicový graf stromů – průměry a směrodatné odchylky (zdroj: vlastní).



Obrázek 3.2: Krabicový graf stromů - medián, kvartily, minimum a maximum (zdroj: vlastní).

Tyto hodnoty jsou ještě rozepsány číselně na Obrázku 3.3:

Proměnná	N platných	Průměr	Medián	Modus	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil	Rozptyl	Sm.odch.
Javor mléč	30	35,37054	34,95106	Vícenás.	31,67218	38,80115	34,11966	36,71043	3,50734	1,872789
Líska obecná	17	35,45596	35,64230	Vícenás.	31,50210	38,57987	33,87186	37,84310	4,53233	2,128926
Lípa malolistá	20	39,02780	37,50852	Vícenás.	31,14107	53,96382	33,92383	43,39189	40,54779	6,367715
Jírovec maďal	127	37,77130	37,64091	Vícenás.	31,22173	45,69795	35,78041	38,92490	8,18073	2,860197
Lípa malolistá	38	36,86557	36,07986	Vícenás.	29,83855	46,20588	35,17194	38,41773	10,44274	3,231523
Javor mléč	35	37,40423	37,04478	Vícenás.	32,30167	44,24936	35,78567	39,31793	7,88305	2,807678
Jasan ztepilý	30	38,74450	38,91505	Vícenás.	32,29143	44,98941	36,55341	39,98766	8,18952	2,861734

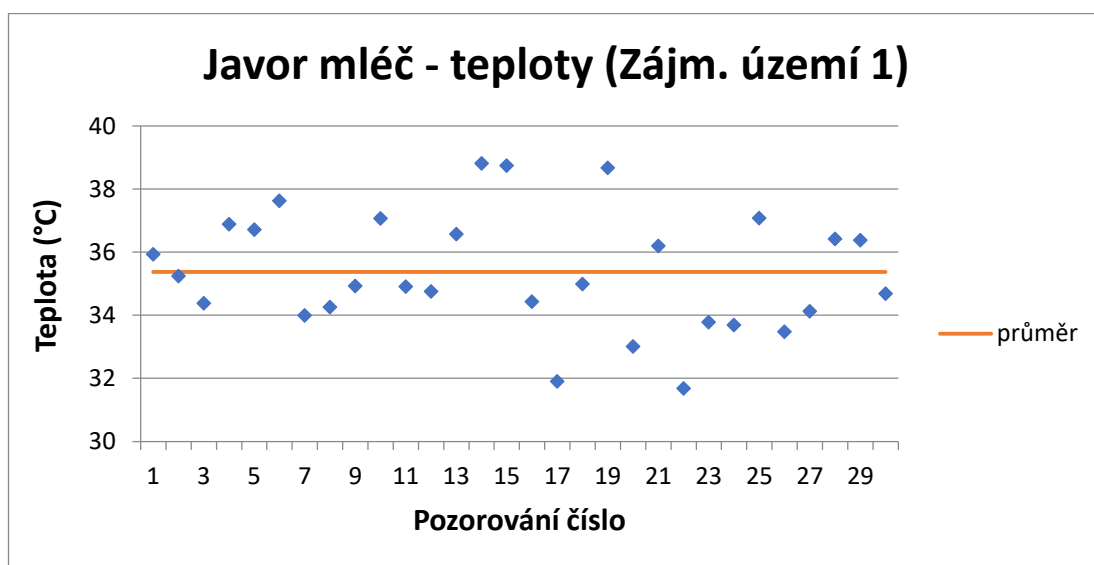
Obrázek 3.3: Statistické hodnoty pro jednotlivé druhy stromů (zdroj: vlastní).

Z hodnot popisných statistik je patrné, že lípa malolistá (*Tilia cordata*) z prvního území (3. shora) má nejvyšší směrodatnou odchylku i rozptyl v naměřených teplotách. Naopak nejpodobnější hodnoty teplot byly v první lokalitě spočítány pro javor mléč a lísku obecnou. Ve druhé lokalitě byly dřeviny z tohoto statistického hlediska poměrně vyrovnané, můžeme si také všimnout vypočtených průměrných hodnot teplot, které budou rozebrány v podkapitolách Zájmové území 1 a Zájmové území 2 níže.

3.2.1 Zájmové území 1

Javor mléč (*Acer platanoides*)

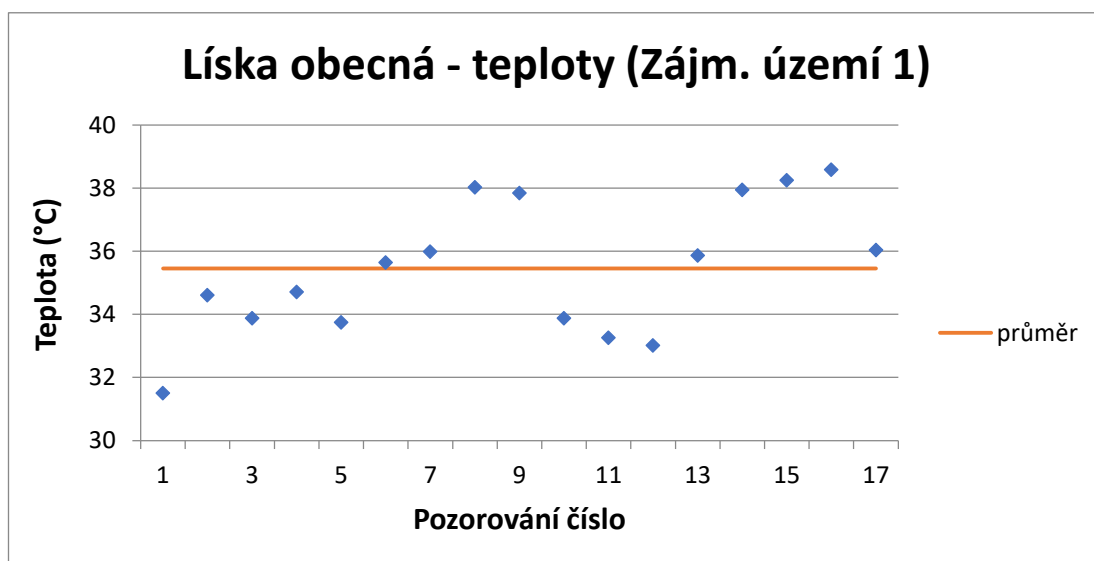
Průměrná teplota pro tento strom vyšla 35,4 °C. Viz Graf 3.6:



Graf 3.6: Průměrná teplota javoru mléče v prvním území (zdroj: vlastní).

Líška obecná (*Corylus avellana*)

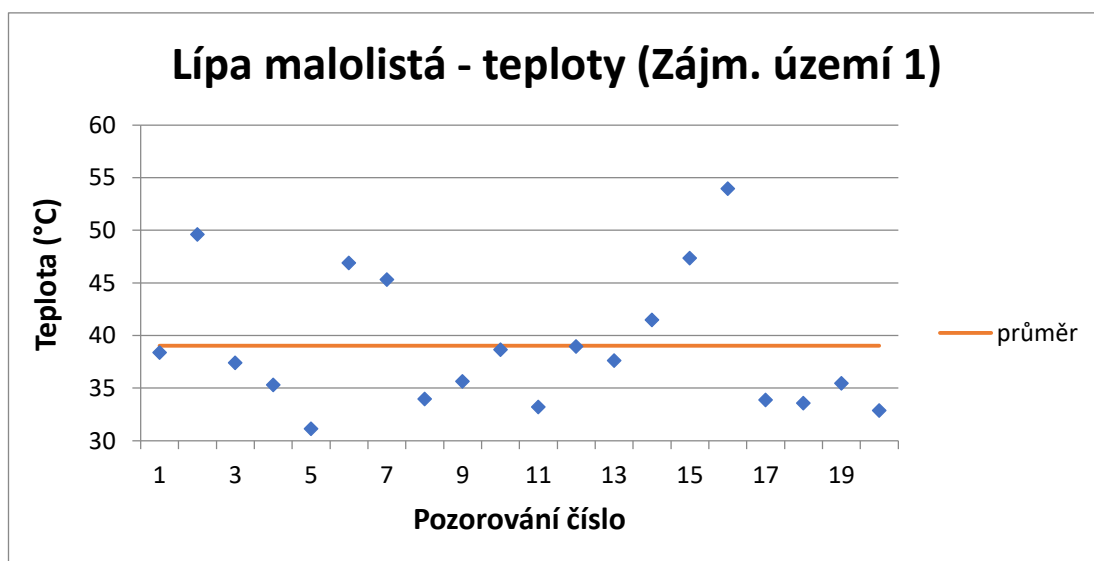
Průměrná teplota pro tento strom vyšla 35,5 °C. Viz Graf 3.7:



Graf 3.7: Průměrná teplota líšky obecné v prvním území (zdroj: vlastní).

