

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Význam vegetace v utváření klimatických charakteristik  
v městské zástavbě

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jakub Brom, Ph.D.

Autor diplomové práce: Jindra Marvalová

České Budějovice, 2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jindra MARVALOVÁ  
Osobní číslo: Z14466  
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Agroekologie - Péče o krajinu  
Název tématu: Význam vegetace v utváření klimatických charakteristik v městské zástavbě  
Zadávací katedra: Katedra krajinného managementu

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Náplní diplomové práce bude analýza teplotního a vlhkostního režimu, případně ukazatelů energetické bilance městské zástavby v letním období na základě dat dálkového průzkumu Země. Teoretická část práce bude zaměřena na zhodnocení významu vegetace na utváření klimatu městské zástavby na základě literárních údajů. V praktické části bude provedena analýza družicových snímků zájmové oblasti (zejména snímky družic Landsat), případně bude provedeno snímkování pomocí termovizní a multispektrální kamery in-situ. Výsledky budou hodnoceny v širším kontextu významu vegetace pro utváření místního a regionálního klimatu.


Práce bude zahrnovat následující části:

1. Vypracování literární rešerše problematiky teplotního a vlhkostního režimu městské zástavby a významu vegetace v ovlivnění klimatických charakteristik.
2. Zpracování metodických přístupů měření, popis studované lokality a způsobů získávání dat.
3. Zpracování získaných dat a materiálů a jejich adekvátní statistické vyhodnocení.
4. Diskuse výsledků v širších souvislostech funkce vegetace v městské zástavbě.

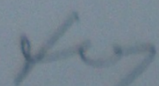
Rozsah grafických prací: 5 - 10 str. grafů a tabulek  
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran textu  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P. (2003): The climate near the ground. 6th edition. Rowman & Littlefield Publishers, Inc., Lanham, Maryland.  
JONES H. G. 1992: Plants and microclimate. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.  
KRAVČÍK, M., POKORNÝ, J., KOHUŤIAR, J., KOVÁČ, M. & TÓTH, E. (2007) Voda pre ozdravenie klímy - Nová vodná paradígma. Municipalia, a.s., Košice.  
STŘEDOVÁ, H., BOKWA, A., DOBROVOLNÝ, P., KRĚDL, Z., KRAHULA, L., LITSCHMANN, T., POKORNÝ, R., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T., VYSOUDIL, M., 2011. Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostu. Český hydrometeorologický ústav, Praha.  
ZEMEK, F., et. al., 2014. Letecký dálkový průzkum Země: Teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Centrum globální změny AV ČR v.v.i., Brno.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jakub BROM, Ph.D.  
Katedra krajinného managementu  
Datum zadání diplomové práce: 16. března 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2016

  
prof. Ing. Miroslav Šlech, CSc., dr. h. c.  
děkan

JEHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚPISNÁ FAKULTA  
BUDĚJOVICKÝ ÚSTAV  
PRŮZKUMNÁ ČINNOST  
TEL: 378 331 111  
WWW: www.zemf.jcu.cz

  
doc. Ing. Pavol Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 16. března 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s vedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne: 29. 2. 2016

.....  
Jindra Marvalová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jakubu Bromovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a pomoc při pořizování dat termální kamerou, za pomoc při pořizování dat termální kamerou bych dále ráda poděkovala Ing. Václavu Nedbalovi, Ph.D.

## **Abstrakt**

Tepelný ostrov města je fenomén rozdílných teplot ve městech ve srovnání s okolní krajinou. Intenzitu tohoto jevu lze ovlivnit přítomností vegetace ve městech. V práci je hodnocen vliv vegetace na mikroklima v různých částech města České Budějovice na základě vyhodnocení multispektrálních snímků družice Landsat a termálních snímků, které byly pořízeny termokamerou in-situ, a jejich statistickém zpracování. Výsledky práce prokazují statisticky významné rozdíly v povrchových teplotách v různých oblastech města s odlišným zastoupením vegetace. V oblastech s vysokým zastoupením vegetace jsou povrchové teploty výrazně nižší než v oblastech bez vegetace. Stejně tak jsou výrazně nižší teploty vybraných vegetačních povrchů v porovnání s antropogenními povrchy, a to minimálně o 9 °C.

## **Klíčová slova**

Tepelný ostrov města, UHI, Landsat, termální data.

## **Abstract**

Urban heat island is a phenomenon of different temperatures in cities compared to temperatures in the surrounding landscape. The intensity of this phenomenon can be influenced by the presence of vegetation in cities. There is evaluated the effect of vegetation on microclimate in various parts of the city České Budějovice in this thesis. The assessment is based on the evaluation of multispectral Landsat satellite images and thermal images, which were taken in-situ using thermal camera, and their statistical processing. The results show statistically significant differences in surface temperatures in the different areas of the city with a different amount of vegetation. Surface temperatures are significantly lower in areas with a large amount of vegetation than in areas without vegetation. Equally, selected vegetation surfaces have lower temperatures compared to anthropogenic surfaces, at least about 9 °C.

## **Keywords**

Urban heat island, UHI, Landsat, thermal data.

## Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Klima městských oblastí .....	9
2.1	Tepelný ostrov města (UHI).....	9
2.1.1	Faktory determinující vznik UHI.....	10
2.1.2	Dělení UHI.....	11
2.2	Vliv vegetace na velikost intenzity UHI .....	12
2.2.1	Radiační bilance města.....	12
2.2.2	Albedo .....	13
2.2.3	Evapotranspirace .....	14
2.3	Techniky používané ke studiu UHI.....	16
2.3.1	Terénní měření .....	16
2.3.2	Dálkový průzkum.....	16
2.3.3	Landsat .....	17
2.3.4	Terra .....	18
3.	Cíle práce a metodika.....	19
3.1	Cíle práce.....	19
3.2	Metodika.....	19
3.2.1	Rešerše problematiky městského klimatu.....	19
3.2.2	Vymezení zájmových území a získání podkladových dat .....	19
3.2.3	Zpracování termálních dat.....	20
3.2.4	Statistické zpracování dat.....	21
4.	Vymezení zájmových území.....	25
4.1	Historické centrum .....	26
4.2	Městské a bytové domy.....	27
4.3	Rodinné domy .....	27
4.4	Příměstská čtvrť.....	28

4.5	Sídliště .....	28
4.6	Průmyslová zóna .....	29
4.7	Park.....	29
4.8	Výběr povrchů na snímcích pořízených termokamerou.....	29
5.	Výsledky .....	30
5.1	Použité snímky .....	30
5.2	Charakteristika termálních a spektrálních dat v jednotlivých oblastech .....	31
5.2.1	Historické centrum .....	31
5.2.2	Městské a bytové domy.....	32
5.2.3	Rodinné domy .....	33
5.2.4	Příměstská čtvrť .....	34
5.2.5	Sídliště.....	35
5.2.6	Průmyslová zóna .....	36
5.2.7	Park .....	37
5.2.8	Porovnání povrchových teplot oblastí.....	38
5.3	Výsledky statistického zpracování .....	42
5.4	Změna v oblasti sídliště v letech 2013-2015 .....	44
5.5	Povrchové teploty vybraných povrchů a materiálů zjištěné na základě termovizních snímků.....	46
6.	Diskuse.....	48
7.	Závěr .....	51
	Reference.....	52
	Příloha 1: Snímky zpracovaných oblastí.....	55
	Příloha 2: Zdrojový kód funkce <i>neményi</i> .....	62



# 1. Úvod

Zvyšující se míra urbanizace a suburbanizace vede ke změnám ve funkčním využívání a ke změnám prostředí městských a příměstských oblastí, dochází k budování nové výstavby rezidenčních, komerčních a průmyslových staveb a staveb technické infrastruktury, a tím dochází k záběru půdy a krajiny. Zvyšující se míra urbanizace má dopady ekonomické, sociální a dopady v oblasti životního prostředí.

S rostoucí informovaností a vzdělaností obyvatelstva rostou i požadavky na kvalitu života. Jednou ze zásadních oblastí, které mají dopad na kvalitu života ve městech, je kvalita životního prostředí. Znečištění ovzduší, překročení hygienických hlukových limitů, světelné emise a další problémy ovlivňují zdraví a fyzickou i psychickou pohodu obyvatel města.

Urbanizace ovlivňuje i klimatické podmínky města. Znečištěním atmosféry, produkcí odpadního tepla, změnou aktivních povrchů města a zvýšeným povrchovým odtokem dešťové vody dochází ke změnám klimatu v oblastech městské zástavby, které spočívají v růstu teplot ve městech ve srovnání s okolní krajinou a ke snížení vlhkosti vzduchu. Přítomnost vegetace ve městech má zásadní vliv na udržitelný rozvoj měst, může ovlivnit negativní změny životního prostředí ve městech a má významný dopad na regulaci extrémů městského klimatu, případně mikroklimatu menších městských částí.

S problémy výskytu extrémních klimatických podmínek se především v horkých letních měsících potýká i město České Budějovice. Příkladem těchto problémů je rok 2015, kdy během roku bylo 36 tropických dnů a průměrná teplota v měsících červenci a srpnu dosáhla podle statistik Českého hydrometeorologického ústavu<sup>1</sup> 22,1 °C. Město České Budějovice na svých webových stránkách<sup>2</sup> upozorňuje na funkci a význam zeleně ve městě<sup>3</sup>, celkově je však město na vegetaci poměrně chudé, chybí zde především uliční stromořadí, doprovodná zeleň kolem komunikací a sídlištní zeleň.

---

<sup>1</sup> <http://portal.chmi.cz/>

<sup>2</sup> <http://www.c-budejovice.cz/cz/stranky/uvod.aspx>

<sup>3</sup> <http://www.c-budejovice.cz/cz/zivotni-prostredi-bydleni-doprava/ochrana-prirody/stranky/zelen-ve-meste-a-jeji-vyznam.aspx>

## 2. Klima městských oblastí

Klima městských oblastí je aktuální problém soudobé klimatologie. Aktuálnost tohoto problému souvisí především s rostoucím podílem městského obyvatelstva. V roce 1950 žilo ve městech méně než 30% obyvatel, do roku 2000 toto číslo vzrostlo na 45%, nyní žije podle *The world factbook* již 54% obyvatel ve městech a předpokládá se, že do roku 2030 toto číslo stoupne až na 60%.

Dalšími důvody, které posilují zájem o tuto problematiku, jsou riziko materiálních škod, zvyšování energetické náročnosti měst (Santamouris, 2001; Kolokotroni, 2006) a dopad na lidské zdraví, spojený se zvýšenou mortalitou vlivem extrémních výkyvů počasí (Dessai, 2003; Tan, 2010; Whitman, 1997).

Nejznámějším a nejčastěji studovaným projevem městského klimatu je tepelný ostrov města (Urban Heat Island, UHI). Jev UHI, jeho vznik, intenzita, faktory, které ho ovlivňují, a metody jeho zkoumání jsou popsány v následujících kapitolách.

### 2.1 Tepelný ostrov města (UHI)

Efekt tepelného ostrova města je výsledkem rozdílných teplot uvnitř městské zástavby vzhledem k okolní krajině.

Tento jev je zkoumán téměř 200 let. Prvním, kdo doložil, že teploty jsou většinou vyšší ve městech než v přilehlých venkovských oblastech, byl *Luke Howard* v roce 1833, kdy publikoval svoji knihu *The climate of London*<sup>4</sup>. Později na něj navazují další autoři, příkladem může být *Tony J. Chandler* a jeho studie londýnského klimatu *London's urban climate* z roku 1962 (Chandler, 1962).

Mezi významné výzkumníky, kteří se dlouhodobě zabývají problémem městského klimatu a UHI, patří například profesor *T. R. Oke* (University of British Columbia), který se touto problematikou zabývá od šedesátých let dodnes, v šedesátých letech se problematikou UHI začal zabývat i profesor *Robert D. Bornstein* (San Jose State University). Během osmdesátých a devadesátých let na ně navázali profesor *A. John Arnfield* (The Ohio State University), profesor *James A. Voogt* (University of Western Ontario), profesor *Matthias Roth* (National University

---

<sup>4</sup> Některé poznatky z knihy jsou shrnuty v (Mills, 2008).

of Singapore) nebo doktor *Paul Becker* (viceprezident Deutscher Wetterdienst). Z českých výzkumníků lze jmenovat doktora *Václava Hlaváče*, který v polovině třicátých let vypracoval rozsáhlou studii teplotních poměrů Pražského Klementina *Tepelné poměry hlavního města Prahy*. V roce 1969 na něj publikací *Podnebí Prahy* navázal profesor *Alois Gregor*. Dalšími významnými výzkumníky jsou doktor *Jan Munzar*, profesor *Rudolf Brázdil*, doktorka *Marie Budíková*, doktor *Radan Huth* nebo profesor *Petr Dobrovolný*.

Fenomén UHI byl dokumentován pro řadu měst a městských aglomerací po celém světě. Byly vypracovány případové studie, popisující konkrétní případy tohoto jevu, ty se však liší ve velikosti intenzity UHI<sup>5</sup> a denní době a ročním období maximální intenzity UHI. Například v Lisabonu (Alcoforado, 2006) nabývá intenzita UHI nejvyšších hodnot během letních nocí a její průměrná hodnota dosahuje 2,6 °C. Podobně je tomu v Londýně, kde podle Watkins (2002) průměrná hodnota dosahuje 3,2 °C nebo v New Yorku, kde podle Gedzelman (2003) dosahuje asi 4 °C. Naopak v Aténách nabývá podle Founda (2015) maximální intenzity během dne v letním období a jeho velikost je asi 4,5 °C. Jiný průběh UHI prezentuje například studie Soulu, kde podle Kim (2002) dosahuje UHI maximální intenzity během podzimních a zimních nocí.

Obecně lze však říci, že intenzita UHI většinou klesá s rostoucí intenzitou větru a s rostoucí oblačností, je výraznější v letním období a během noci a má tendenci se zvyšovat spolu s rostoucí populací města (Mirzaei, 2010).

### 2.1.1 Faktory determinující vznik UHI

Charakter UHI ovlivňuje velké množství heterogenních faktorů, například radiální bilance města, komplexní klimatologické a geomorfologické podmínky oblasti, velikost a struktura města a počet a hustota obyvatel. Právě komplexnost určujících faktorů ovlivňujících charakter UHI je hlavním důvodem, proč jsou výsledky jednotlivých studií velice různé. Dalším důvodem je rozdílný charakter použitých dat a rozdílná metodika jejich zpracování (Founda, 2015).

Z hlediska radiální bilance patří mezi hlavní faktory, které formují specifické teplotní poměry městských aglomerací v porovnání s volnou krajinou, změny

---

<sup>5</sup> Intenzita UHI je definována jako rozdíl teploty vzduchu uvnitř městské zástavby a v okolním venkovském prostředí (Rizwan, 2008).

v charakteru aktivních povrchů zástavbou, znečištění atmosféry či produkce odpadního tepla. V prostředí městské zástavby dochází ke změně geometrie a zvětšení plochy aktivního povrchu. Převažují zde vertikálně orientované povrchy, což vede ke zvýšenému pohlcování krátkovlnného záření, jehož radiační energie je následně přeměněna na tepelnou energii. Uzavřené prostory a úzké ulice způsobují množství odrazů krátkovlnného záření a omezují dlouhovlnné vyzařování a tím i možnost snížení teploty. Negativem je i to, že v městské zástavbě převažují materiály s nízkým albedem<sup>6</sup> (Yang, 2015) a velkou tepelnou kapacitou, které v období pozitivní tepelné bilance pohlcují velké množství tepla a uvolňují ho v období negativní energetické bilance. Vysoké budovy omezují proudění vzduchu a tím jsou sníženy možnosti turbulentního přenosu tepla i termické konvekce. Dalším problémem jsou převládající nepropustné povrchy a absence vodních ploch, které snižují evapotranspiraci a tím snižují latentní tok tepla výparu (Středová, 2011; Voogt, 2003).