Lípa malolistá (*Tilia cordata*)

Průměrná teplota pro tento strom vyšla 39 °C. Viz Graf 3.8:

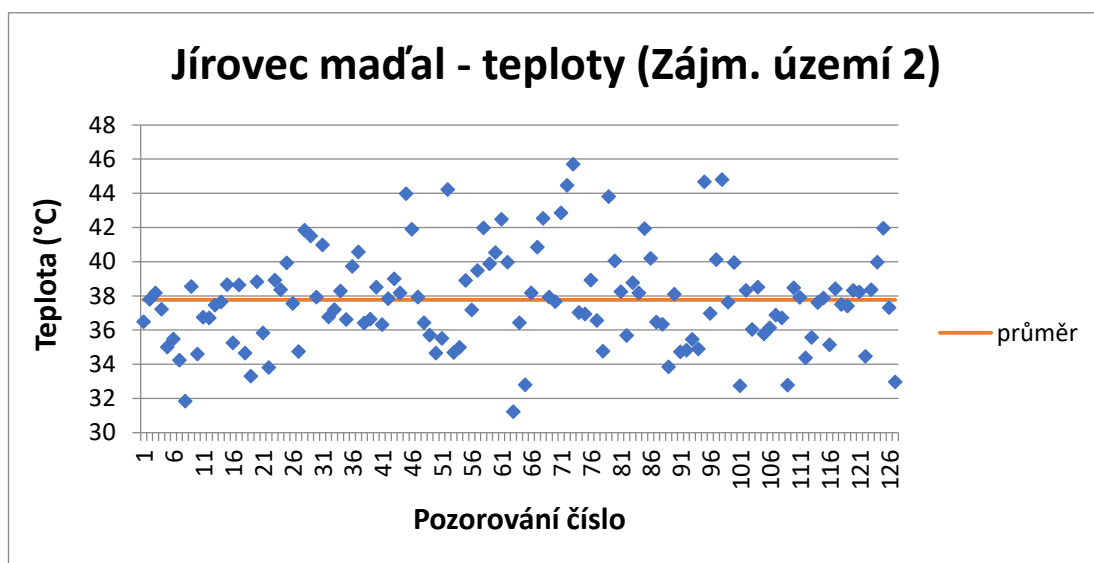


Graf 3.8: Průměrná teplota lípy malolisté v prvním území (zdroj: vlastní).

3.2.2 Zájmové území 2

Jírovec maďal (*Aesculus hippocastanum*)

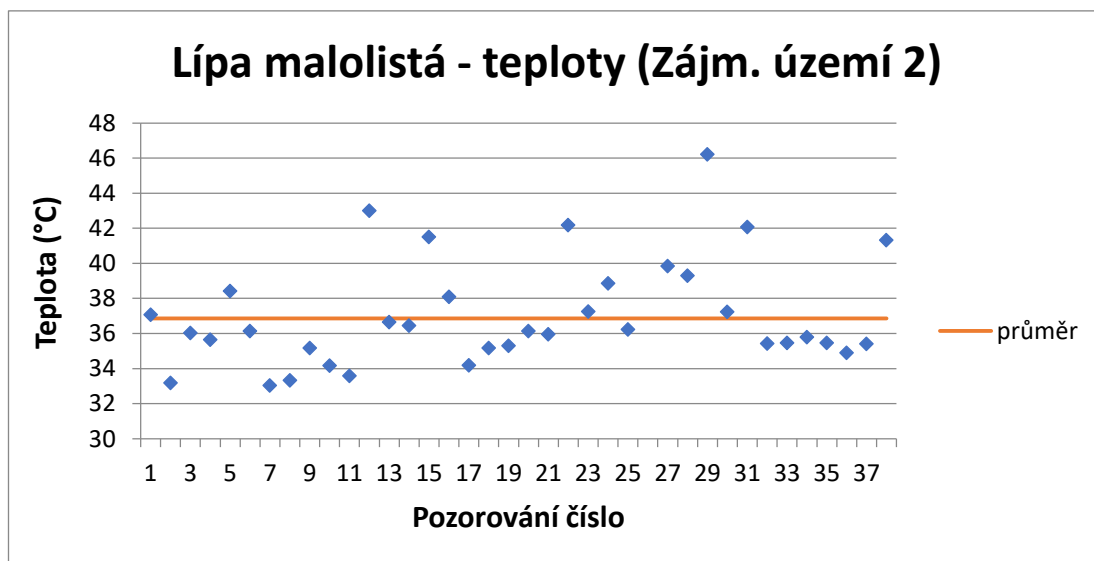
Průměrná teplota pro tento strom vyšla 37,8 °C. Viz Graf 3.9:



Graf 3.9: Průměrná teplota jírovce maďala ve druhém území (zdroj: vlastní).

Lípa malolistá (*Tilia cordata*)

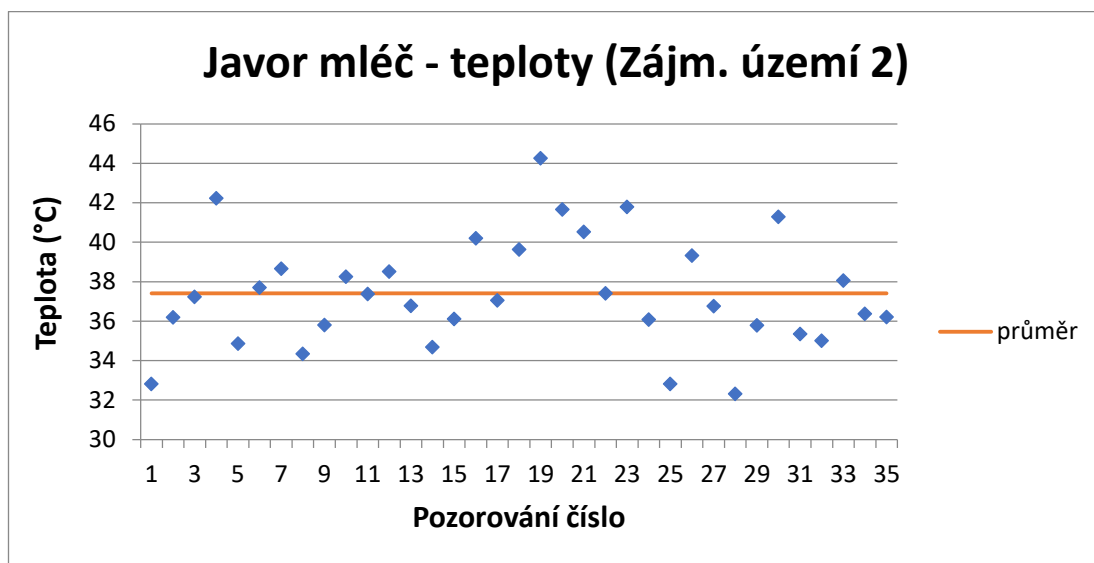
Průměrná teplota pro tento strom vyšla 36,9 °C. Viz Graf 3.10:



Graf 3.10: Průměrná teplota lípy malolisté ve druhém území (zdroj: vlastní).

Javor mléč (*Acer platanoides*)

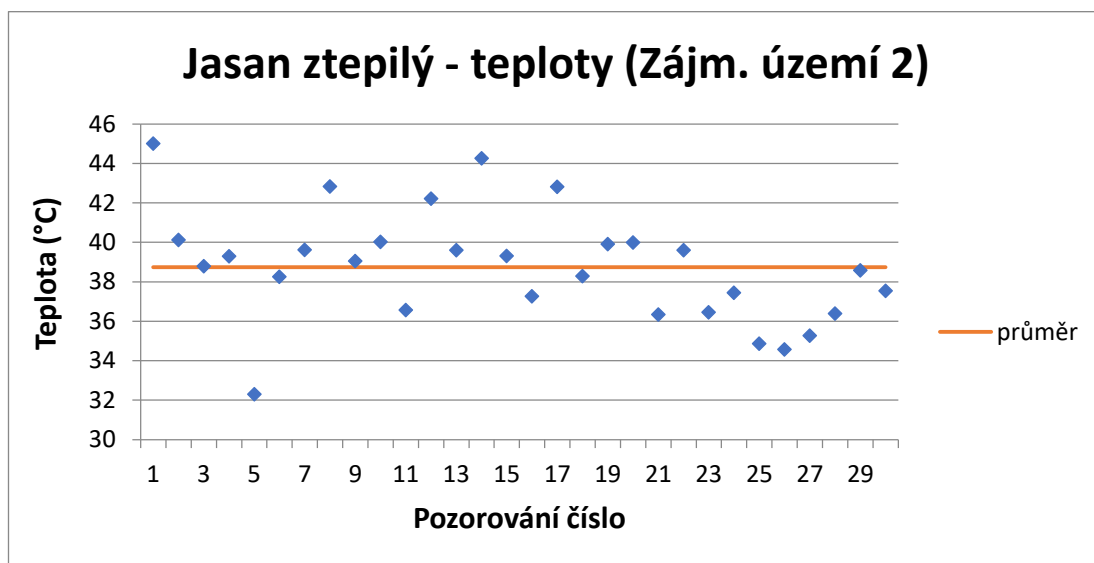
Průměrná teplota pro tento strom vyšla 37,4 °C. Viz Graf 3.11:



Graf 3.11: Průměrná teplota javoru mléče ve druhém území (zdroj: vlastní).

Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*)

Průměrná teplota pro tento strom vyšla 38,8 °C. Viz Graf 3.12:



Graf 3.12: Průměrná teplota jasanu ztepilého ve druhém území (zdroj: vlastní).

Výsledky průměrných teplot dřevin pro Zájmové území 1 vyšly odlišně oproti teplotám spočítaným za Zájmové území 2.

Z mnoha možných vysvětlení může být uveden například nerovnoměrný počet dřevin k analýze a také jejich nerovnoměrné rozmístění. Taktéž jiná druhová skladba v bezprostřední blízkosti měřeného stromu a jiná hustota porostu mohly hrát významnou roli. Na stanovištích mohly panovat odlišné hydrologické a pedologické

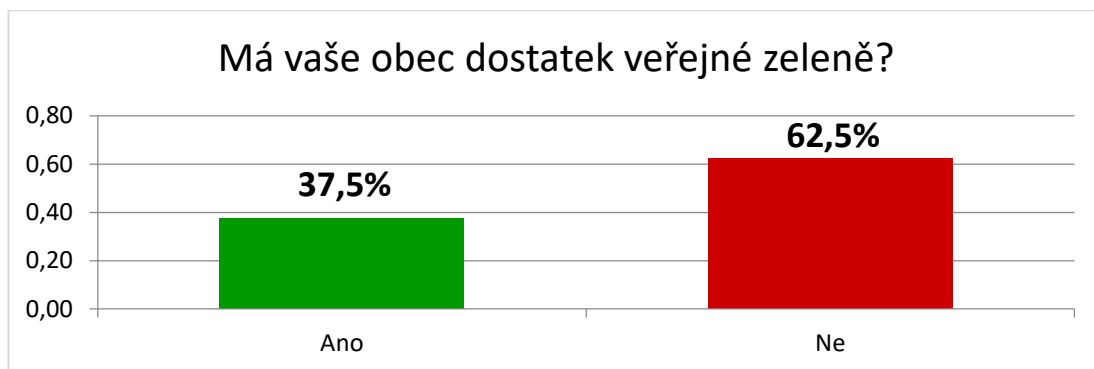
podmínky, které mají přímý vliv na transpiraci stromů. Reálná je také přítomnost městského tepelného ostrova (UHI) u centra města v Zájmovém území 2, kdy park z obou stran uzavírají vyšší budovy, což má za následek obtížnější výměnu vzduchu. Neboť v Zájmovém území 2 vyšly průměrné teploty zkoumaných dřevin o 2–3 °C vyšší než tomu bylo u dřevin v první lokalitě. A to i při srovnání totožného druhu dřeviny: javor mléč (*Acer platanoides*) – 1. ZÚ = 35,4 °C, 2. ZÚ = 37,4 °C. Nejvyšší průměrná teplota 38,8 °C vyšla pro druh jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*) a 37,8 °C pro jírovec maďal (*Aesculus hippocastanum*), který byl zastoupen ve všech oblastech Zájmového území 2 nejvíce.

Pokud nebudeme uvažovat hodnoty průměrné teploty lípy malolisté (*Tilia Cordata*) z prvního zájmového území, která má největší rozptyl v hodnotách, tak v Zájmovém území 2 vyšla pro tento druh nejnižší průměrná teplota (36,9 °C), což je v rámci druhé lokality vůbec nejnižší teplota. V první lokalitě měla dřevina líska obecná (*Corylus avellana*) naměřenu průměrnou teplotu 35,5 °C, to je také nejnižší teplota pro první lokalitu, pomineme-li nepatrný rozdíl v teplotě javoru mléče (*Acer platanoides*) s 35,4 °C. Tato zjištění korelují se studií z německých Drážďan, která označila stromy rodů líska (*Corylus*) a lípa (*Tilia*) jako vhodné do oblastí měst s vysokou tepelnou zátěží díky tomu, že vykazují nejnižší teploty vzduchu pod svými korunami. Souhlasné stanovisko pro tyto závěry zní i ze studie z roku 1993, která tvrdí, že sice všechny stromy snižují teplotu a zvyšují vlhkost pod korunami, avšak rozdíly mezi druhy dřevin jsou nepatrné (Souch a Souch, 1993).

3.3 Dotazníkové šetření – výsledky

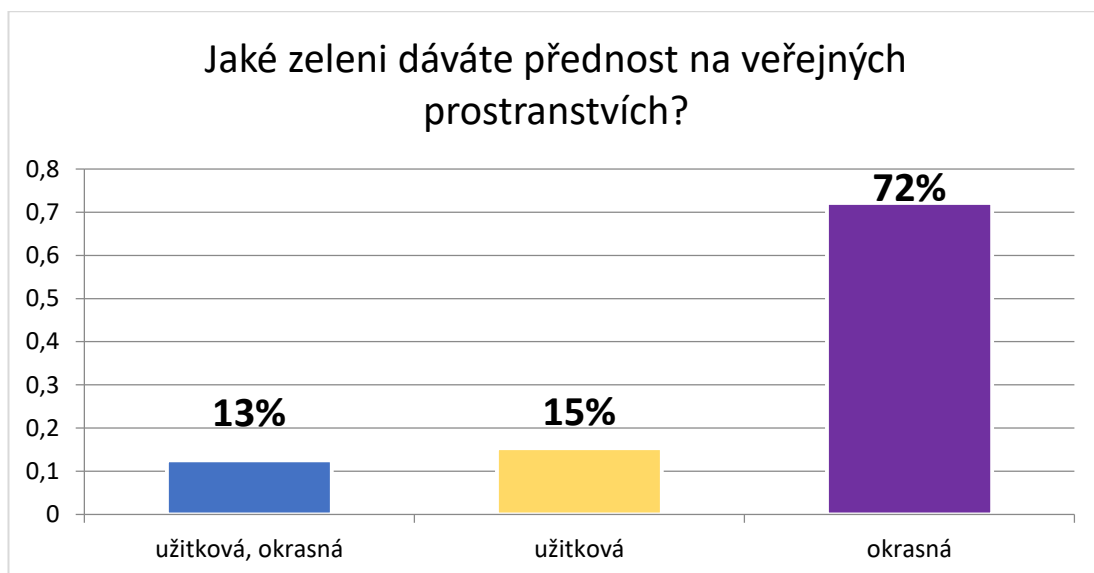
Vycházelo se z odpovědí 176 respondentů ve věku 15 až 72 let. Věkové zastoupení (68 % lidí patřilo do věkové kategorie 25–49 let) a dosažené vzdělání VŠ (66 % dotazovaných vysokoškolsky vzdělaných) bylo nejčastější.