### 2.1.2 Dělení UHI

Podle mechanismu, jakým se tepelný ostrov města formuje a prostředí, ve kterém k němu dochází, lze rozlišovat takzvaný atmosférický tepelný ostrov (Atmospheric Urban Heat Island-AUHI) a dále povrchový a pozemní tepelný ostrov (Surface Urban Heat Island-SUHI).

Ve vertikálním směru se atmosférický tepelný ostrov dále dělí do dvou typů – na tzv. *boundary layer* UHI a tzv. *canopy layer* UHI. Část atmosféry, označovaná jako *canopy layer*, je vrstva ohraničená zemským povrchem a průměrnou výškou budov, její výška bývá řádově několik metrů až několik desítek metrů. Část atmosféry nazývaná *boundary layer* leží nad vrstvou *canopy layer* a je jí ovlivňována. Je to vrstva, v níž se bezprostředně projevuje vliv zemského povrchu na pole meteorologických prvků a která dosahuje od zemského povrchu do výšky od několika stovek metrů do 2 km (Zemek, 2014; Voogt, 2003).

Jak je patrné z označení, týká se SUHI teploty povrchů. SUHI je definován jako kladná teplotní anomálie aktivních povrchů v prostoru městské zástavby vůči přirozeným povrchům venkovské krajiny. Vhodným datovým zdrojem pro studium

---

<sup>6</sup> Albedo je míra odrazivosti povrchu tělesa. Je dáno množstvím odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího elektromagnetického záření.

SUHI jsou data z termálního dálkového průzkumu Země. AUHI je naopak možné dobře identifikovat terénním měřením. Atmosférický tepelný ostrov je obvykle slabě vyjádřen v ranních hodinách a během dne. Jeho intenzita narůstá po západu slunce, protože většina umělých povrchů otepluje přízemní vrstvu atmosféry dlouhovlnným vyzařováním. Maximum obvykle nastává před východem slunce v zimním období. Naopak během dne v letních měsících a zvláště při silnější advekci AUHI zaniká. Naproti tomu SUHI dosahuje maximální intenzity v denních hodinách během letních měsíců a obvykle existuje i během noci (Zemek, 2014).

## **2.2 Vliv vegetace na velikost intenzity UHI**

Přirozené ekosystémy uvnitř městské zástavby, jejich množství a kvalita, zásadním způsobem ovlivňují kvalitu života ve městech. Vodní plochy a vegetace (městská zeleň) plní funkci estetickou, rekreační a především ekologickou. Z ekologického hlediska je pro kvalitu života ve městech významná produkce kyslíku, schopnost vegetace zachytávat prach a absorbovat hluk a schopnost snižování teplotních extrémů. Zásadní vliv mají především stromy, které díky stínění redukovávají zahřívání povrchů (Armson, 2012), redukovávají teplo, které se do budov dostává okny, a stíněním redukovávají pohlcování dlouhovlnného záření. Dále redukovávají tepelné zisky vedením a prouděním tepla tím, že snižují teplotu vzduchu evapotranspirací. Evaporací dochází ke zvlhčení vzduchu a spotřeba latentního tepla při výparu předchází dalšímu ohřívání (Dimoudi, 2003). Podle Taha (1997) dokáže vegetace uvnitř města vytvořit ‚oázy‘, které jsou o 2-8 °C chladnější než jejich okolí.

Městské mikroklima ovlivňuje vegetace především tím, že snižuje albedo a evapotranspirací ochlazuje a zvlhčuje okolní prostředí. Oblasti s vegetací jsou ve městech téměř jediné oblasti, které jsou schopny zadržet dešťovou vodu. Většina povrchů je totiž tvořena nepropustnými materiály, po kterých voda oteče a kanalizačním systémem je dále odvedena bez poskytnutí dalších ekosystémových služeb.

### **2.2.1 Radiační bilance města**

Naprostá většina energie, která je dostupná na zemském povrchu, pochází ze sluneční energie. Jen minimální část pochází z jiných zdrojů, například geotermální energie nebo jaderná energie. Na 1 m<sup>2</sup> vnější hranice atmosféry dopadá 1367 W

sluneční energie (solární konstanta<sup>7</sup>). Část této energie se odráží, rozptyluje a absorbuje při průchodu atmosférou. Na zemský povrch pak dopadá mezi 800-1000 W sluneční energie (ozáření), tedy asi 60-75 %. Na 1 m<sup>2</sup> pak za jasného dne dopadne asi 4-6 kWh m<sup>-2</sup> v závislosti na zeměpisné šířce.

Radiační bilance ekosystému je popsána rovnicí:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_{PP} + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (1)$$

kde  $Q^*$  je celkové množství energie, dopadající na Zem,  $Q_H$  je turbulentní tok tepla<sup>8</sup>,  $Q_E$  je latentní přenos tepla<sup>9</sup>,  $Q_{PP}$  je teplo spotřebovávané pro primární produkci,  $\Delta Q_S$  je akumulace tepla a  $\Delta Q_A$  je teplotní advekce<sup>10</sup>.

Radiační bilance města vychází z rovnice (1), zjednodušeně ji lze popsat rovnicí:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (2)$$

kde  $Q_F$  reprezentuje uvolněnou antropogenní energii.

Při zanedbání relativně malých členů  $\Delta Q_S$  a  $\Delta Q_A$  je celkové množství energie dáno rovnicí:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G \quad (3)$$

kde  $Q_G$  je vedení tepla. Hodnota členů rovnic (2) a (3) je funkcí charakteru města a umístění ve městě. Radiační bilance města se tedy mění v závislosti na těchto parametrech (Mirzaei, 2010).

### 2.2.2 Albedo

Podle Geiger (2003) je albedo produktem dopadající solární radiace<sup>11</sup> a spektrální odrazivosti objektu. Zjednodušeně lze říci, že albedo je koeficient odrazu solární radiace. Albedo je rovno poměru množství odražené solární radiace

---

<sup>7</sup> Solární konstanta udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům.

<sup>8</sup> Turbulentní tok tepla je vertikální přenos tepla, vznikající vlivem archimedovských vztakových sil podmíněných nehomogenitou teplotního pole (Meteorologický slovník).

<sup>9</sup> Latentní teplo je teplo skupenské, jedná se o teplo, které je potřebné k tomu, aby jednotka hmotnosti dané látky změnila skupenství bez ztráty teploty (Meteorologický slovník). Latentní přenos tepla zahrnuje např. ztrátu tepla při vypařování a sublimaci nebo příjem tepla při kondenzaci.

<sup>10</sup> Teplotní advekce je přenos tepla horizontálním prouděním.

<sup>11</sup> Sluneční záření.

a množství dopadající solární radiace. Tento zlomek je obvykle vyjadřován v procentech. Velikost albeda je specifická pro různé vlnové délky (Geiger, 2003). Odrazivost objektu a tedy i albedo závisí dále na materiálu tělesa, na jeho chemickém složení a struktuře a aktuálním stavu materiálu (na teplotě, drsnosti povrchu nebo zašpinění), a na směru dopadajícího záření.

U přírodních povrchů (např. u půdy) pak velikost albeda závisí i na minerálním složení, obsahu vody, obsahu organické hmoty a na drsnosti povrchu. Albedo vegetace je velice variabilní, závisí na typu vegetace, na její barvě, na tvaru jejího povrchu, na obsahu vody, vlhkosti, na procentu pokrytí země, ploše a velikosti listů a velikosti rostlin (Geiger, 2003).

Světlejší povrchy mají obvykle vyšší albedo než tmavší povrchy, nejvyšších hodnot albeda nabývají bílé plochy. Tmavé povrchy s nízkým albedem způsobují vyšší akumulaci tepla v budovách a tím vyšší energetické nároky na jejich chlazení, zvýšení venkovní teploty v okolí a snižování životnosti materiálů z důvodu velkého kolísání teplot (Whiter than White). V tabulce 1 jsou uvedeny přibližné hodnoty albeda některých povrchů.

**Tabulka 1: Hodnoty albeda některých povrchů. Zdroj (Geiger, 2003; Dykyjová, 1989).**

Materiál	Albedo [%]
Asfalt	10
Čistý sníh	75-98
Špinavý sníh	20-30
Zelené pole	10-15
Tráva	20-24
Pšenice	10-25
Bavlna	20-22
Opadavý les	18
Jehličnatý les	14-16

### 2.2.3 Evapotranspirace

Vodní bilance ve městech může být podle Grimmond (1999) popsána rovnicí:

$$P + I + F = ET + R + S + A \quad [mm \ h^{-1}] \quad (4)$$

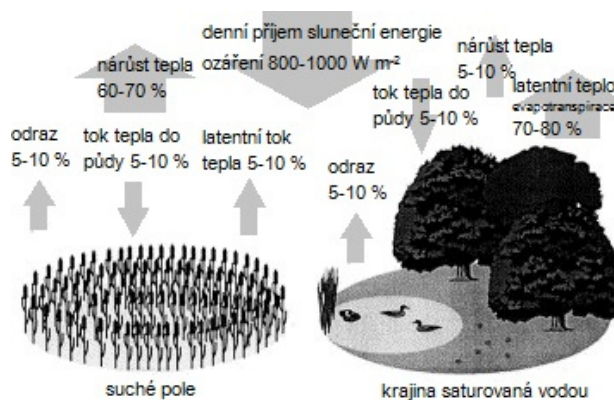
kde  $P$  je množství srážek,  $I$  je voda dodaná zásobováním,  $F$  je voda uvolněná antropogenní činností,  $ET$  je evapotranspirace,  $R$  je odtok,  $S$  je změna v akumulaci vody za sledované období a  $A$  je přenos vlhkosti prouděním.

Evapotranspirace je celkový výdej vody výparem z půdy případně vodní hladiny (evaporace) a transpirací porostů. Poměr evaporace a transpirace je určován počtem, druhem a habitem rostlin a pokryvností a strukturou porostu. V místech s ojedinělými drobnými rostlinami převažuje evaporace, naopak u hustých vzrostlých porostů převažuje transpirace (Dykyjová, 1989).

Vegetace váže vodu ve svých tkáních, zelené části rostlin jsou tvořeny z 80-95% vodou. Za vhodných podmínek dochází díky evapotranspiraci k přeměně značné části dopadající solární radiace na latentní teplo vody. Intenzitu evapotranspirace nelze obecně přesně vyčíslit. Závisí na několika faktorech, především na zásobení půdy vodou, na proudění vzduchu a na velikosti atmosférického tlaku.

K evaporaci 1 litru vody je při teplotě 20 °C potřeba průměrně 0,68 kWh energie. Rychlost evapotranspirace vegetačního porostu se pohybuje v rozmezí několika litrů na 1 čtvereční metr za den, průměrná hodnota evapotranspirace je 4 kg m<sup>-2</sup> den<sup>-1</sup> (Pokorný, 2010).

Jeden velký strom dokáže uvolnit pomocí evapotranspirace až 400 kg vody za den (Pokorný, 2001). Tím při procesu odpařování spotřebuje 280 kWh tepelné energie a dokáže tak výrazně snížit letní teploty. Rozdíl bilance sluneční energie v suché krajině a v krajině dostatečně saturované vodou je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1: Bilance sluneční energie v různých typech krajiny. Zdroj (Pokorný, 2001), upraveno.



## 2.3 Techniky používané ke studiu UHI

### 2.3.1 Terénní měření

Data potřebná pro studium UHI je možné získávat pomocí terénního měření. Základem je měření teploty vzduchu blízko zemského povrchu v městské oblasti a ve venkovské oblasti a jejich porovnání. K měření jsou potřeba dvě meteorologické stanice, případně síť stanic. Během terénního měření lze dále získávat data o rychlosti proudění vzduchu, kolísání turbulence a koncentraci znečišťujících látek v ovzduší a je možné studovat závislost mezi intenzitou UHI a těmito parametry (Mirzaei, 2010). Výhodou tohoto způsobu sběru dat je to, že měření lze provádět pravidelně a dlouhodobě. Nevýhodou je pak to, že získaná data mají bodový charakter. V místech, kde není možné provádět měření, je potřeba data aproximovat, případně provádět interpolace k vytvoření spojitě informace.

### 2.3.2 Dálkový průzkum

Novější metodou sběru dat je termální dálkový průzkum. V teplotě povrchu získané dálkovým průzkumem jsou zahrnuty účinky tepelné radiace emitované povrchem, termodynamické vlastnosti povrchu (povrchová vlhkost, tepelná admitance<sup>12</sup> a emisivita povrchu<sup>13</sup>) a vliv atmosféry. Termální snímkování využívá toho, že každý objekt o teplotě vyšší než 0 °K emituje elektromagnetické záření. Množství a spektrální složení emitovaného záření závisí na teplotě objektu a jeho emisivitě.

K termálnímu snímkování se využívají atmosférická okna<sup>14</sup> v intervalech 3-5  $\mu\text{m}$  a 8-14  $\mu\text{m}$ . Využívá se toho, že v těchto vlnových délkách převládá vlastní vyzařování objektů nad odrazem slunečního záření. V prvním atmosférickém okně (3-5  $\mu\text{m}$ ) je zaznamenáváno záření emitované zemským povrchem a část odraženého slunečního záření. Tato data jsou tedy zpravidla získávána v nočních hodinách, kdy je odražené sluneční záření minimální. Maximum emitované energie je v části

---

<sup>12</sup> Tepelná admitance materiálu určuje jeho schopnost výměny tepla s okolním prostředím.

<sup>13</sup> Emisivita je vlastnost materiálu, která souvisí s jeho schopností emitovat tepelné záření. Je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa se stejnou teplotou. Emisivita reálných těles je funkcí vlnové délky. Emisivita nabývá hodnot z intervalu (0, 1). Emisivita ideálně černého tělesa je rovna 1, emisivita tělesa dokonale odrazejícího všechnu energii je rovna 0. Emisivita většiny přírodních povrchů se pohybuje mezi 0,85 a 0,99.

<sup>14</sup> Atmosférická okna jsou oblasti spektra, v nichž zemská atmosféra propouští elektromagnetické záření.

spektra, které lze zaznamenávat pomocí druhého atmosférického okna (8-14  $\mu\text{m}$ ), druhé atmosférické okno je tedy k využití v termálním dálkovém průzkumu vhodnější (Zemek, 2014).

Značné problémy při sběru dat dálkovým průzkumem způsobuje oblačnost, druhým negativem je pak to, že části povrchu mohou být na termálních snímcích zakryté městskou výstavbou (Voogt, 2003). Jednoznačnou výhodou je získání prostorově spojitě informace a dostupnost existujících termodat.

Termální snímky poskytují meteorologické družicové systémy (např. METEOSTAT, NOAA), dále jsou vytvářeny satelity pro multispektrální snímkování (např. LANDSAT, ASTER). Termální snímkování lze provádět i letecky pomocí termovize nebo termálních skenerů (např. TASI).

### 2.3.3 Landsat

Historie tohoto vesmírného programu sahá do roku 1967, kdy byl spuštěn pod názvem ERTS (Earth Resources Technology Satellites). Jako první byla vypuštěna družice Landsat 1 (1972), následovala družice Landsat 2 (1975), Landsat 3 (1978), Landsat 4 (1982), Landsat 5 (1984), Landsat 6 (1993, družice nedosáhla orbitu), Landsat 7 (1999) a Landsat 8 (2013). Družice Landsat 7 a 8 jsou stále v provozu. Satelity provozuje americká nezávislá vědeckovýzkumná vládní agentura United States Geological Survey (USGS).

Družice Landsat 5 a Landsat 7 mají velice podobné parametry. Snímají v šesti spektrálních pásmech v rozlišení 30 m (na prakticky shodných vlnových délkách). Družice Landsat 5 snímala v jednom termálním pásmu, Landsat 7 má dvě termální pásma. Družice Landsat 7 navíc disponuje panchromatickým pásmem s rozlišením 15 m. Družice Landsat 8 pak nabízí další speciální pásma (pobřežní a aerosolové), a to opět v rozlišení 15 a 30 m. Speciální kanál Cirrus slouží k detekci jemné oblačnosti a odstranění jejího vlivu na data. Landsat 8 poskytuje také dvě termální pásma s rozlišením 100 m (Družice Landsat). V květnu 2003 došlo k závadě skenovacího mechanismu multispektrálního senzoru na družici Landsat 7. Z toho důvodu obsahují snímky Landsat 7 pouze 78 % pixelů. Spektrální charakteristika Landsat 8 je uvedena v tabulce 2.

**Tabulka 2: Spektrální charakteristika Landsat 8.**

Spektrální pásmo	Vlnová délka [ $\mu\text{m}$ ]
Band 1-Coastal aerosol	0,43 – 0,45
Band 2-Blue	0,45 – 0,51
Band 3-Green	0,53 – 0,59
Band 4-Red	0,64 – 0,67
Band 5-Near Infra Red (NIR)	0,85 – 0,88
Band 6-Short-wave Infrared (SWIR) 1	1,57 – 1,65
Band 7-Short-wave Infrared (SWIR) 2	2,11 – 2,29
Band 8-Panchromatic	0,50 – 0,68
Band 9-Cirrus	1,36 – 1,38
Band 10-Thermal Infrared (TIRS) 1	10,60 – 11,19
Band 11-Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50 – 12,51

Díky návaznosti používaných senzorů a díky obsáhlým archivům se družice Landsat používají k detekci změn z různých časových období, k získávání informací o využití krajiny a především k rozlišení druhů vegetačního pokryvu a zjištění jejich zdravotního stavu, vlhkosti apod.

#### 2.3.4 Terra

Roku 1999 byla na oběžnou dráhu vypuštěna družice Terra. Družice byla vypuštěna ve spolupráci NASA a několika dalších států. Družice se pohybuje na stejném orbitu jako Landsat 7, asi 30 minut za touto družicí. Na její palubě je pět zařízení. Jedním z nich je multispektrální skener ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometr). ASTER provádí měření ve čtrnácti spektrálních pásmech v oblasti viditelného až tepelného infračerveného záření, a to s vysokým prostorovým, spektrálním a radiometrickým rozlišením. Prostorové rozlišení se liší podle vlnové délky, v tepelném infračerveném pásmu je to 90m. Každá scéna pokrývá území 60×60 km (Terra).

## 3. Cíle práce a metodika

### 3.1 Cíle práce

Cílem práce je:

- analýza vlivu vegetace na klima města,
- výběr reprezentativních oblastí městské zástavby v Českých Budějovicích s různým zastoupením vegetace a prokázání vazby mezi množstvím vegetace a teplotou ve vybraných oblastech,
- potvrzení úzké vazby mezi přítomností vegetace a hodnotou teploty na základě statistického vyhodnocení termálních dat.

### 3.2 Metodika

#### 3.2.1 Rešerše problematiky městského klimatu

Prvním krokem v řešení problému klimatu městské zástavby a ve významu vegetace při jeho utváření bylo studium teoretického pozadí tohoto problému. Především se seznámí se základními charakteristikami městského klimatu s jevem tepelného ostrova města, dále pak s možnými vlivy vegetace na regulaci městského klimatu. Dalším krokem pak byla rešerše metod, které se používají ke studiu městského klimatu a tepelného ostrova města.

#### 3.2.2 Vymezení zájmových území a získání podkladových dat

Dalším krokem bylo vymezení zájmových území. Ta byla vybrána na území obce České Budějovice tak, aby charakterizovala typické druhy městské zástavby s různým podílem vegetace.

K výběru jednotlivých zájmových území byla použita prohlížečská služba WMS-Ortofoto<sup>15</sup>, poskytovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK). K charakterizaci těchto území byla dále použita prohlížečská služba WMS-katastrální mapy<sup>16</sup>, poskytovaná ČÚZK a územní plán obce České

---

<sup>15</sup>[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(irs0fbzpfslx2sgfo4udnxpb\)\)/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(irs0fbzpfslx2sgfo4udnxpb))/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba)

<sup>16</sup>[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(gwufn2muszvoutnhcvtvzjt\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-KM&metadataXSL=metadata.sluzba&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=3110](http://geoportal.cuzk.cz/(S(gwufn2muszvoutnhcvtvzjt))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-KM&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3110)

Budějovice<sup>17</sup>, který je ve formátu PDF dostupný na webových stránkách města. Územní plán byl pro snazší použití georeferencován v GIS systému QGIS<sup>18</sup>.

Z termálních dat byla použita družicová termální data systému Landsat. Ta jsou volně ke stažení na portálu U.S. Geological Survey<sup>19</sup>.

Další data byla pořízena termokamerou OPTRIS PI 450. Data byla nasnímána 13. 8. 2015 mezi 9:30 a 11.00 SELČ.

### 3.2.3 Zpracování termálních dat

Termální pásma (TIR) dat Landsat, které zachycují elektromagnetické záření, je nutné převést na teplotu povrchu. Postup převodu vychází z (Štych, 2014) a (Dobrovolný, 2011). Tento převod je složen z několika kroků. Nejprve je nutné převést hodnoty odrazivosti pixelů na spektrální radianci<sup>20</sup> radiometrickou korekcí:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{CALmax} - Q_{CALmin}} \right) (Q_{CAL} - Q_{CALmin}) + L_{min\lambda} \quad (4)$$

kde  $L_{\lambda}$  je spektrální radiance senzoru ( $[watt \cdot m^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}]$ ),  $L_{max\lambda}$  je maximální spektrální radiance pro zpracovávané pásmo TIR,  $L_{min\lambda}$  je minimální spektrální radiance pro zpracovávané pásmo TIR,  $Q_{CAL}$  jsou DN<sup>21</sup> hodnoty termálního snímku,  $Q_{CALmax}$  je maximální hodnota pixelu,  $Q_{CALmin}$  je minimální hodnota pixelu.

Jednotlivé hodnoty se liší pro jednotlivé družice Landsat, případně pro použitá termální pásma. Hodnoty lze nalézt v metadatech jednotlivých snímků.

Hodnoty radiance je dále potřeba přepočítat na radiační teplotu<sup>22</sup> podle vzorce:

$$T_{RAD} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (5)$$

---

<sup>17</sup> <http://www.c-budejovice.cz/cz/rozvoj-mesta/uzemni-plan/stranky/uzemni-plan-mesta-ceske-budejovice.aspx>

<sup>18</sup> <http://www.qgis.org/en/site/>

<sup>19</sup> <http://www.usgs.gov/>

<sup>20</sup> Spektrální radiance je vyjádřena jako energie toků fotonů na jednotkový úhel a interval vlnové délky (Zemek, 2014).

<sup>21</sup> DN (digital number) je bezrozměrná hodnota jednotlivých pixelů.

<sup>22</sup> Střední radiační teplota je rovnoměrná teplota okolních ploch, při níž se sdílí sáláním stejně tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí.

kde  $T_{RAD}$  je radiační teplota [K],  $K_1$  je kalibrační konstanta č. 1,  $K_2$  je kalibrační konstanta č. 2 a  $L_\lambda$  je spektrální radiance senzoru. Hodnoty jsou opět uvedeny v metadatech jednotlivých snímků.

Radiační teplota  $T_{RAD}$  je dále převedena na povrchovou teplotu  $T_{POV}$  pomocí emisivity povrchu  $\varepsilon$  pomocí vzorce:

$$T_{POV} = \frac{T_{RAD}}{\varepsilon^4} \quad (6)$$

Vypočtenou povrchovou teplotu je dále možné převést z K na °C odečtením hodnoty 273,15.

Pomocí multispektrálních dat lze určit množství vegetace. Pro vegetaci je typický výrazný nárůst odrazivosti v blízké infračervené části spektra. Množství vegetace v zájmovém území lze charakterizovat pomocí normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI). Ten lze vypočítat ze spektrálních dat podle vzorce:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (7)$$

kde  $NIR$  (near infrared) je odrazivost v infračervené části spektra a  $RED$  je odrazivost v červené části spektra. Hodnota  $NIR$  z rovnice (7) se vypočte podle vzorce:

$$NIR = M_\rho DN + A_\rho \quad (8)$$

kde  $M_\rho$  a  $A_\rho$  jsou faktory pro přepočet jednotlivých pásem, uvedené v metadatech.

Hodnoty NDVI indexu se pohybují v intervalu [-1, 1]. Vysoké hodnoty NDVI (kolem 0,5 a vyšší) odpovídají husté vegetaci, hodnoty mezi 0,2-0,3 odpovídají keřům a loukám a hodnoty pohybující se kolem 0 a záporné hodnoty dokládají absenci vegetace, například holou půdu.

Data nasnímaná termokamerou není potřeba zpracovávat, termokamera zachycuje přímo povrchové teploty.

### 3.2.4 Statistické zpracování dat

Rozložení povrchových teplot v jednotlivých oblastech lze vizualizovat pomocí histogramů, porovnání mezi jednotlivými oblastmi lze pak provést pomocí

vizualizace povrchových teplot grafem boxplot (krabicový graf) nebo violin plot (houslový graf).

Cílem statistického zpracování dat je určení vztahu mezi vybranými oblastmi. Základem toho je testování nulové hypotézy, zda data všech oblastí mají stejné rozdělení.

Pro testování nulové hypotézy je nejprve potřeba určit, zda data mají normální rozdělení a podle toho následně vybrat vhodný statistický test. K určení rozdělení lze použít Shapiro-Wilkův test normality (Shapiro, 1965). Ten se ve statistice využívá k testování hypotézy, která tvrdí, že náhodný výběr  $x_1, \dots, x_n$  pochází z normálního rozdělení (nulová hypotéza). Test vychází ze zjištění, zda se body Q-Q plotu (kvantil-kvantilového grafu) významně liší od regresní přímky proložené těmito body. Testová statistika má tvar:

$$W = \frac{b^2}{s^2} = \frac{(\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (y_{n-i+1} - y_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

kde  $y_i$  jsou uspořádané hodnoty náhodného výběru  $x_1, \dots, x_n$ ,  $a_{n-i+1}$  jsou tabulkové váhy,  $\bar{y}$  je výběrový průměr a  $k = \frac{n}{2}$ , pokud je  $n$  sudé, nebo  $k = \frac{n-1}{2}$ , pokud je  $n$  liché. Čím bližší je testovaná statistika číslu 1, tím lepší je shoda mezi teoretickým (normálním) a testovaným rozdělením. Pokud tedy hodnota testové statistiky nepřekročí tabulkovou hodnotu Shapiro-Wilkova testu, zamítá se nulová hypotéza na dané hladině významnosti.

Test byl proveden pomocí funkce *shapiro*, která je součástí knihovny statistických funkcí jazyka Python, *scipy.stats*<sup>23</sup>. Funkce vrací hodnotu  $W$ , tedy hodnotu testové statistiky a hodnotu  $p$ , která určuje pravděpodobnost chybného zamítnutí nulové hypotézy (pokud je  $p$ -hodnota větší než hodnota hladiny významnosti  $\alpha$ , pak je potvrzena nulová hypotéza a zamítá se alternativní hypotéza).

Dále je potřeba zjistit, jaký je statistický vztah mezi daty jednotlivých oblastí. Nulová hypotéza je, že data oblastí mají stejné rozdělení. Alternativní hypotéza je, že data alespoň jedné oblasti pocházejí z jiného rozdělení. Pokud data mají normální rozdělení, je možné přistoupit k testování nulové hypotézy pomocí analýzy variance ANOVA (Analysis of Variance). Termální data podobného charakteru ale často

---

<sup>23</sup> <http://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/stats.html>

nemají normální rozdělení. Pak je nutné k testování použít některý vícevýběrový pořadový test, například vícevýběrový test shody mediánů, Kruskal-Wallisův test (tzv. neparametrická ANOVA). Tento test uvažuje existenci  $k$  náhodných výběrů s rozsahem  $n_1, \dots, n_k$  a  $n = n_1 + \dots + n_k$ , takzvaný sdružený náhodný výběr. Testuje se hypotéza, že všechny výběry pocházejí ze stejného rozdělení (nulová hypotéza). Sdružený náhodný výběr  $n$  je seřazen do rostoucí posloupnosti a  $T_j$  je součet pořadí prvků, které patří do  $j$ -tého náhodného výběru. Testová statistika má tvar:

$$Q = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (10)$$

Jsou-li rozsahy jednotlivých výběrů alespoň 5 prvků, má testová statistika  $Q$  v případě platnosti nulové hypotézy přibližně  $\chi^2$  rozdělení s  $k - 1$  stupni volnosti. Nulovou hypotézu zamítáme na dané hladině pravděpodobnosti  $\alpha$ , pokud:

$$Q \geq \chi_{1-\alpha}^2(k-1) \quad (11)$$

Test byl proveden pomocí funkce *kruskalwallis*, která je také součástí knihovny *scipy.stats*. Funkce vrací hodnotu testové statistiky  $Q$  a  $p$ -hodnotu.

V případě zamítnutí nulové hypotézy Kruskal-Wallisova testu se dále provádí post hoc analýza. Ta určí, mezi kterými dvojicemi náhodných výběrů jsou statisticky významné rozdíly. Pro Kruskal-Wallisův test se jako post hoc analýza používá Neményiho test. Nulová hypotéza Neményiho testu je, že dva náhodné výběry pocházejí ze stejného rozdělení. Alternativní hypotéza pak je, že pocházejí z různých rozdělení. Test počítá statistiku  $q$  pomocí rozdílů středních hodnot porovnávaných náhodných výběrů. Testovou statistiku lze použít ve tvaru:

$$q = \frac{(t_i - t_j)}{\sqrt{\frac{km(km+1)}{12m}}} \quad (12)$$

kde  $t_i = \frac{T_i}{m_i}$ ,  $t_j = \frac{T_j}{m_j}$ ,  $k$  je počet náhodných výběrů a  $m$  je rozsah náhodných výběrů. Hodnota  $q$  se porovnává s tabulkovou hodnotou  $\chi^2$  nebo Tukeyho rozdělení.