Co znamená veřejná zeleň, nejčastěji lidé odpovídali parky, stromy a trávničky. Značná část ale neví, kde by o ní našla informace (71 %). Majoritně se odpovědi, kde konkrétně by tyto informace hledali, skládaly z reakcí typu obecní (městský) úřad (magistrát) nebo web města. Na otázku, zdali mají České Budějovice dostatek veřejné zeleně, odpověděly téměř 2/3 účastníků průzkumu, že ne. Viz Graf 3.13:

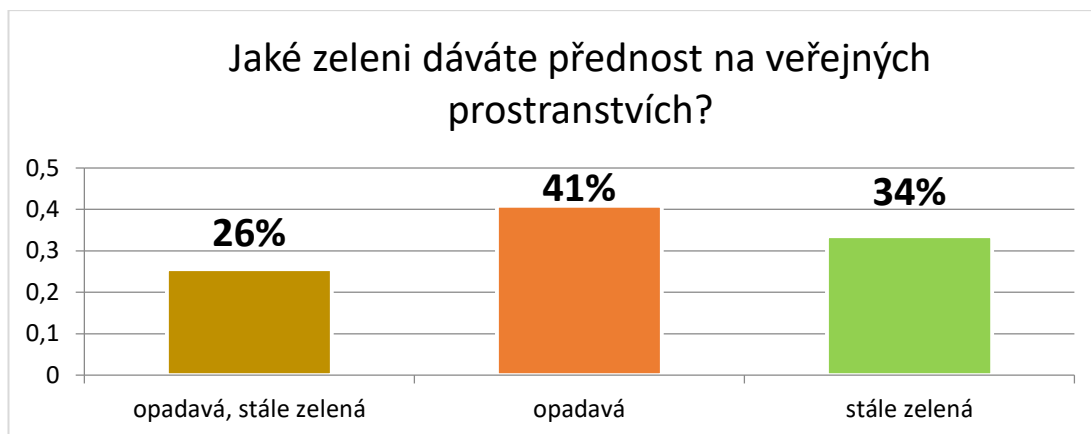


Graf 3.13: Otázka "Má vaše obec dostatek zeleně?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

Na druhou stranu na dotaz, jak daleko mají občané z místa jejich bydliště do jimi preferovaného zeleného místa pro rekreaci, odpověděli z celkem 73 % v intervalu 5–15 minut chůze. Jaké typy zeleně by občané města na veřejných prostranstvích preferovali, je znázorněno na Grafech 3.14 až 3.15:

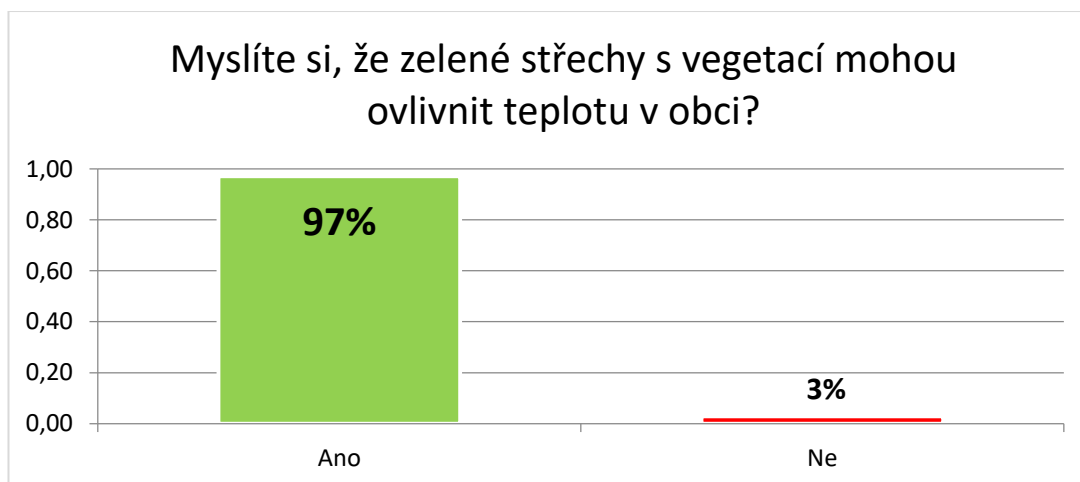


Graf 3.14: Otázka "Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).



Graf 3.15: Otázka "Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

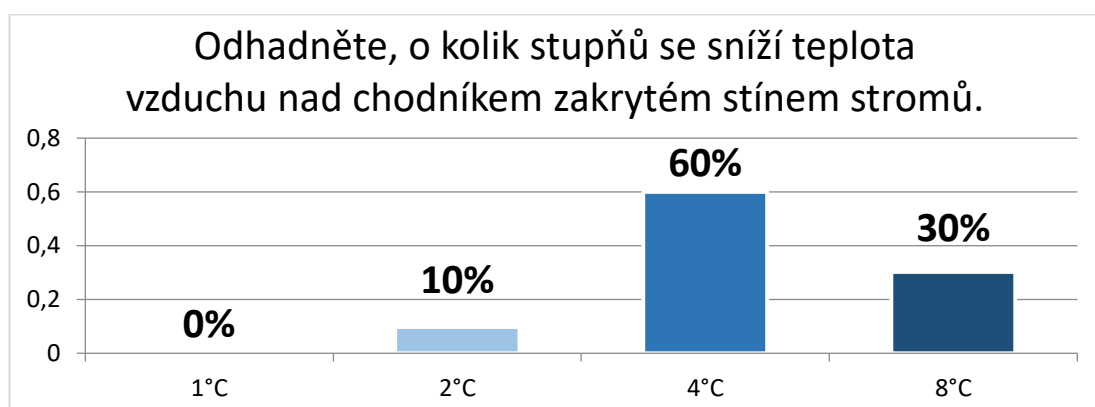
Vítanou sídelní zelení v odpovědích se stala okrasná (71 %) a opadavá zeleň (41 %). Hojně množství respondentů upřednostňuje stromy (známka 1,3), poté trávničky (2,3) a nejméně keře (2,4). Znamky jsou brány jako ve škole (1 = nejlepší). Zatímco ve vlastních zahradách by obyvatelé města požadovali nejvíce užitkovou funkci zeleně (45 %), avšak zůstali by spíše u opadavých druhů (45,5 %). Nejpreferovanějším typem zeleně byly znovu stromy, jako u veřejných ploch (se známkou 1,5), následoval trávník (2,0) a keře (2,4). Až 97 % usedlíků si myslí, že zelené střechy s vegetací mohou ovlivnit teplotu v obci, viz Graf 3.16. 87 % dotazovaných by volilo zelené střechy na svých domcích nebo panelácích.



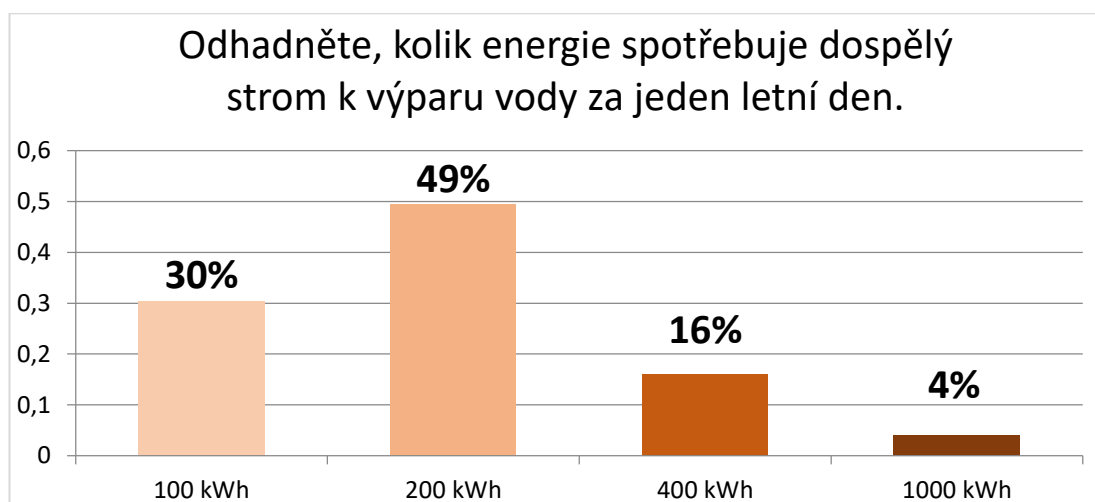
Graf 3.16: Otázka "Myslíte si, že zelené střechy s vegetací mohou ovlivnit teplotu v obci?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

Následně se dotazníkové šetření zabíralo otázkami zaměřenými na číselné údaje o fyzikálních charakteristikách porostu a jeho vlivu na okolí, které byly později ověřeny experimentálními pokusy provedenými řešiteli z projektu TEKOB v rámci CzechGlobe – Ústavu výzkumu globální změny, AV ČR v. v. i.

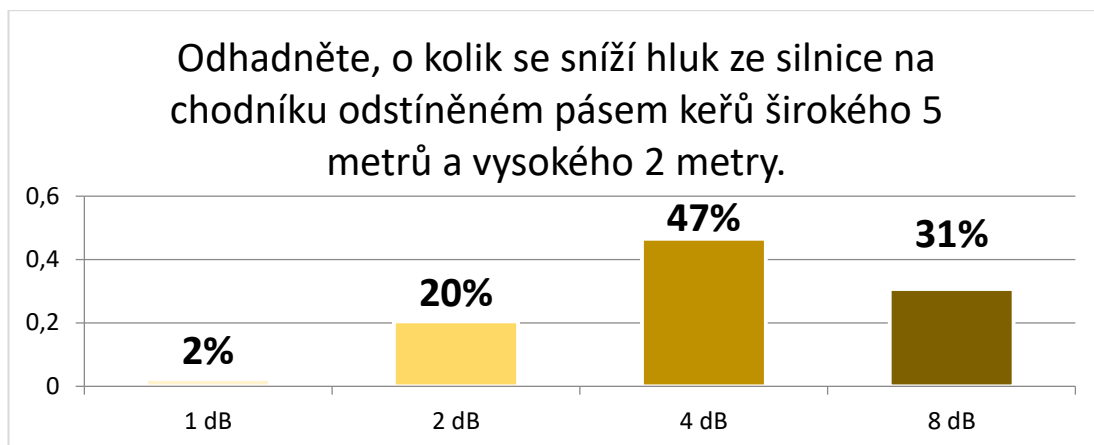
Odpovědi k otázkám jsou vykresleny v Grafech 3.17 – 3.19:



Graf 3.17: Otázka "Odhadněte, o kolik stupňů se sníží teplota vzduchu nad chodníkem zakrytém stínem stromů" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).