Pro post hoc analýzu jsem vytvořila funkci *nemenyi* v jazyce Python, implementující Neményiho test podle rovnice (12). Zdrojový kód funkce je uveden v příloze 2. Funkce vrací dvojice porovnávaných skupin dat a pro každou dvojici  $p$ -hodnotu a hodnotu *true* (pro dvojice, kde je zamítnuta nulová hypotéza, tedy data



srovnávaných oblastí nemají stejné rozdělení) nebo *false* (pro dvojice, kde je přijata nulová hypotéza, tedy data srovnávaných oblastí mají stejné rozdělení).

Při volbě hladiny významnosti  $\alpha = 5\%$  se nulová hypotéza u všech testů zamítá, pokud platí  $p < \alpha$ , tedy  $p < 0,05$ .

## 4. Vymezení zájmových území

Město České Budějovice je poměrně chudé na přítomnost městské zeleně. Podíl zeleně v městském centru je téměř nulový, lépe jsou na tom pak oblasti přilehlé k centru, kde je však zezeň převážně uzavřena uvnitř vnitrobloků. Více zeleně je pak v příměstských oblastech. Minimální podíl zeleně mají výrobní a průmyslové areály a dobrá situace není ani v oblastech sídlišť, kde převládají trávníky, ale chybí zde dostatek vzrostlých stromů a keřů. Vegetační oázy pak představují parky Stromovka, Dlouhá Louka, Háječek, Na Sadech a několik dalších malých parků.

Pro účely práce bylo na území Českých Budějovic vybráno 7 zájmových oblastí. Každá z těchto oblastí představuje reprezentativní vzorek určitého typu městské výstavby s určitým podílem městské zeleně, typické pro město České Budějovice. Lokalizace jednotlivých oblastí je na obrázku 2. Jednotlivé oblasti jsou nazvány historické centrum (oblast 1), městské a bytové domy (oblast 2), rodinné domy (oblast 3), příměstská čtvrť (oblast 4), sídliště (oblast 5), průmyslová zóna (oblast 6) a park (oblast 7). Jednotlivé oblasti jsou voleny jako pravidelné obdélníky o rozměrech cca  $580 \times 470 \text{ m}$  a budou podrobněji charakterizovány v následujících podkapitolách. Ortofoto snímky jednotlivých oblastí jsou na obrázku 3, v příloze 1 jsou dále uvedeny mapky a 3D pohledy na jednotlivé oblasti.



Obrázek 2: Přehled zájmových oblastí.



Obrázek 3: Ortofoto zájmových území.

#### 4.1 Historické centrum

Tato oblast leží ve středu města, zahrnuje celé historické centrum města, tedy náměstí Přemysla Otakara II. a přilehlé ulice. Pro tuto oblast je typická hustá zástavba většinou třípatrových nebo čtyřpatrových městských domů a úzké dlážděné nebo asfaltové ulice. V katastru nemovitostí jsou pozemky této oblasti většinou evidovány s druhem pozemku zastavěná plocha a nádvoří. Podle územního plánu zde pak převládají smíšená území (obytná území s různorodou skladbou činností, dějů a zařízení lokálního, popř. městského dosahu v rovnováze činností, dějů a zařízení

obytných, převážně ve víceúčelových domech, a činností, dějů a zařízení podnikatelských) a území veřejné vybavenosti (jsou určena výhradně pro umístění staveb a zařízení, které slouží veřejné potřebě v uvedených typech: veřejná správa, kultura, sociální péče, zdravotnictví, školství, hasiči, vojsko a policie).

Pro tuto oblast je charakteristická téměř úplná absence městské zeleně. Jak je vidět z obrázku 2, je malá plocha zeleně na severovýchodě oblasti, kam zasahují sady, do jihovýchodního rohu oblasti pak zasahuje část parku na Senovážném náměstí a v jihozápadním rohu je pak několik stromů na Zátkovo nábřeží. Vnitřek oblasti je však kompletně zakryt dlažbou nebo asfaltovými silnicemi. Zeleň je ojedinělá i ve vnitroblocích.

#### **4.2 Městské a bytové domy**

Tato oblast navazuje severovýchodním směrem na oblast historického centra, zahrnuje území Pražského předměstí. Převládají zde dvoupatrové až čtyřpatrové městské domy, ale je zde i několik panelových bytových domů. Podle územního plánu zde převládají smíšená území a území pro bydlení (ta jsou určena především pro bydlení a dělí se dle převažujícího charakteru na tři základní typy: území s převažujícím charakterem obytným individuálním, území s převažujícím charakterem obytným kolektivním a území s převažujícím charakterem individuálním obytným venkovským). Plocha Palackého náměstí podle územního plánu spadá do kategorie městské zeleně. V katastru nemovitostí převládá druh pozemku zastavěná plocha a nádvoří, dále zahrada a na Palackého náměstí ostatní plocha, způsob využití zeleň.

Zástavba v této oblasti není tak hustá jako v historickém centru města. Je zde výrazně více zeleně, především zatravněné plochy v zahradách, které jsou většinou ve vnitroblocích. Najdeme zde skupiny stromů a keřů i samostatné dřeviny. Nedostatečná je však zeleň v ulicích, kde na výstavbu většinou přímo navazují dlážděné chodníky a asfaltové silnice.

#### **4.3 Rodinné domy**

Tato oblast se nachází na západě města v městské části Čtyři Dvory. Převažují zde jednopatrové volně stojící nebo v řadě stojící rodinné domy, pouze na jih oblasti zasahuje několik panelových bytových domů. V katastru nemovitostí u pozemků této oblasti převládá druh pozemku zahrada a zastavěná plocha a nádvoří,

parcela parku na severu oblasti (vedle Husovy třídy) je evidována s druhem pozemku ostatní plocha, způsob využití zeleň. V územním plánu je tato plocha charakterizována jako městská zeleň, zbytek oblasti je charakterizován jako území pro bydlení a smíšená území.

Oblast je bohatá na zeleň, která je především v zatravněných zahradách. Jsou zde stromy i keře, jednotlivé i v menších skupinách. Menší zatravněné plochy jsou před domy, někde jsou i úzké zatravněné pásy, oddělující chodníky od vozovky, ale v ulicích chybí stromy, přestože ulice jsou poměrně široké.

#### **4.4 Příměstská čtvrť**

Oblast se nachází na východě města. Nachází se zde starší zástavba rodinných domů, novostavby rodinných domů, ale i bytové a panelové domy. Stejně jako v oblasti rodinných domů i zde podle katastru nemovitostí převládá druh pozemku zahrada a zastavěná plocha a nádvoří. Několik pozemků má druh ostatní plocha a způsob využití pozemku zeleň. Podle územního plánu v oblasti naprosto převládá území pro bydlení, jen z malé části sem zasahují smíšená území.

Různorodá zástavba v oblasti je obklopena zatravněnými plochami, keři i stromy. Ty jsou v zahradách za domy, ale často i oddělují domy od silnice. Někde jsou silnice od chodníků odděleny zatravněnými pásy, popřípadě řadou menších stromů. Zajímavě řešena je ulice Československých legií, jejíž dva pásy jsou od sebe odděleny širokým zatravněným pruhem s řadou vzrostlých stromů, mezi kterými protéká potok.

#### **4.5 Sídliště**

Oblast sídliště se nachází na západě města na území sídliště Máj. Jedná se o největší sídliště ve městě, které bylo vybudováno v 80. letech. Jsou zde převážně osmipodlažní až dvanáctipodlažní panelové domy. Podle katastru nemovitostí zde převládá druh pozemku zastavěná plocha a nádvoří a ostatní plocha se způsobem využití zeleň. Podle územního plánu v oblasti převládá území pro bydlení a zasahují sem území městské zeleně.

Jak již bylo řečeno výše, pro oblast jsou typické vysoké panelové domy, mezi kterými jsou zatravněné plochy, které však často ustupují asfaltovým a dlážděným parkovacím místům. Místy jsou na trávnících stromy různého stáří a velikosti.

## 4.6 Průmyslová zóna

Jedná se o oblast na východě města, kde je koncentrován průmysl. Podle katastru v této oblasti převládá druh pozemku ostatní plocha, způsob využití manipulační plocha, a zastavěná plocha a nádvoří. V oblasti leží židovský hřbitov, ten je v katastru evidován s druhem pozemku ostatní plocha, způsob využití hřbitov, urnový háj. Podle územního plánu v oblasti převažují území pracovních aktivit (ta jsou určena pro umístění výrobních provozoven a průmyslových podniků, bydlení je zde přípustné výjimečně), o něco méně je zde pak smíšených území. Pozemek židovského hřbitova je podle územního plánu lokalitou městské zeleně.

Pro oblast jsou typické nižší rozsáhlé budovy nebo komplexy budov, země je převážně zakryta asfaltem nebo betonem. Až na oblast hřbitova a několik zatravněných ploch a stromů chybí v oblasti jakákoli zeleň.

## 4.7 Park

Oblast parku je situována v jihozápadní části města na západním břehu Vltavy v největším městském parku Stromovka. Pro oblast je charakteristická naprostá převaha zeleně a významná vodní plocha, a to vodní nádrž Bagr velká asi 2,6 ha. Podle územního plánu v této oblasti naprosto převládá území městské zeleně a významnou část tvoří území vodních ploch. V oblasti jsou pozemky velkých výměr, jejich druh pozemku je převážně ostatní plocha, způsob využití zeleň.

## 4.8 Výběr povrchů na snímcích pořízených termokamerou

Termokamerou byly na území Českých Budějovic pořízeny další termální data. Data byla pořízena především v areálu Jihočeské univerzity, v parku Stromovka a v centru města. Veškerá data jsou ve formátech *tiff* a *csv* na příloženém CD. Na snímcích bylo vybráno několik povrchů tak, aby zde byly zastoupeny povrchy přírodní i umělé. Při výběru bylo zásadní, aby povrch nebyl zastíněn. Povrchy byly vybrány jako pravidelné obdélníky o velikosti 16 × 14 pixelů. Vybranými povrchy jsou: střechy, betonová dlažba, stěna budovy, asfalt, holá půda, strom, posekaná tráva, vysoká ostřice a rybník.

## 5. Výsledky

### 5.1 Použité snímky

Vyhodnocovány jsou dva snímky družice Landsat 8, LC81910262013208LGN00 (S1) a LC81920262015221LGN00 (S2). Datum a čas vytvoření snímků a charakteristika počasí v Českých Budějovicích ve dnech pořízení snímků podle archivu In-počasí<sup>24</sup> jsou uvedeny v tabulce 3.

**Tabulka 3: Datum, čas a klimatické podmínky při pořízení snímků.**

Snímek	Datum vytvoření	Čas vytvoření	Charakteristika počasí	Minimální teplota	Maximální teplota
S1	27. 7. 2013	11:53 SELČ	Jasno až skoro jasno	17,8 °C	35 °C
S2	9. 8. 2015	11:56 SELČ		15,6 °C	34,7 °C

Data Landsat jsou poskytována v zobrazení WGS84/UTM Zone 33N. Snímky Landsat lze prohlížet a stahovat pomocí aplikace Earth Explorer<sup>25</sup> nebo je lze objednat pomocí nástroje, který USGS nabízí na adrese <http://espa.cr.usgs.gov/>. Zde je možné získat surová data, případně data různé úrovně zpracování<sup>26</sup>. Data byla získána ve formě teploty povrchu, to znamená, že radiometrická korekce podle rovnice (4) a převod na radiační teplotu podle rovnice (5) proběhly na straně USGS. Radiační teplota byla dále převedena podle rovnice (6) na teplotu povrchu. Za hodnotu emisivity byla dosazena hodnota 0,96, což je přibližně hodnota většiny materiálů na povrchu města. Teplota povrchu byla dále převedena ze °K na °C.

Data z termokamery byla pořízena 13. 8. 2015 SELČ mezi 9:30 a 11:00. Podle archivu In-počasí bylo ten den jasno až polojasno, maximální teplota dosahovala 34,6 °C, minimální teplota dosahovala 19,4 °C.

<sup>24</sup> <http://www.in-pocasi.cz/archiv/>

<sup>25</sup> <http://earthexplorer.usgs.gov/>

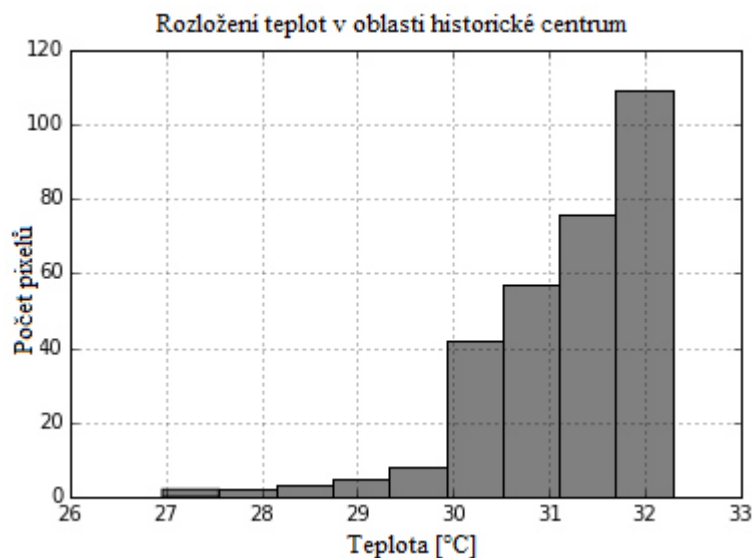
<sup>26</sup> Poskytované datové produkty jsou popsány na stránkách USGS: [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).

## 5.2 Charakteristika termálních a spektrálních dat v jednotlivých oblastech

Charakteristika termálních a spektrálních dat je ilustrována na snímku S1, pásmo 11 (TIRS 2). Den pořízení snímku S1 byl totiž ještě mírně teplejší než den pořízení snímku S2. Povrchové teploty, vypočtené z termálních dat podle rovnic (4), (5), (6), a NDVI, vypočtený z multispektrálních dat podle rovnic (7), (8), jsou pro jednotlivé oblasti popsány v následujících kapitolách.

### 5.2.1 Historické centrum

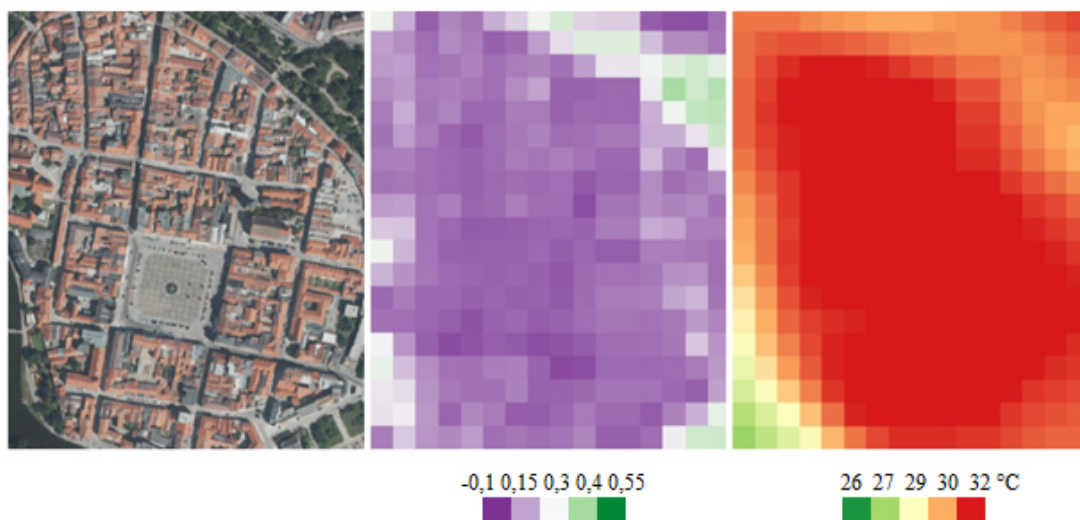
Maximální hodnota povrchové teploty v této oblasti dosahuje 32,3 °C, minimální 28,6 °C a průměrná 31,2 °C. Hodnoty povrchové teploty se ve velké části oblasti blíží maximu. Histogram četnosti teplot je na obrázku 4. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,39, průměrná hodnota NDVI je 0,11.