Graf 3.18: Otázka "Odhadněte, kolik energie spotřebuje dospělý strom k výparu vody za jeden letní den" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).



Graf 3.19: Otázka "Odhadněte, o kolik se sníží hluk ze silnice na chodníku odstíněném pásem keřů širokého 5 metrů a vysokého 2 metry." (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).

Za nejdůležitější ekosystémové služby vegetace považovali účastníci průzkumu ochlazování vzduchu (klasifikace 2,5), udržování kvality ovzduší zachytáváním prachových částic (3,0) a zasakování a zpomalení odtoku srážkové vody (3,0). Za nejméně důležité naopak označili rekreaci a estetiku (4,2) zmírňování změny klimatu ukládáním uhlíku do vegetace (4,1) a snižování hluku (4,0). Klasifikace jako v předchozích případech byla stylem 1 (= nejlepší) a 5 (= nejhorší).

3.3.1 Vyhodnocení odpovědí

Z odpovědí dotazníku vyplývá, že valná většina občanů města České Budějovice má zájem zjišťovat informace o obecní zeleni, avšak je pro ně problematické takové informace nalézt.

Dva lidé ze tří si myslí, že město nemá dostatek městské zeleně. Obyvatelé se domnívají, že z hlediska složení městské zeleně by se mělo jednat majoritně o okrasné a opadavé stromy, které by měly zajistit tepelný komfort.

Co se týká osobních preferencí lidí, volili by na svých pozemcích spíše užitkové stromy. Ale také zelené střechy – až 87 % lidí by bylo svolných k vybudování zelených střech na svých domcích a panelácích.

Na otázku experimentálního výzkumu, týkající se toho, o kolik stupňů Celsia se sníží teplota vzduchu nad chodníkem zakrytým stínem stromu, odpovědělo 90 % dotazovaných v intervalu 4–8 °C. Téměř nikdo nevybral možnost 1 °C nebo 2 °C. Pozemním měřením bylo řešiteli z CzechGlobe zjištěno, že rozdíl mezi teplotami byl menší než 3 °C, což koresponduje se zjištěním Thorssona, že stín stromů snižuje teplotu vzduchu v teplých dnech nejvýše o 1–2 °C, avšak vnímané teploty jsou ve stínu výrazně nižší (TEKOB, 2021; Thorsson et al., 2007). Odpověď takového typu tedy zvolilo pouze 10 % dotázaných.

Otázka "Odhadněte, kolik energie spotřebuje dospělý strom k výparu vody za jeden letní den", byla zodpovězena tak, že si 79 % lidí myslí, že správná odpověď je buď 100 kWh, anebo 200 kWh. Experimentálním měřením provedeným pracovníky CzechGlobe bylo zjištěno, že tato hodnota se pohybuje mezi 140 a 170 kWh za zdravý 80letý dub (TEKOB, 2021). Autor Pokorný zmiňuje jiné hodnoty – že z velkého stromu (lípa, dub či kaštan) s průměrem koruny 10 m, se v létě odpaří až 400 litrů vody. Latentní teplo vypařené by se tedy vyšplhalo při měrném skupenském teple vypařování 2,44 MJ na 278 kWh (Pokorný, 2001). Ovšem i v tomto případě je to k nejbližší odpovědi s vyšší hodnotou 400 kWh příliš daleko.

Další otázka výzkumného charakteru se zabývala snižováním hluku ze silnice na chodníku odstíněném pásem keřů širokým 5 m a širokým 2 m, se vzdáleností 2 m od krajnice. Téměř třetina respondentů odhadla správnou odpověď – po dosazení do vzorce o poklesu hladiny akustického tlaku z liniového zdroje vyšlo 8,8 dB (TEKOB, 2021). Studie z roku 2017 dospěla k podobným závěrům – že středně husté až husté vegetační bariéry u silnic mohou snížit hluk z dopravy o 9–11 dB, přičemž největší přínos pro snížení hluku se nachází v 5 m vzdáleném pásu od zdroje zvuku (avšak vzdálenost více než 10 metrů ztrácí efektivnost) (Ow a Ghosh, 2017).

Závěr

Účelem této práce bylo poskytnout základní vhled do problematiky dálkového průzkumu Země, jeho definic, aplikací a principů se zaměřením na leteckou variantu. Protože hlavní proměnnou dálkového průzkumu Země je sběr a vyhodnocování informací z elektromagnetického záření, byl tento fenomén popsán detailně, neboť právě záření je nosičem toho, s čím můžeme v rámci tohoto oboru operovat. Dále bylo rozebráno stále aktuálnější téma městských tepelných ostrovů, proč vznikají a jaký mají vliv na lidské zdraví a tepelný komfort obyvatel. A to vše v souvislosti s globální změnou klimatu, protože globální oteplování souvisí se vznikem extrémních jevů v počasí. To popohání prostorový růst a zintenzivňování efektu městských tepelných ostrovů.

Cílem praktické části práce bylo zhodnotit prostorové rozložení povrchových teplot ve třech reprezentativních lokalitách statutárního města České Budějovice v době extrémních letních veder v závislosti na jednotlivých třídách pokryvu, nebo také můžeme říci land use. Dále byly porovnány průměrné teploty vztahující se k různým druhům dřevin. Praktickou část zakončil dotazník položený obyvatelům Českých Budějovic, jenž byl zaměřen na roli zeleně v rámci městského prostředí. Z něj mj. vyplynulo, že si 2/3 občanů myslí, že město nemá dostatek sídelní zeleně.

Výsledkem praktické části práce byla zjištění, že nepropustné povrchy jsou schopny akumulovat zahříváním svého povrchu přes sluneční záření značné teplo, které z nich pak sálá a zvyšuje teplotu v okolí. Mezi takové povrchy lze řadit betonový materiál, silnice, chodníky, střechy i stěny budov. Naopak opačný, chladící efekt poskytuje veškerá zdravá vegetace, která transpiruje vodu, neboť voda na vypaření objemu 1 litru spotřebuje 2,44 MJ při teplotě 20 °C. Vegetace navíc poskytuje mnohé další výhody, jakými je zvlhčování vzduchu, zvyšování biodiverzity v okolí, stínění, produkce kyslíku, vázání uhlíku do biomasy, absorpce ozonu, redukce hluku, zachytávání prachových částic, ochrana před větrem, zlepšení nakládání s dešťovou vodou apod.

Dvě látky znečišťující ovzduší, které nejvíce škodí veřejnému zdraví, jsou přízemní ozon a pevné částice. Zatímco dlouhodobé vystavení hluku v prostředí může vést k poruchám spánku, hypertenzi a kardiovaskulárním onemocněním. Extrémní vedra jsou v současnosti v USA nejčastější příčinou úmrtí, která souvisejí s počasím. Vlny extrémních veder se už začínají prosazovat i na evropské půdě

a úpal se bude stávat stále častější diagnózou, která se dotkne nejen lidského obyvatelstva. Problémy s termoregulací čekají vše živé včetně rostlin, které kvůli tepelnému stresu a přehřívání budou v konečném důsledku vadnout. Otázkou však zůstává, jestli k tomu musíme dojít.

Městské oblasti produkují přes 70 % všech emisí CO₂, čímž podporují jak globální oteplování, tak oteplování lokální v městské zástavbě, které podporuje vznik městských tepelných ostrovů. Rozdíly v teplotách v rámci různých částí města bývají často výraznější, nežli kdybychom porovnávali městské a venkovské oblasti. Pro zmírnění dopadu městských tepelných ostrovů se doporučuje použití zelených (s vegetací) a bílých (odrazivých) střech – bílé střechy zvyšují albedo. Ozelenění stěn budov a parkovišť přispěje také. Pro snížení efektu UHI je možné navrhovat velké i malé městské parky, městské lesy, městské zahrady, pouliční stromy a aleje, zelené fasády ad. Nejúčinnějšími tvary v ochlazovacím účinku parků jsou kruhové a obdélníkové.

Bylo zjištěno, že stromy rodu lípa (*Tilia*) a líska (*Corylus*) skutečně snižují teplotu nejvíce. Avšak rozdíly jsou v jednotkách stupňů Celsia oproti jiným druhům vegetace. Ovšem vegetace jako celek představuje vysokou ochranu před slunečním zářením a jeho tepelnými účinky, pokud vezmeme v úvahu, že některé umělé povrchy se dokáží v tropický den rozpálit i přes 70 °C, jak lze vyčíst z mapových výstupů hyperspektrálních dat.

Dálkový průzkum Země pracuje se zářením aktivně či pasivně vyzářeným i odraženým. Aktivní dálkový průzkum nejčastěji používá laserové přístroje, které vysílají signál, ten se pak vrací zpět jako echo.

Obecně hlavní výhodou leteckého dálkového průzkumu je rychlý a široký sběr dat z rozsáhlých území, nevýhodou je ale náchylnost techniky k aktuálním meteorologickým podmínkám. Dálkový průzkum se stává v posledních letech dominantnější součástí našich životů. Data ze satelitů jsou stále přístupnější široké veřejnosti. A zatímco jejich kvalita roste, tak cena paradoxně klesá. Rozsah využití je již dnes značný, přesto se objevují nové praktické aplikace a metody, které tyto obzory ještě rozšiřují.

Seznam použité literatury

Publikace

Adachi, S. A. et al. (2014). Moderation of Summertime Heat Island Phenomena via Modification of the Urban Form in the Tokyo Metropolitan Area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(8): 1886–1900.

Armson, D. et al. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(3): 245–255.

Arnfield, A. J. (2003): Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1): 1–26.

Ayala-Silva, T. a Beyl, C.A. (2005). Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research*, 35(3): 305–317.

Best, M. J. a Grimmond, C. S. B. (2015). Key Conclusions of the First International Urban Land Surface Model Comparison Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(5): 805–818.

Campbell, J. B. a Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Fifth Edition. New York: Guilford Press. ISBN 160918176x.

Clark, Ch. a Paunovic, K. (2018). WHO Environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and quality of life, wellbeing and mental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2): 285.

Chapman, S. et al. (2018). The Effect of Urban Density and Vegetation Cover on the Heat Island of a Subtropical City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(11): 2531–2550.

Chudnovsky, A. et al. (2004). Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy Build*, 36(11): 1063–1074.

de Munck, C. (2012). How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France? *International Journal of Climatology*, 33(1): 210–227.

De Sario, M. et al. (2013). Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *European Respiratory Journal*, 42: 826–843.

Dimoudi, A. et al. (2013). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, 64: 1–9.

Engardt M. et al (2009). Climate and emission changes contributing to changes in near-surface ozone in Europe over the coming decades: results from model studies. *Ambio*, 38(8): 452–458.

Farshid, A. et al. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4): 1–31.

Fang, Ch. a Ling, D. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), 187–195.

Georgi, N. J. a Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystem*, 9(3): 195–209.

Gillner, S. et al. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143: 33-42.

Goodrich, B. A. a Jacobi W. R. (2012). Foliar damage, ion content, and mortality rate of five common roadside tree species treated with soil applications of magnesium chloride. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(2): 847–862.

Jacob, D. J. a Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1): 51–63.

Kovats, R. S. a Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29(1): 41–55.

Kumar, D. a Shekhar, S. (2015). Statistical Analysis of Land Surface Temperature-Vegetation Indexes Relationship through Thermal Remote Sensing. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121(1): 39–44.

Leuzinger, S. et al. (2009). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1): 56–62.

Li, D. et al. (2015). Contrasting responses of urban and rural surface energy budgets to heat waves explain synergies between urban heat islands and heat waves. *Environmental Research Letters*, 10(5): 054009.

Lillesand, T. et al. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Seventh Edition. Hoboken, N. J.: Wiley. ISBN 9781118343289.

Liu, L. et al. (2017). Mapping urban tree species using integrated airborne hyperspectral and LiDAR remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 200: 176-182.

Linder, W. (2016). *Digital Photogrammetry – A Practical Course*. Fourth Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-662-50462-8.

Mastelic, T. et al. (2020). Aerial Imagery Based on Commercial Flights as Remote Sensing Platform. *Sensors (Basel)*, 20(6): 1658.

Melaas, E. K. et al. (2016). Interactions between urban vegetation and surface urban heat islands: A case study in the Boston metropolitan region. *Environmental Research Letters*, 11(5): 054020.

Mouget, A. a Lucet, G. (2014). Photogrammetric Archaeological Survey with UAV. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5): 251–258.

Morille, B. et al. (2015). Preliminary study of the impact of urban greenery types on energy consumption of building at a district scale: Academic study on a canyon street in Nantes (France) weather conditions. *Energy and Buildings*, 114(15): 275–282.

Nishimura, N. et al. (1998). Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. *Solar Energy*, 64(4-6): 197–207.

Ordóñez, C. et al. (2005). Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(5): 1187–1203.

Ow, L. F. a Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15–20.

Papangelis, G. et al. (2012). An urban “green planning” approach utilizing the Weather Research and Forecasting (WRF) modeling system. A case study of Athens, Greece. *Landscape Urban Planning*, 105(1-2): 174–183.

Pickett, S. T. A. a Cadenasso, M. L. (2009). Altered resources, disturbance, and heterogeneity: A framework for comparing urban and non-urban soils. *Urban Ecosystems*, 12(1): 23–44.

Pokorný, J. (2001) Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy*, 24 (3–4): 641-645.

Rahman, M. A. et al. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis, *Building and Environment*, 170, 106606.

Rao, P. et al. (2014). Atmospheric nitrogen inputs and losses along an urbanization gradient from Boston to Harvard Forest, MA. *Biogeochemistry*, 121(1): 229–245.

Rees, G. (2013). *Physical principles of remote sensing*. Third Edition. New York: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-18116-7.

Roman, L. A. a Scatena, F. N. (2011). Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA. *Urban Forestry and Urban Greening*, 10(4): 269–274.

Sailor, D. J. a Pavlova, A. A. (2003). Air Conditioning Market Saturation and Long-Term Response of Residential Cooling Energy Demand to Climate Change. *Energy*, 28(9): 941–951.

Sakieh, Y. et al. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers, *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 195–211.

Souch, C. A. a Souch, C. (1993). The effect of trees on summertime below canopy urban climates: A case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboriculture*, 19(5): 303–312.

Spronken-Smith, R. A a Oke, T. R. (1998): The thermal régime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11): 2085–2104.

Stratópoulos, L. M. F. et al. (2018). Effect of native habitat on the cooling ability of six nursery-grown tree species and cultivars for future roadside plantings. *Urban Forestry and Urban Greening*, 30: 37–45.

Taghvaeian, S. et al. (2013). Remote sensing for evaluating crop water stress at field scale using infrared thermography: potential and limitations. *Hydrology Days*: Fort Collins, USA, 73–83.

Tempfli, K. et al. (2009). *Principles of remote sensing: an introductory textbook*. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. ISBN 978-90-6164-270-1.

Thorsson, S. et al. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27(14): 1983–1993.

Toth, C. K. a Józkw, G (2016). Remote sensing platforms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115: 22–36.

van Ruijven, B. J. et al. (2019). Amplification of future energy demand growth due to climate change. *Nature Communications*, 10(1): 1–12.

Wang, J. A. et al. (2017). Gradients of atmospheric temperature and humidity controlled by local urban land use intensity in Boston. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56(4): 817–831.

Weinberger, K. R. et al. (2017). Projected temperature-related deaths in ten large U.S. metropolitan areas under different climate change scenarios. *Environment International*, 107: 196–204.

Winbourne, J. B. et al. (2020). Tree Transpiration and Urban Temperatures: Current Understanding, Implications, and Future Research Directions, *BioScience*, 70(7): 576–588.

Wójtowicz, M. et al. (2016). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11: 31–50.

Yang, X. a Zhao, L. (2015). Diurnal Thermal Behavior of Pavements, Vegetation, and Water Pond in a Hot-Humid City. *Buildings*, 6(1): 2.

Yu, L. et al. (2020). Impact of recent vegetation greening on temperature and precipitation over China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 295: 108197.

Yu, Z. et al. (2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? *Ecological Indicators*, 82: 152-162.

Zemek, F. et al. (2014). *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. Brno: Centrum výzkumu globální změny AV ČR. ISBN 978-80-87902-07-3.

Zhao, N. et al. (2021). Tree characteristics and environmental noise in complex urban settings – A case study from Montreal, Canada. *Environmental Research*, 202: 111887.