Obrázek 4: Histogram četností teplot v oblasti historické centrum.

Tato oblast neobsahuje téměř žádnou vegetaci. Nepřítomnost vegetace je zřejmá z ortofota i ze zobrazení hodnot vegetačního indexu na obrázku 5. Je zde zřejmá korelace mezi vegetací v Sadech a v parku na Senovážném náměstí a výrazně vyšší hodnotou vegetačního indexu a zároveň mírně nižší hodnotou povrchových teplot v těchto oblastech.

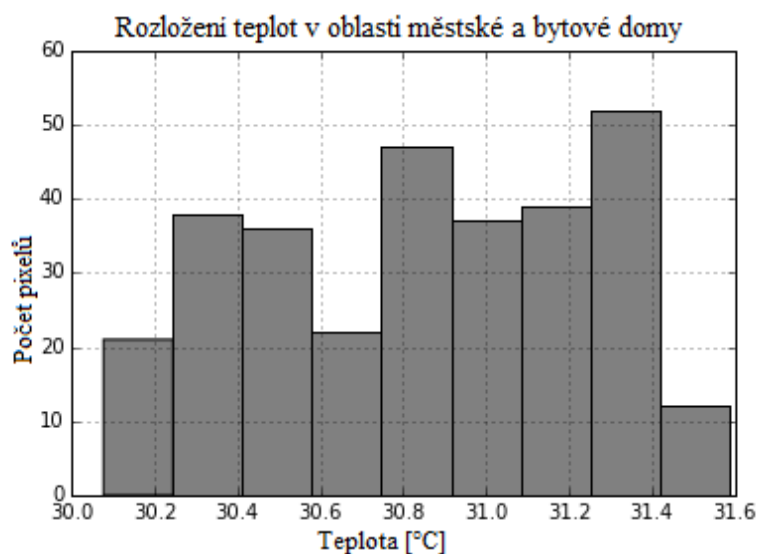




Obrázek 5: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) oblasti historického centrum.

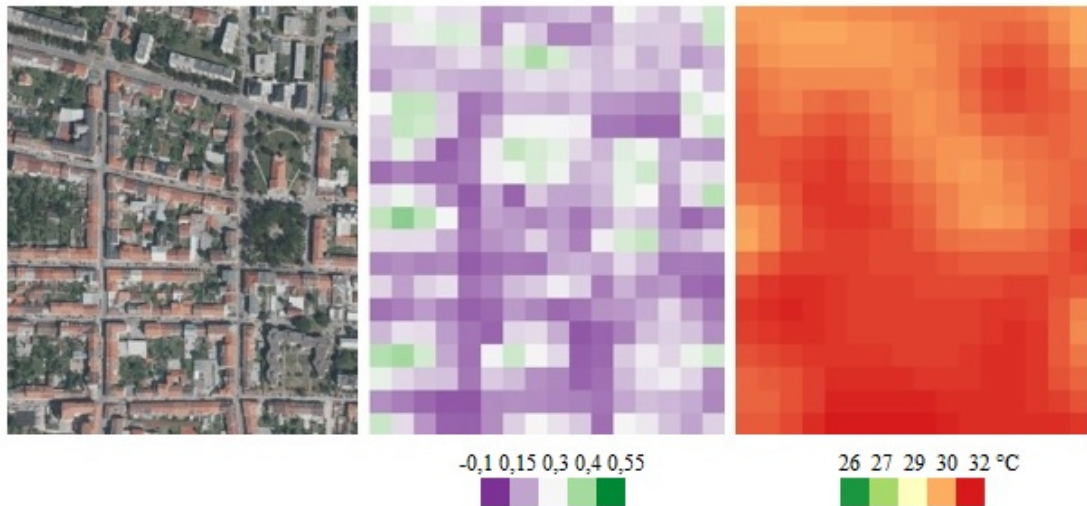
### 5.2.2 Městské a bytové domy

Maximální hodnota povrchové teploty v této oblasti dosahuje 31,5 °C, minimální 30,2 °C a průměrná 30,9 °C. Z histogramu na obrázku 6 je vidět, že četnost jednotlivých teplot je poměrně srovnatelná. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,42, průměrná hodnota NDVI je 0,18.



Obrázek 6: Histogram četností teplot v oblasti městské a bytové domy.

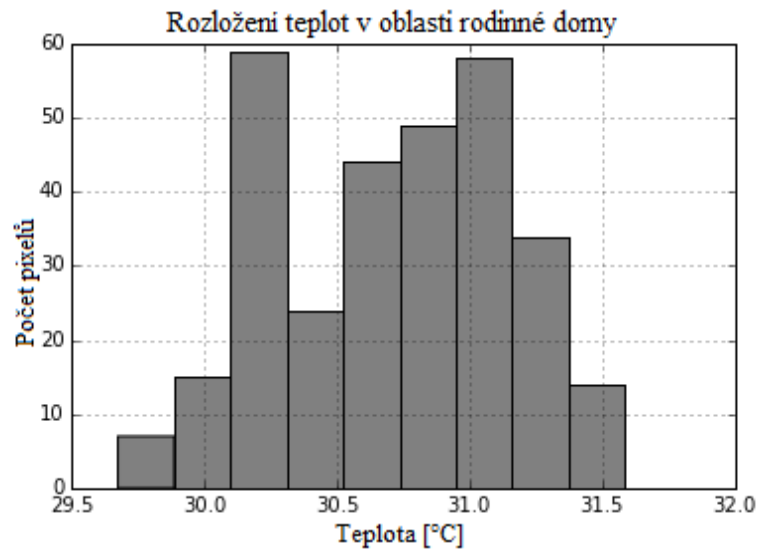
Na obrázku 7 je vidět korelace mezi rozptýlenou vegetací a hodnotou vegetačního indexu. Povrchové teploty v této oblasti jsou mírně nižší než v oblasti historického centrum.



**Obrázek 7: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) oblasti městské a bytové domy.**

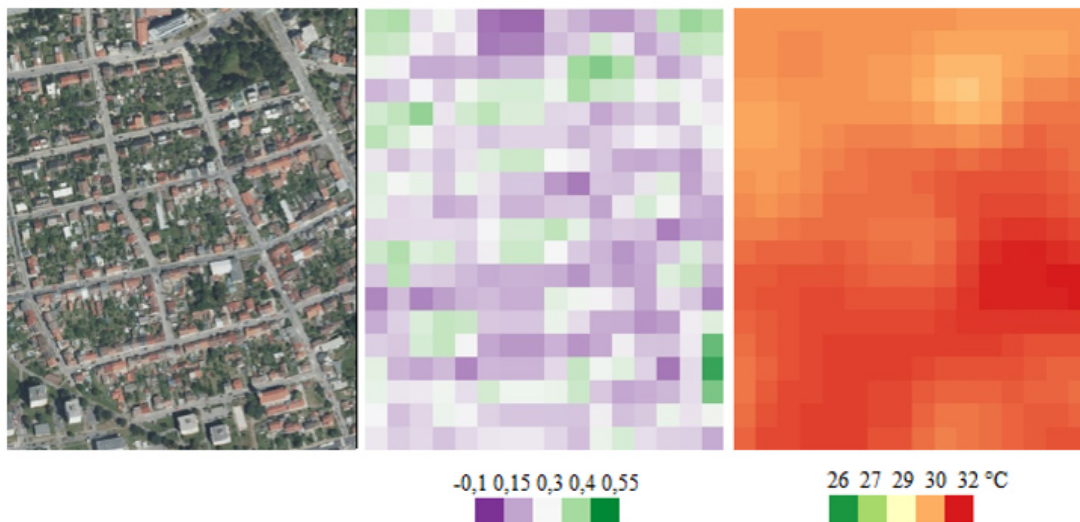
### 5.2.3 Rodinné domy

Maximální hodnota povrchové teploty v oblasti rodinné domy dosahuje 31,6 °C, minimální 29,7 °C a průměrná 30,7 °C. Histogram četnosti teplot je na obrázku 8. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,49, průměrná hodnota NDVI je 0,23.



**Obrázek 8: Histogram četností teplot v oblasti rodinné domy.**

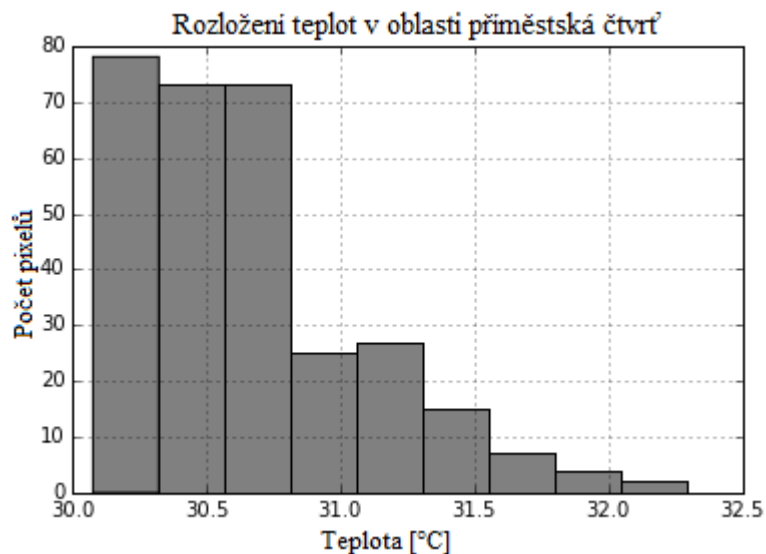
Rozptýlená vegetace a její souvislost s hodnotou vegetačního indexu a povrchové teploty v oblasti jsou na obrázku 9.



Obrázek 9: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) oblasti rodinné domy.

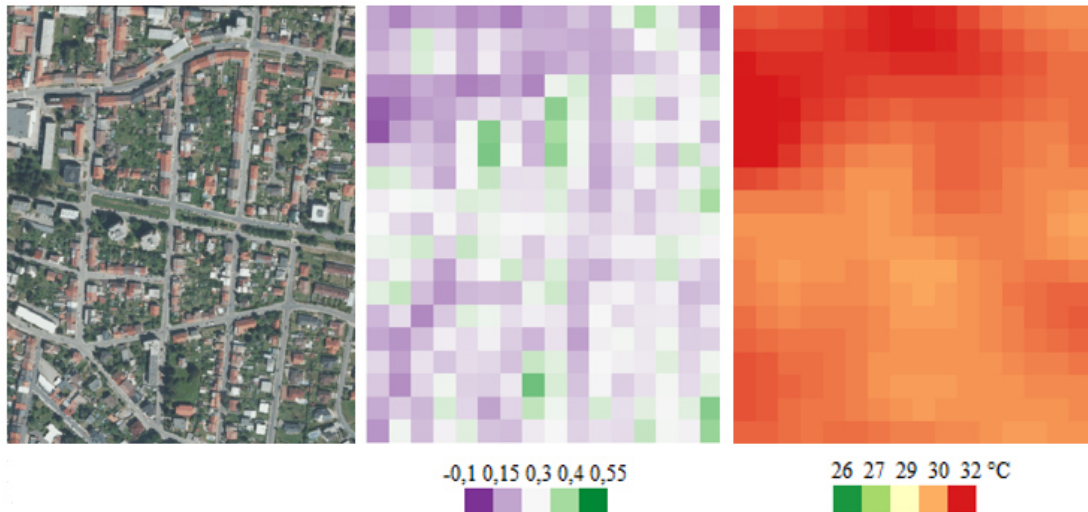
#### 5.2.4 Příměstská čtvrť

Maximální hodnota povrchové teploty v oblasti příměstská čtvrť dosahuje 32,3 °C, minimální 30,1 °C a průměrná 30,7 °C. Histogram četnosti teplot je na obrázku 10. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,46, průměrná hodnota NDVI je 0,23.



Obrázek 10: Histogram četnosti teplot v oblasti příměstská čtvrť.

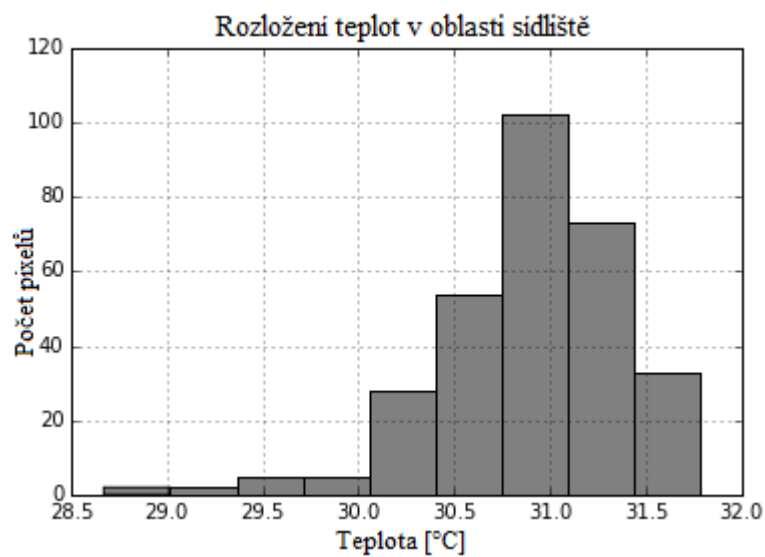
Rozptýlená vegetace a její souvislost s hodnotou vegetačního indexu v oblasti jsou na obrázku 11. Z histogramu na obrázku 10 i z obrázku 11 je vidět, že v oblasti převládají teploty blízké minimu v oblasti, vyšší teploty jsou pak v severní části oblasti.



Obrázek 11: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) v oblasti příměstská čtvrť.