Ziter, C. D. et al. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15: 7575–7580.

Internetové zdroje

ČHMÚ. *Historické extrémy* [online]. 2022 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/historicke-extremy>

The European Space Agency. *Sentinel-3* [online]. 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>

The European Space Agency. *Sentinel-2* [online]. 2019 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

In-počasí.cz. *České Budějovice - 24.07.2019* [online]. 2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:

https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/ceske_budejovice/?historie=2019-07-24

Liberec.cz. *Brožura BIDE LIN* [online]. 2019 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.liberec.cz/files/dokumenty/odbory/odbor-strategickeho-rozvoje-dotaci/dotacni%20projekty/bidelin/brozura_bidelin.pdf

Místopisy.cz. *České Budějovice* [online]. 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/2942/ceske-budejovice/>

National Aeronautics and Space Administration. *Landsat 9* [online]. 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>

Statutární město České Budějovice. *O městě* [online]. 2022 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.c-budejovice.cz/o-meste>

TEKOB. *Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích – Vyhodnocení webového dotazníku* [online]. 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z:

http://tekob.czechglobe.cz/wp-content/uploads/2022/01/Vyhodnoceni_dotazniku_20220125.pdf

Technicka-zarizeni.cz. *Z tendru na dostavbu horkovodu z JE Temelín do Českých Budějovic vzešly dvě vítězné společnosti* [online]. 2021 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.technicka-zarizeni.cz/z-tendru-na-dostavbu-horkovodu-z-je-temelin-do-ceskych-budejovic-vzesly-dve-vitezne-spolecnosti/>

Oddělení leteckých činností CzechGlobe. *Galerie 2022* [cit. 2022-03-30]. Dostupné z:

https://olc.czechglobe.cz/wp-content/uploads/photo-gallery/imported_from_media_library/thumb/Cessna-208B-Grand-Caravan.jpg?bwg=1563785424

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Složky elektromagnetického záření (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).....	16
Obrázek 1.2: Vztah vlnových délek, frekvencí a energií (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).....	17
Obrázek 1.3: Elektromagnetické spektrum (Zemek et al., 2014).	19
Obrázek 1.4: Propustnost záření atmosférou (Zemek et al., 2014).....	20
Obrázek 1.5: Rozptyl modrého a červeného světla (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).....	21
Obrázek 1.6: Tři typy odrazu (Zemek et al., 2014).....	22
Obrázek 1.7: Spektrální křivka odrazivosti vegetace (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).....	23
Obrázek 1.8: Spektrální křivka odrazivosti travního porostu, jehličnatého a listnatého lesa (Zemek et al., 2014).	24
Obrázek 1.9: Spektrální křivka odrazivosti půd (Zemek et al., 2014).	25
Obrázek 1.10: Spektrální křivka odrazivosti vody a sněhu (Zemek et al., 2014).	26
Obrázek 1.11: Spektrální křivka odrazivosti umělých materiálů (Zemek et al., 2014).	26
Obrázek 1.12: Koncept zobrazovací spektrometrie (hyperspektrální skenery) (Tempfli et al., 2009, úprava: vlastní).....	29
Obrázek 1.13: Digitalizace laserového signálu dle intenzity echa (Zemek et al., 2014).	30
Obrázek 1.14: Energetické bilance 3 modelových městských oblastí (Winbourne et al., 2020).	37
Obrázek 2.1: Území Č. Budějovic v Jihočeském kraji (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	42
Obrázek 2.2: Mapa zájmových území Č. Budějovice (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	43
Obrázek 2.3: Zájmové území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).	44
Obrázek 2.4: Dřeviny v zájmovém území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). ...	45
Obrázek 2.5: Zájmové území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).	46
Obrázek 2.6: Dřeviny v zájmovém území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). ...	49
Obrázek 2.7: Mapa dřevin Oblasti 1 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). ...	50
Obrázek 2.8: Mapa dřevin Oblasti 2 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). ...	51

Obrázek 2.9: Mapa dřevin Oblasti 3 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). ..	52
Obrázek 2.10: Mapa dřevin Oblasti 4 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). 53	
Obrázek 2.11: Mapa dřevin Oblasti 5 detailně (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní). 54	
Obrázek 2.12: Zájmové území 3 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	55
Obrázek 2.13: Cessna 208B Grand Caravan (Oddělení leteckých činností CzechGlobe, 2022).....	56
Obrázek 2.14: Přístrojové vybavení FLIS (Oddělení leteckých činností CzechGlobe, 2022).	58
Obrázek 2.15: Postup 1 – třídy pokryvu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní)..	59
Obrázek 2.16: Postup 2 – třídy pokryvu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní)..	60
Obrázek 2.17: Postup 3 – třídy pokryvu (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní)..	60
Obrázek 2.18: Třídy pokryvu Zájmového území 1 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	61
Obrázek 2.19: Třídy pokryvu Zájmového území 2 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	61
Obrázek 2.20: Třídy pokryvu Zájmového území 3 (zdroj: ČÚZK, zpracování: vlastní).....	62
Obrázek 2.21: Termální mapa Zájmového území 1 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	62
Obrázek 2.22: Termální mapa Zájmového území 2 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	63
Obrázek 2.23: Termální mapa Zájmového území 3 (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	63
Obrázek 2.24: Postup 1: termální mapa v prostředí ArcMap (zdroj: vlastní).....	64
Obrázek 2.25: Postup 2: termální mapa v prostředí ArcMap (zdroj: vlastní).....	65
Obrázek 3.1: Krabicový graf stromů – průměry a směrodatné odchylky (zdroj: vlastní).....	72
Obrázek 3.2: Krabicový graf stromů - medián, kvartily, minimum a maximum (zdroj: vlastní).....	72
Obrázek 3.3: Statistické hodnoty pro jednotlivé druhy stromů (zdroj: vlastní).....	73

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Nejrozšířenější vegetace parku u zastávky MHD Evžena Rošického v číslech (zdroj: vlastní).....	44
Tabulka 2.2: Nejrozšířenější vegetace parku Na Sadech v číslech (zdroj: vlastní) ..	47
Tabulka 2.3: Nejrozšířenější vegetace parku Na Sadech v 5 dílčích oblastech (zdroj: vlastní).....	48
Tabulka 2.4: Sumární počet kusů dřevin parku Na Sadech v 5 dílčích oblastech (zdroj: vlastní).....	48
Tabulka 2.5: Poměr počtu nejrozšířenější k celkové vegetaci v oblastech O1–O5 (zdroj: vlastní).....	49

Seznam grafů

Graf 3.1: Regresní závislost teploty na plochách vody (všechna území) (zdroj: vlastní).....	68
Graf 3.2: Regresní závislost teploty na plochách dřevin (všechna území) (zdroj: vlastní).....	68
Graf 3.3: Regresní závislost teploty na plochách trávníků (všechna území) (zdroj: vlastní).....	69
Graf 3.4: Regresní závislost teploty na zpevněných plochách (všechna území) (zdroj: vlastní).....	69
Graf 3.5: Regresní závislost teploty na plochách budov (všechna území) (zdroj: vlastní).....	70
Graf 3.6: Průměrná teplota javoru mléče v prvním území (zdroj: vlastní).....	73
Graf 3.7: Průměrná teplota lísky obecné v prvním území (zdroj: vlastní).....	74
Graf 3.8: Průměrná teplota lípy malolisté v prvním území (zdroj: vlastní).....	74
Graf 3.9: Průměrná teplota jírovce maďala ve druhém území (zdroj: vlastní).....	75
Graf 3.10: Průměrná teplota lípy malolisté ve druhém území (zdroj: vlastní).....	75
Graf 3.11: Průměrná teplota javoru mléče ve druhém území (zdroj: vlastní).....	76
Graf 3.12: Průměrná teplota jasanu ztepilého ve druhém území (zdroj: vlastní).....	76
Graf 3.13: Otázka "Má vaše obec dostatek zeleně?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	78
Graf 3.14: Otázka "Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	78
Graf 3.15: Otázka "Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	79
Graf 3.16: Otázka "Myslíte si, že zelené střechy s vegetací mohou ovlivnit teplotu v obci?" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	79
Graf 3.17: Otázka "Odhadněte, o kolik stupňů se sníží teplota vzduchu nad chodníkem zakrytém stínem stromů" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	80
Graf 3.18: Otázka "Odhadněte, kolik energie spotřebuje dospělý strom k výparu vody za jeden letní den" (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	80
Graf 3.19: Otázka "Odhadněte, o kolik se sníží hluk ze silnice na chodníku odstíněném pásem keřů širokého 5 metrů a vysokého 2 metry." (zdroj: CzechGlobe, zpracování: vlastní).....	81

Seznam použitých zkratek

CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMT	digitální model terénu
DN	Digital Number
DPZ	dálkový průzkum Země
EM	elektromagnetický
ERTS	Earth Resources Technology Satellites
ESA	Evropská kosmická agentura
FWHM	Full-Width at Half-Maximum (plná šířka v polovině maxima)
GCP	pozemní kontrolní body
GIS	geografický informační systém
GNSS	globální družicový polohový systém
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sampling Distance
IFOV	okamžité zorné pole radiometru (prostorové rozlišení)
IMU	Inertial Measurement Unit
LiDAR	Light Detection And Ranging
LWIR	Long-Wave Infrared
MIR	Mid-infrared
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	Near-infrared
TIR	Thermal Infrared
UAV	bezpilotní letecké prostředky
UHI	Urban Heat Island
ZÚ	zájmové území

Seznam příloh

Příloha č. 1: Pohled do ulice Antonína Slavička v prvním zájmovém území.

Příloha č. 2: Fotbalové hřiště ZŠ Emy Destinové v prvním zájmovém území.

Příloha č. 3: List javoru mléče z prvního zájmového území.

Příloha č. 4: List lísky obecné z prvního zájmového území.

Příloha č. 5: List lípy malolisté z prvního zájmového území.

Příloha č. 6: Náměstí Přemysla Otakara II. z druhého zájmového území.

Příloha č. 7: Pohled přes řeku Malší na Zátkovo nábřeží v druhém zájmovém území.

Příloha č. 8: List a květ jírovce maďala z druhého zájmového území.

Příloha č. 9: Listy lípy malolisté z druhého zájmového území.

Příloha č. 10: Listy javoru mléče z druhého zájmového území.

Příloha č. 11: Pohled na industrializovanou zónu města z ulice Novohradská ve třetím zájmovém území.

Příloha č. 12: Dotazníkové šetření Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích na platformě Google Forms.

Příloha č. 1: Pohled do ulice Antonína Slavička
v prvním zájmovém území.



Příloha č. 2: Fotbalové hřiště ZŠ Emy Destinové
v prvním zájmovém území



Příloha č. 3: List javoru mléče z prvního zájmového území.



Příloha č. 4: List lísky obecné z prvního zájmového území.



Příloha č. 5: List lípy malolisté z prvního zájmového území.



Příloha č. 6: Náměstí Přemysla Otakara II. z druhého
zájmového území.



Příloha č. 7: Pohled přes řeku Malši na Zátkovo nábřeží
v druhém zájmovém území.



Příloha č. 8: List a květ jírovce maďala z druhého
zájmového území.



Příloha č. 9: Listy lípy malolisté z druhého zájmového území.



Příloha č. 10: Listy javoru mléče z druhého zájmového území.



Příloha č. 11: Pohled na industrializovanou zónu města z ulice Novohradská ve třetím zájmovém území.



Příloha č. 12: Dotazníkové šetření Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích na platformě Google Forms.

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích

Dotazník je součástí řešení výzkumného projektu financovaného Technologickou agenturou ČR s názvem Teplotní komfort v obcích: pocitový vjem obyvatel, fyzikální skutečnost, role zeleně. V období 2019-2021 jej řeší kolektiv z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. a Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Cílem projektu je porovnat vjemy obyvatel týkající se teplotního komfortu v obcích, ve venkovním prostředí obcí, kde žijí, kde se pohybují či tráví čas; s fyzikální skutečností teplotních charakteristik zachycených prostřednictvím moderních metod pozemního a leteckého DPZ. Na základě zjištění a měření budou připraveny názorné demonstrační materiály pro ekologickou výchovu žáků základních a středních škol, běžné obyvatele a samosprávu sídel.

Cílem tohoto dotazníku je zjistit povědomí občanů obcí a měst o veřejné zeleni a jejich přínosech pro člověka.



Zájemovými územími projektu je pětice níže uvedených lokalit. Pro ně jsou pořizována letecká data a pozemní data o teplotě a dalších jevech. Nicméně, tento dotazník je určen respondentům ze všech koutů České republiky, kteří mohou popsat svůj postoj k zeleni a teplotnímu komfortu v libovolné obci, kde se aktuálně zdržují. Prosíme pouze, abyste zaznačili, zda se jedná o místo z výčtu nebo jiné.

- Brno
- České Budějovice
- Lišov
- Vlčnov
- Sloup a Šošůvka
- Jiné: _____

Máte v obci, kterou jste označili (nebo připsali) v předchozí otázce trvalé bydliště?

- Ano
- Ne

[Další](#)



Strana 1 z 6

[Vymazat formulář](#)

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích



Veřejná zeleň

Co je podle Vás veřejná zeleň města/obce?

Vaše odpověď

Má vaše obec dostatek veřejné zeleně?

Ano

Ne

Víte, kde byste našli informace o obecní zeleni? (ANO / NE, připište, kde jsou, nebo by měly být.)

Vaše odpověď

[Zpět](#)

[Další](#)

Strana 2 z 6

[Vymazat formulář](#)

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích



Vlastní zahrada vs. Veřejná prostranství

Jaké zeleni dáváte přednost ve vlastní zahradě, pokud zahradu máte, nebo jaké byste dali přednost, pokud zahradu nemáte? (Uveďte preferenci v pořadí 1 / 2 / 3.)

	1	2	3
stromy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
keře	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trávník	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jaké zeleni dáváte přednost ve vlastní zahradě, pokud zahradu máte, nebo jaké byste dali přednost, pokud zahradu nemáte? (Vyberte jednu možnost nebo obě.)

- užitková
- okrasná

Jaké zeleni dáváte přednost ve vlastní zahradě, pokud zahradu máte, nebo jaké byste dali přednost, pokud zahradu nemáte? (Vyberte jednu možnost nebo obě.)

- opadavá
- stále zelená

Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích? (Uveďte preferenci v pořadí 1 / 2 / 3.)

	1	2	3
stromy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
keře	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trávník	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?

- užitková
- okrasná

Jaké zeleni dáváte přednost na veřejných prostranstvích?

- opadavá
- stále zelená

Zpět

Další

Strana 3 z 6

Vymazat formulář

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích



Zelené střechy

Myslíte si, že zelené střechy s vegetací mohou ovlivnit teplotu v obci?

- Ano
- Ne

Chtěli byste mít zelenou střechu s vegetací na Vašem domku/paneláku?

- Ano
- Ne

[Zpět](#)

[Další](#)

Strana 4 z 6

[Vymazat formulář](#)

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích



Fungování a funkce zeleně

Co myslíte, že potřebuje strom k tomu, aby zdárně rostl?

Vaše odpověď

Odhadněte, kolik stromů připadá na planetě Zemi průměrně na jednoho člověka.

- 1 strom
- 10 stromů
- 100 stromů
- 1000 stromů

Odhadněte, o kolik stupňů je nižší teplota vzduchu ve výšce 2 m nad chodníkem zakrytým stínem stromů oproti teplotě vzduchu nad nezastíněným chodníkem.

- 1°C
- 2°C
- 4°C
- 8°C

Odhadněte, kolik energie spotřebuje dospělý strom k výparu vody za jeden letní den. (Pro srovnání lednice spotřebuje v průměru 0,5 kWh za den.)

- 100 kWh
- 200 kWh
- 400 kWh
- 1000 kWh

Odhadněte, o kolik se sníží hluk ze silnice na chodníku odstíněném pásem keřů širokým 5 metrů a vysokým 2 metry, vzdáleným 2 metry od krajnice.

- 1 dB
- 2 dB
- 4 dB
- 8 dB

Jak daleko je z místa vašeho bydliště do vašeho preferovaného zeleného místa pro rekreaci?

- 1 minuta
- 5 minut
- 15 minut
- déle

Seřad'te následující ekosystémové služby zeleně podle toho, jak jsou podle vás důležité pro obyvatele měst a obcí. (Vepište čísla 1-6.)

	1	2	3	4	5	6
Udržování kvality ovzduší zachytáváním prachových částic.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zmírňování změny klimatu ukládáním uhlíku do vegetace.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ochlazování vzduchu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zasakování a zpomalení odtoku srážkové vody.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rekreace a estetika.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Snižování hluku.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Zpět

Další

Strana 5 z 6

Vymazat formulář

Vliv zeleně na teplotní komfort v obcích



Socio-demografické údaje

Napište, prosím, váš věk.

Vaše odpověď

Jaké je vaše nejvyšší dosažené vzdělání?

zš

sš

vš

Jak dlouho žijete v místě vašeho současného bydliště?

Vaše odpověď

[Zpět](#)

[Odeslat](#)

Strana 6 z 6

[Vymazat formulář](#)