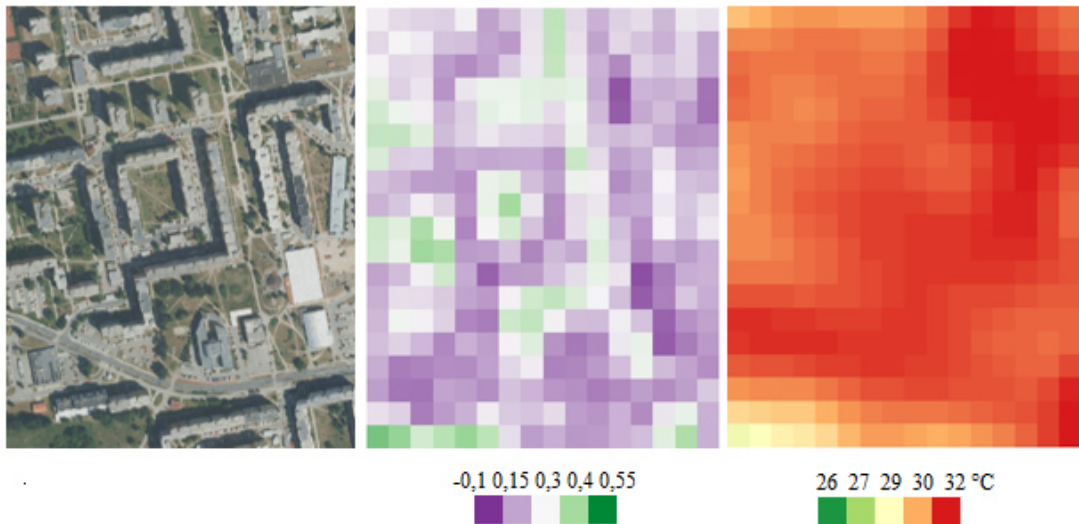
### 5.2.5 Sídliště

Maximální hodnota povrchové teploty v oblasti sídliště dosahuje 31,8 °C, minimální 28,7 °C a průměrná 30,9 °C. Histogram četnosti teplot je na obrázku 12. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,44, průměrná hodnota NDVI je 0,19.



Obrázek 12: Histogram četností teplot v oblasti sídliště.

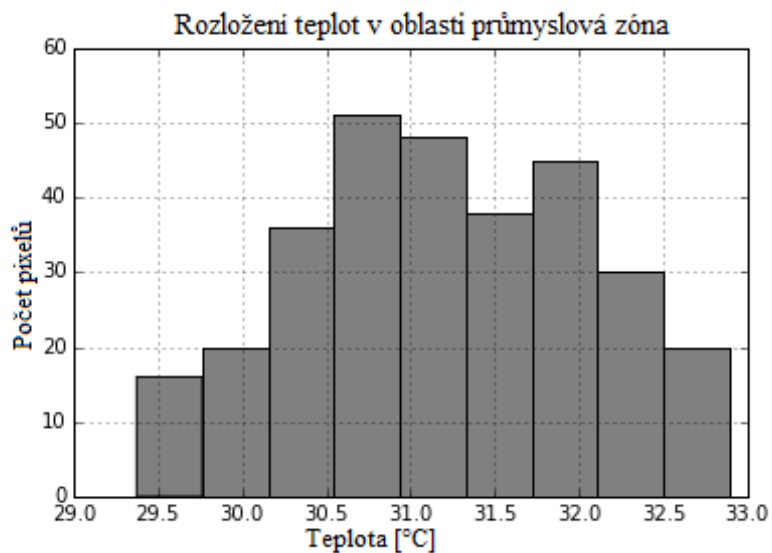
Na obrázku 13 je vidět, jak vegetace v oblasti zvyšuje hodnotu NDVI indexu, naopak panelové budovy mají hodnotu NDVI nízkou. Vyšší hodnota NDVI a nižší povrchová teplota jsou patrné v levém dolním rohu oblasti, kde sídliště končí a sousedí s lesem.



**Obrázek 13: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) v oblasti sídliště.**

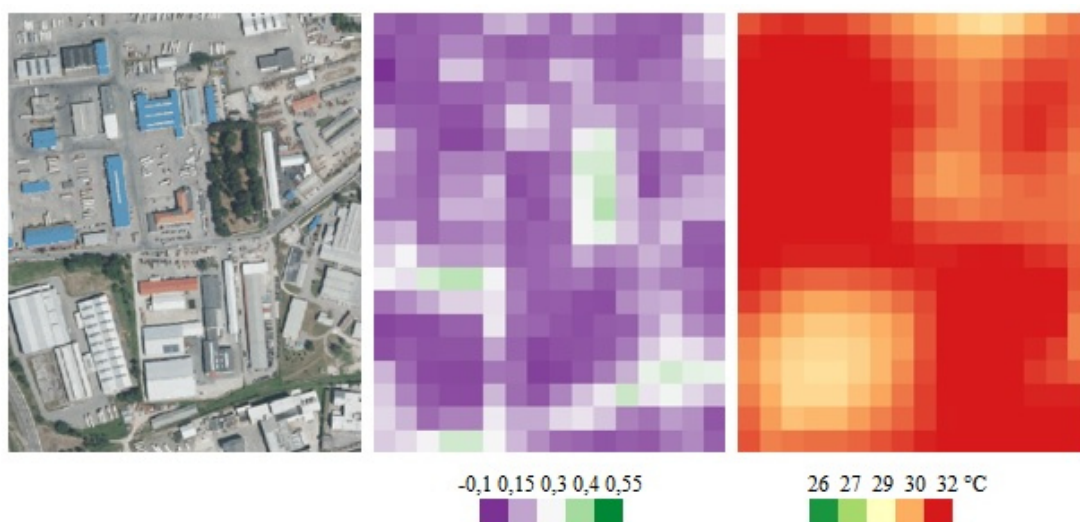
### 5.2.6 Průmyslová zóna

Maximální hodnota povrchové teploty v oblasti průmyslová zóna dosahuje 32,9 °C, minimální 29,4 °C a průměrná 31,2 °C. Histogram četnosti teplot je na obrázku 14. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,37, průměrná hodnota NDVI je 0,12.



**Obrázek 14: Histogram četností teplot v oblasti průmyslová zóna.**

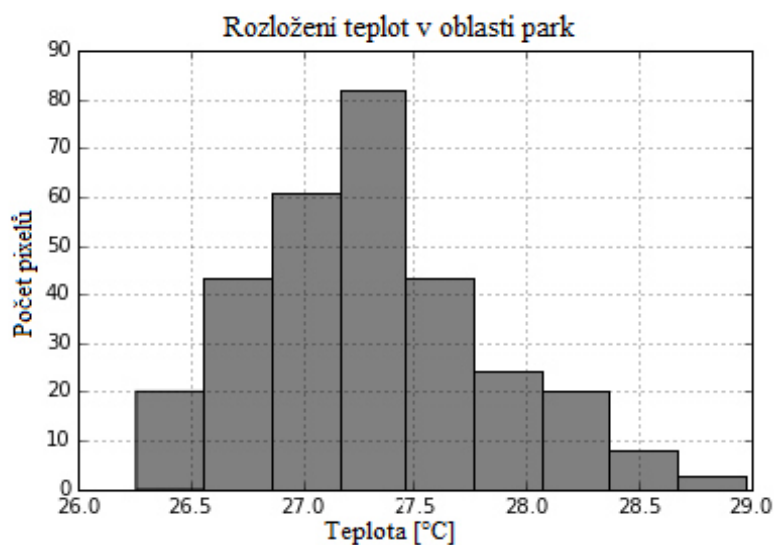
Ortofoto oblasti, velikost NDVI a rozložení povrchových teplot je na obrázku 15.



**Obrázek 15: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) v oblasti průmyslová zóna.**

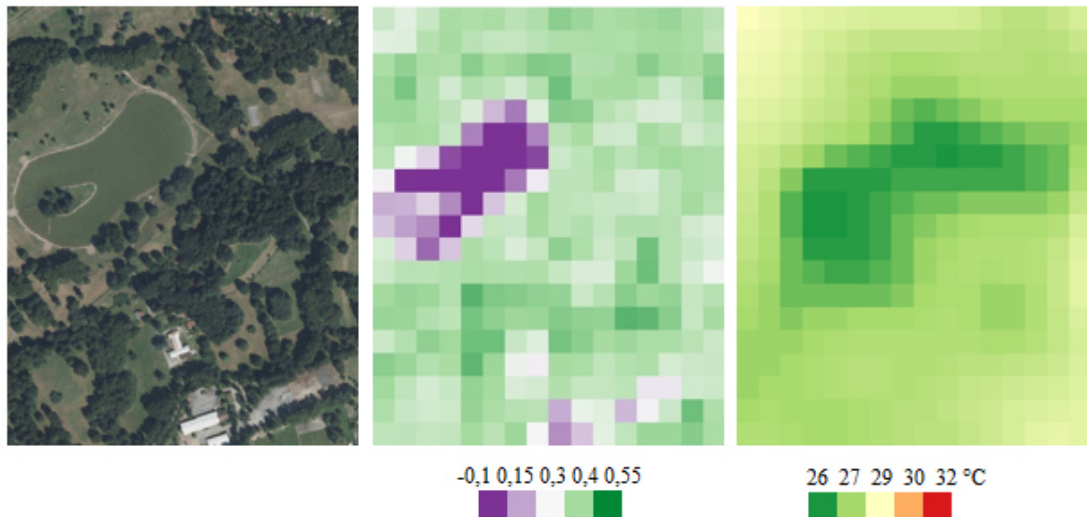
### 5.2.7 Park

Maximální hodnota povrchové teploty v parku dosahuje 29 °C, minimální 26,3 °C a průměrná 27,3 °C. Histogram četnosti teplot je na obrázku 16. Maximální hodnota NDVI v oblasti je 0,46, průměrná hodnota NDVI je 0,34.



**Obrázek 16: Histogram četností teplot v oblasti park.**

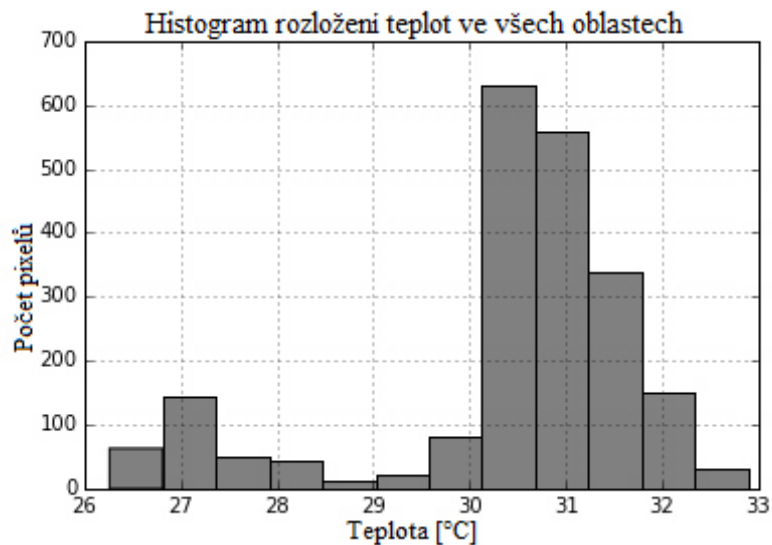
Ortofoto oblasti, velikost NDVI a rozložení povrchových teplot je na obrázku 17. Jsou zde vidět vysoké hodnoty NDVI, až na plochu rybníka a několik budov na jihu oblasti. V celé oblasti jsou výrazně nižší povrchové teploty než v ostatních oblastech, pohybují se kolem 27 °C, nejchladnější je pak rybník s teplotou přibližně 26,5 °C.



Obrázek 17: Ortofoto (vlevo), NDVI (uprostřed) a termální data (vpravo) v oblasti parku.

### 5.2.8 Porovnání povrchových teplot oblastí

Histogram četností jednotlivých teplot na snímku S1 je na obrázku 18. Celkově převládají teploty mezi 30-32 °C. Celková minimální teplota je 26,3 °C, maximální je 32,9 °C a průměrná teplota v oblastech je 30,4 °C.



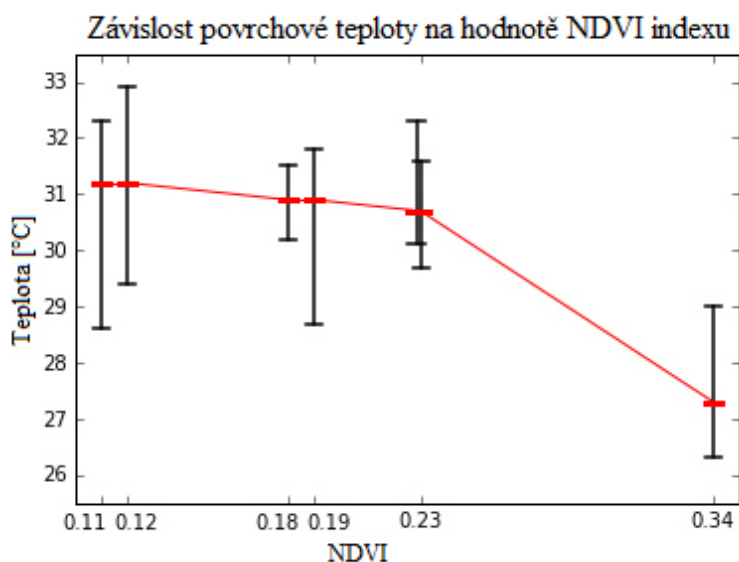
Obrázek 18: Histogram četností teplot na snímku S1.

V tabulce 4 jsou uvedeny povrchové teploty, průměrná hodnota NDVI a počty pixelů na snímku S1 s indexem NDVI větším než 0,2, respektive 0,3. Oblasti jsou seřazeny podle průměrné povrchové teploty a maximální povrchové teploty v oblasti. Hodnoty povrchové teploty a průměrná hodnota NDVI v oblastech jsou dále zobrazeny v grafu na obrázku 19. Z grafu je zřejmá korelace mezi průměrnou hodnotou povrchové teploty a počty pixelů s NDVI daných hodnot. Graf zobrazuje,

jak s rostoucí hodnotu NDVI indexu klesají povrchové teploty. Vzhledem k tomu, že vysoké hodnoty NDVI indexu značí přítomnost vegetace, vyplývá z tabulky závislost povrchové teploty na množství vegetace v oblasti.

**Tabulka 4: Povrchové teploty a NDVI na snímku S1 v jednotlivých oblastech, oblasti jsou seřazeny podle průměrné teploty a maximální povrchové teploty. Každá oblast obsahuje 304 pixelů.**

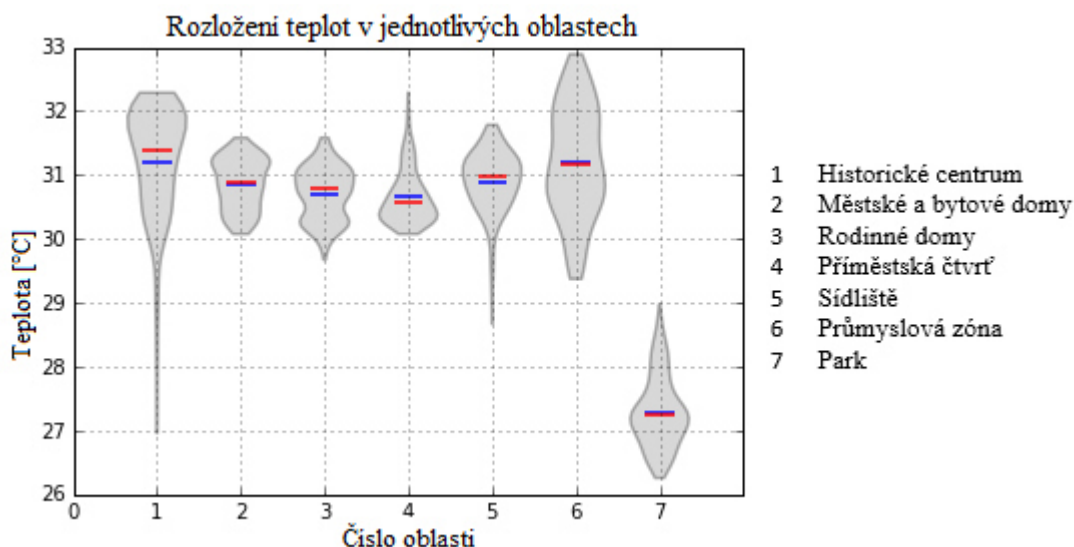
Oblast	Povrchová teplota [°C]			Průměrná hodnota NDVI	Počet pixelů s hodnotou NDVI	
	prům.	max.	min.		NDVI>0,2	NDVI>0,3
Park	27,3	29	26,3	0,34	272	256
Rodinné domy	30,7	31,6	29,7	0,23	172	62
Příměstská čtvrť	30,7	32,3	30,1	0,23	195	51
Městské a bytové domy	30,9	31,5	30,2	0,18	116	33
Sídliště	30,9	31,8	28,7	0,19	131	36
Historické centrum	31,2	32,3	28,6	0,11	38	15
Průmyslová zóna	31,2	32,9	29,4	0,12	46	12



**Obrázek 19: Graf závislosti velikosti povrchových teplot na hodnotě NDVI indexu. V grafu je červeně zvýrazněn průměr každé oblasti a klesající trend teploty v závislosti na rostoucí hodnotě NDVI.**

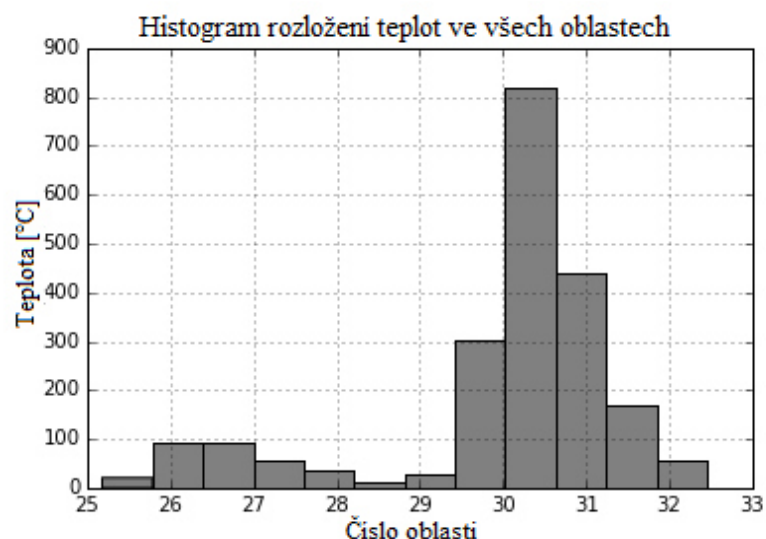
Povrchové teploty oblastí na snímku S1 jsou dále znázorněny na obrázku 20. Z grafu je vidět, že v parku jsou nejnižší povrchové teploty. Jsou výrazně nižší, než ve všech zbylých oblastech. Jen málo hodnot zde přesahuje 28 °C, tyto hodnoty jsou způsobeny budovami na okraji oblastí. Naopak v oblastech bez vegetace, tedy v historickém centru a průmyslové zóně jsou vyšší teploty než ve zbylých oblastech.





**Obrázek 20:** Vizualizace rozložení povrchových teplot v jednotlivých oblastech na snímku S1 pomocí grafu violin plot. V grafu je zvýrazněna průměrná povrchová teplota modře a medián povrchových teplot červeně.

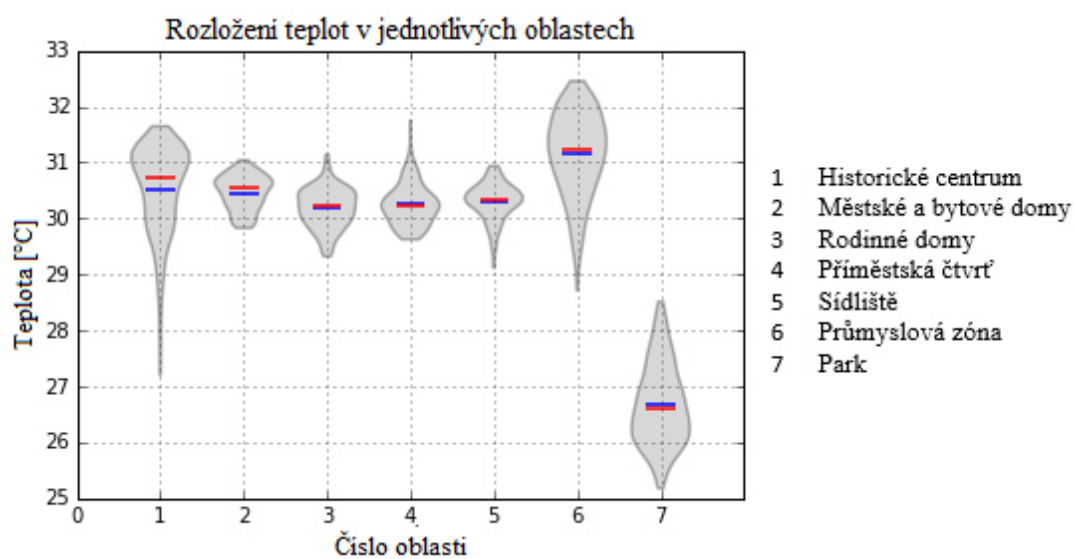
Histogram četností povrchových teplot na snímku S2 je na obrázku 21. Nejvyšší četnost mají teploty nad 30 °C, maximální teplota v oblasti je 32,5 °C, minimální 25,2 °C a průměrná 29,9 °C. Povrchové teploty jsou tedy podobné snímku S1. Z porovnání obrázků 18 a 20 je vidět, že i rozložení povrchových teplot na obou snímcích je podobné. V tabulce 5 jsou dále uvedeny teploty v oblastech na snímku S2, seřazené podle průměrné a maximální teploty v oblasti. Seřazení oblastí odpovídá tabulce 4 a opět je zde zřejmá korelace mezi množstvím vegetace a povrchovými teplotami v oblasti. Totéž vyplývá i z obrázku 22, kde jsou zobrazeny povrchové teploty v oblastech na snímku S2 pomocí grafu typu Violin Plot. Z grafu je zřejmá výrazně nižší povrchová teplota v oblasti parku a vyšší teploty v oblastech bez vegetace.



Obrázek 21: Histogram četností teplot na snímku S2.

Tabulka 5: Povrchové teploty na snímku S2.

Oblast	Povrchová teplota		
	průměrná	maximální	minimální
Park	26,7	28,5	25,2
Rodinné domy	30,2	31,1	29,3
Příměstská čtvrť	30,2	31,7	29,6
Sídliště	30,3	30,9	29,1
Městské a bytové domy	30,5	31,0	29,8
Historické centrum	30,5	31,6	27,2
Průmyslová zóna	31,1	32,5	28,7



Obrázek 22: Vizualizace rozložení povrchových teplot v jednotlivých oblastech na snímku S2 pomocí grafu violin plot. V grafu je zvýrazněna průměrná povrchová teplota modře a medián povrchových teplot červeně.

### 5.3 Výsledky statistického zpracování

Z histogramů na obrázcích 18 a 21, které zobrazuje rozložení teplot ve všech oblastech, je zřejmé, že data pravděpodobně nemají normální rozdělení. To potvrzuje i vypočtená testová hodnota Shapiro-Wilkova testu z rovnice (9). Výsledné hodnoty funkce *shapiro* jsou uvedeny v tabulce 6. Při volbě hladiny významnosti  $\alpha = 5 \%$  je zamítnuta nulová hypotéza, protože  $p \ll \alpha$ . Shapiro-Wilkův test tedy prokázal, že data nemají normální rozdělení.

**Tabulka 6: Výsledky Shapiro-Wilkova testu za použití funkce *shapiro*.**

Snímek	$W$	$p$	výsledek
S1	0,82	$1,25 \cdot 10^{-43}$	zamítnutí nulové hypotézy
S2	0,79	$1,40 \cdot 10^{-45}$	zamítnutí nulové hypotézy

Vzhledem k tomu, že data nemají normální rozdělení, nelze použít analýzu rozptylu ANOVA, ale o statistické závislosti mezi daty jednotlivých oblastí je nutné rozhodnout pomocí Kruska-Wallisova testu. Výpočet testové statistiky testu je uveden v rovnici (10). Výsledné hodnoty funkce *kruskalwallis* jsou uvedeny v tabulce 7.

**Tabulka 7: Výsledky Kruskal-Wallisova testu za použití funkce *kruskalwallis*.**

Snímek	$Q$	$p$	výsledek
S1	940,70	$5,60 \cdot 10^{-200}$	zamítnutí nulové hypotézy
S2	1099,03	$3,38 \cdot 10^{-234}$	zamítnutí nulové hypotézy

Na základě Kruskal-Wallisova testu je tedy zamítnuta nulová hypotéza (data všech oblastí pocházejí ze stejného rozdělení) a platí alternativní hypotéza (data alespoň jedné oblasti pocházejí z jiného rozdělení než data ostatních oblastí).

Výsledky funkce pro snímek S1 jsou uvedeny v tabulce 8, pro snímek S2 jsou uvedeny v tabulce 9. V tabulkách 8 a 9 je použito značení:

- pro  $p < 0,1$
- \* pro  $p < 0,05$
- \*\* pro  $p < 0,01$
- \*\*\* pro  $p < 0,001$

Pro hladinu významnosti  $\alpha = 5 \%$  značí \*, \*\* a \*\*\*, že  $p < \alpha$ . To znamená, že je na dané hladině významnosti zamítnuta nulová hypotéza, mezi oblastmi ve

dvojici jsou prokázány statisticky významné rozdíly a data povrchové teploty v porovnávaných oblastech mají rozdílné rozdělení.

**Tabulka 8: Výsledky post hoc analýzy pomocí Neményiho testu pro snímek S1.**

Oblast	Historické centrum	Městské a bytové domy	Rodinné domy	Příměstská čtvrť	Sídliště	Průmyslová zóna	Park
Historické centrum	-	***	***	***	**	•	***
Městské a bytové domy	***	-	•	**	•	*	***
Rodinné domy	***	•	-	•	**	***	***
Příměstská čtvrť	***	**	•	-	***	***	***
Sídliště	**	•	**	***	-	•	***
Průmyslová zóna	•	*	***	***	•	-	***
Park	***	***	***	***	***	***	-

**Tabulka 9: Výsledky post hoc analýzy pomocí Neményiho testu na snímku S2.**

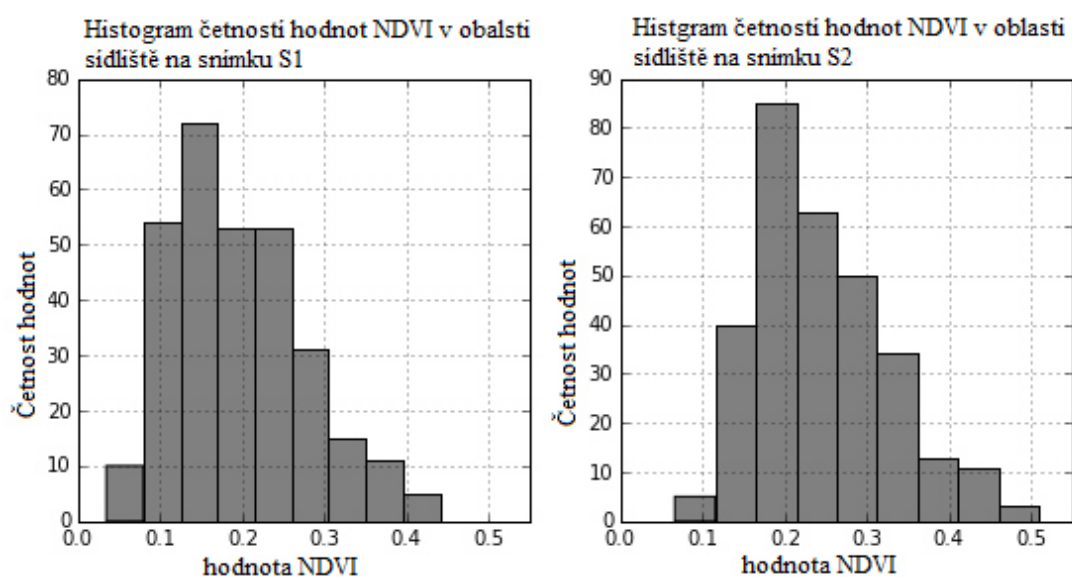
Oblast	Historické centrum	Městské a bytové domy	Rodinné domy	Příměstská čtvrť	Sídliště	Průmyslová zóna	Park
Historické centrum	-	•	***	***	***	***	***
Městské a bytové domy	•	-	***	***	•	***	***
Rodinné domy	***	***	-	•	•	***	***
Příměstská čtvrť	***	***	•	-	•	***	***
Sídliště	***	•	•	•	-	***	***
Průmyslová zóna	***	***	***	***	***	-	***
Park	***	***	***	***	***	***	-

Výsledky ze snímku S1 jsou následující. Z 21 porovnávaných dvojic jsou mezi 16 dvojicemi prokázány statisticky významné rozdíly na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$ . Mezi 5 dvojicemi pak statisticky významné rozdíly prokázány nejsou. Rozdíly nejsou prokázány mezi oblastmi s podobným zastoupením vegetace. Těmi

jsou například dvojice oblastí historické centrum-průmyslová zóna nebo rodinné domy-příměstská čtvrť. Z 21 porovnávaných dvojic na snímku S2 jsou mezi 16 dvojicemi prokázány statisticky významné rozdíly na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$ . Nejvýznamnější rozdíly jsou vždy mezi oblastí parku v porovnání s jakoukoli jinou oblastí. Při porovnání výsledků ze snímků S1 a S2 je zajímavá změna v oblasti sídliště, kdy na snímku S1 jsou povrchové teploty v oblasti sídliště srovnatelné s povrchovými teplotami v oblasti městských a bytových domů. Podle výsledků ze snímku S2 je pak oblast sídliště podobná i oblasti rodinných domů a oblasti příměstská čtvrť. Změna v oblasti sídliště je dále popsána v následující kapitole.

#### 5.4 Změna v oblasti sídliště v letech 2013-2015

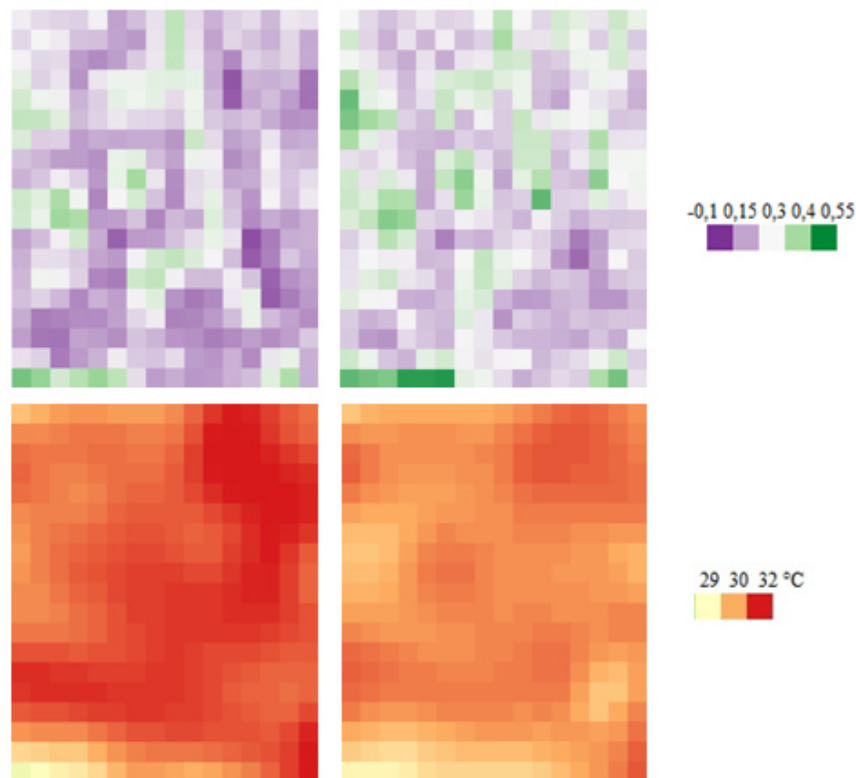
Na obrázku 23 jsou uvedeny histogramy četností hodnot NDVI, vypočtené ze snímku S1 a S2 v oblasti sídliště. Hodnoty NDVI jsou na celé ploše oblasti vyšší na snímku S2. Z histogramů je vidět větší zastoupení vyšších hodnot NDVI na snímku S2. Hodnoty NDVI jsou dále shrnuty v tabulce 10. Hodnoty NDVI a povrchové teploty jsou pro porovnání dále zobrazeny v obrázku 24.



Obrázek 23: Histogram četností hodnot NDVI v oblasti sídliště vypočtených ze snímků S1 a S2.

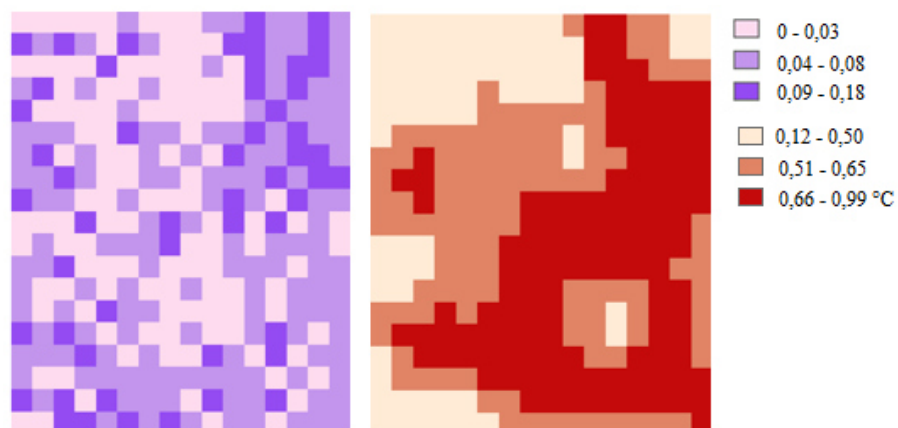
Tabulka 10: Hodnoty NDVI v oblasti sídliště vypočtené ze snímků S1 a S2.

Snímek	Průměr NDVI	Maximum NDVI	Minimum NDVI	NDVI>0,3	NDVI>0,4
S1	0,19	0,44	0,03	36	5
S2	0,25	0,51	0,07	73	16



Obrázek 24: Hodnoty NDVI (nahore) a povrchové teploty (dole) vypočtené ze snímku S1 (vlevo) a ze snímku S2 (vpravo).

Pro porovnání povrchových teplot v oblasti byly povrchové teploty vypočtené z obou snímků normalizovány podle postupu, který uvádí Brom (2012). Normalizované povrchové teploty ze snímků S1 a S2 se liší maximálně o 1°C a jsou celkově nižší na snímku S2. Rozdíl normalizovaných povrchových teplot a rozdíl hodnot vegetačního indexu ze snímku S1 a S2 je na obrázku 25.



Obrázek 25: Diference mezi hodnotou NDVI (vlevo) a normalizovanou hodnotou povrchových teplot (vpravo), které byly vypočteny ze snímků S1 a S2.

Nižší hodnoty NDVI ze snímku S2 značí vyšší podíl vegetace v době pořízení snímku S2 oproti době pořízení snímku S1. To patrně souvisí s rekonstrukcí, která podle webových stránek města<sup>27</sup> v oblasti probíhala od července 2013 do dubna 2015. Rekonstrukce měla kromě úpravy komunikací a zvýšení počtu parkovacích míst spočívat i v rozšíření zeleně.

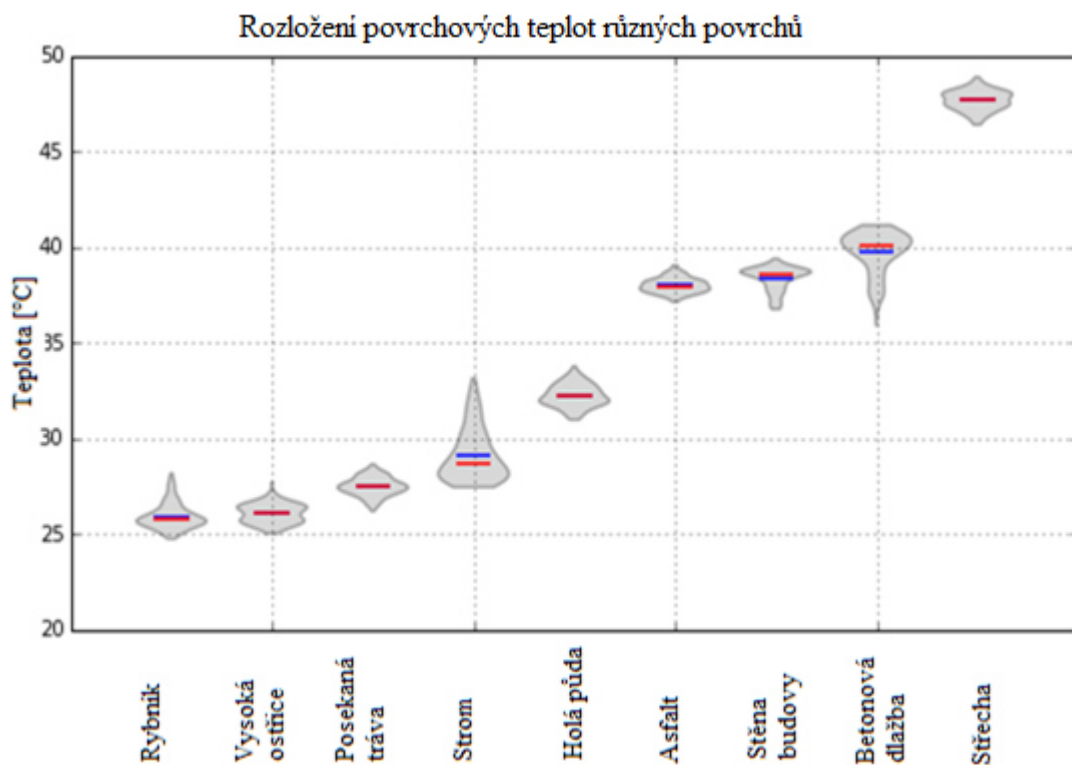
### 5.5 Povrchové teploty vybraných povrchů a materiálů zjištěné na základě termovizních snímků

V tabulce 11 jsou uvedeny teploty povrchů, které byly vybrány na snímcích pořízených termokamerou. V tabulce je dále uvedeno číslo snímku, čas pořízení snímku a souřadnice levého horního a pravého dolního rohu obdélníku, který vymezuje zpracovávanou část povrchu. Souřadnice jsou určeny v místním souřadnicovém systému, který má počátek v levém horním rohu snímku, osa x směřuje doprava, osa y směřuje dolů a jednotkou je pixel. Teploty povrchů jsou dále zobrazeny v grafu na obrázku 26.

Tabulka 11: Teploty vybraných povrchů na snímcích pořízených termokamerou.

Povrch	Povrchová teplota			Snímek	Souřadnice na snímku	Čas
	průměrná	maximální	minimální			
Rybník	25,92	28,17	24,75	T7	(46,61) (193,206)	10:11
Vysoká ostržice	26,07	27,72	25,03	T7	(246,261) (183,196)	10:11
Posekaná tráva	27,46	28,65	26,20	T3	(291,306) (235,248)	9:41
Strom	29,13	33,14	27,45	T9	(9,24) (77,90)	10:13
Holá půda	32,23	33,77	40,98	T11	(103,118) (126,139)	10:20
Asfalt	38,00	39,05	37,14	T15	(121,136) (259,272)	10:41
Stěna budovy	38,35	39,40	36,76	T2	(298,313) (81,94)	9:37
Betonová dlažba	39,74	41,16	35,90	T23	(181,196) (262,275)	11:07
Střecha	47,67	48,90	46,40	T16	(121,136) (259,272)	11:02

<sup>27</sup><http://www.c-budejovice.cz/cz/zivotni-prostredi-bydleni-doprava/regenerace-sidliste-maj/stranky/Regenerace-sidliste-Maj.aspx>



**Obr. 26:** Teploty vybraných povrchů na snímcích pořízených termokamerou. V grafu je zvýrazněna průměrná povrchová teplota modře a medián povrchových teplot červeně.

V tabulce 11 i v grafu na obrázku 26 je vidět, že přírodní vegetační povrchy (rybník, tráva, strom) mají výrazně nižší povrchové teploty než umělé povrchy (asfalt, stěna budovy, beton, střecha). Průměrné povrchové teploty vegetace se pohybují cca mezi 26-27,5 °C, o několik stupňů vyšší je pak povrchová teplota suché holé půdy, asi 32,2 °C. Průměrné povrchové teploty umělých materiálů pak začínají u 38 °C. Termální snímky byla pořízeny v dopoledních hodinách SELČ, lze tedy předpokládat, že během dne se povrchové teploty především u umělých materiálů ještě zvýšily, jedná se totiž o materiály s nízkým albedem a velkou tepelnou kapacitou.



## 6. Diskuse

Fenomén tepelného ostrova města a možnosti jeho regulace jsou předmětem výzkumu již řadu let (více v kapitole 2). Některé klimatické charakteristiky městské zástavby, především teplotu a vlhkost vzduchu, lze do jisté míry regulovat přítomností vegetace. Vztah mezi množstvím vegetace ve městech a povrchovými teplotami je od 70. let nejčastěji vyhodnocován na základě dat dálkového průzkumu Země. Schopnost vegetace ovlivnit klimatické charakteristiky urbanizovaných oblastí byla mnohokrát prokázána, například ve studiích Weng (2004), Gill (2007), Foster (2011), Oliveira (2011) a v mnoha dalších, nicméně při plánování městské výstavby je klimatizační funkce vegetace často zanedbávána případně ignorována a je proto potřeba jí věnovat neustálou pozornost.

Z výsledků práce je naprosto zřejmá korelace mezi hodnotou vegetačního indexu a mezi přítomností vegetace ve zpracovaných oblastech. Zřejmá je i korelace mezi hodnotou NDVI indexu a typem vegetace. Například v oblasti sídliště, kde převažují travní plochy, je průměrná hodnota NDVI indexu, vypočtená ze snímku S1, 0,19. V oblasti rodinných domů, kde je již více stromů a keřů než v oblasti sídliště, dosahuje tato hodnota 0,23. V oblasti parku, kde je velké zastoupení stromů, je to pak průměrná hodnota NDVI indexu 0,34. Průměrná hodnota v parku je ale navíc ovlivněna poměrně rozsáhlou vodní plochou, která celkový průměr snižuje.

Z různých typů vegetace mají na redukci teplotních extrémů největší vliv stromy, které podle Pokorného (2001) dokážou uvolnit pomocí evapotranspirace velké množství vody. Stromy se navíc díky hloubce kořenů dokážou lépe zásobovat vodou, a proto výrazně lépe a déle odolávají vysokým teplotám, nedostatku srážek a s nimi spojeným vodním stresem ve srovnání s trávničky. To je patrné z termovizních snímků t8, t9, t10 a t11 z oblasti parku. Na snímcích je vidět trávník, který je již z části suchý a stále zelené stromy. Další výhodou stromů je stínění. Podle Armson (2012) dokážou stromy pomocí stínění snížit teploty až o 5-7 °C. Tomu odpovídají celkově nižší povrchové teploty v oblastech s vyšším zastoupením stromů. Příkladem jsou i rozdíly uvnitř jednotlivých oblastí. Například v oblasti městské a bytové domy je skupina stromů na území Palackého náměstí, která koreluje se sníženými povrchovými teplotami vzhledem k okolní zástavbě. V místech s travními plochami je efekt snížení teploty méně patrný. Podobná je

i situace v oblasti rodinné domy, kde jsou povrchové teploty výrazně nižší na území parku na severu oblasti.

Vodní plochy mají na redukci teplot a vlhkosti vzduchu ještě výraznější vliv než vegetace, důvodem je to, že zde dochází k evaporaci velkého množství vody. Navíc měrná tepelná kapacita<sup>28</sup> vody je asi čtyřikrát vyšší než měrná tepelná kapacita betonu a asi třikrát vyšší, než měrná tepelná kapacita asfaltu (Ražnjevič, 1984). To znamená, že při ohřevu vody je spotřebováváno výrazně více tepla než při ohřevu těchto antropogenních materiálů. Tomu odpovídá nejnižší hodnota povrchové teploty (26-27 °C) na území vodní plochy v oblasti parku v porovnání s povrchovými teplotami v ostatních oblastech a pravděpodobně i vyšší vlhkost vzduchu v oblasti. Stejně tak tomu odpovídá nízká povrchová teplota (mezi 27-28 °C) v jihozápadním rohu oblasti historické centrum, kde protéká řeka. Zřejmá je i nízká povrchová teplota vody v kašně na termovizních snímcích t22 a t23, které jsou na přiloženém CD.

Na základě termálních dat, získaných metodami dálkového průzkumu Země, nelze zhodnotit, jaký je prostorový přesah vlivu vegetace na teploty a mikroklima v městských oblastech. Ze snímků lze získat pouze povrchové teploty, které vegetace přímo neovlivňuje. Ta ovlivňuje teplotu a vlhkost vzduchu. Vzdálenost, do jaké lze vliv vegetace pozorovat, záleží na mnoha různých faktorech, které zahrnují nejen ekologicko-klimatické faktory, jako velikost vegetační plochy, typ vegetace a její vývojová fáze a zdravotní stav, aktuální stav klimatu (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, intenzita slunečního záření, intenzita a směr proudění vzduchu a další), ale i faktory determinované charakterem zástavby, jako hustota a výška zástavby, orientace ulic a další. Z důvodu komplexnosti těchto faktorů se prostorový rozsah působnosti vegetace může výrazně měnit a nelze jednoznačně definovat, do jaké vzdálenosti je vegetace schopna stav klimatu ovlivnit.

Obecně lze říci, že vliv vegetace klesá v závislosti na rostoucí vzdálenosti od vegetační plochy. V závislosti na všech působících faktorech se prostorové působení vegetace může pohybovat v hodnotách desítek metrů, v případě velké vegetační plochy s dostatečnou intercepcí vody, a tedy významnou evapotranspirací,

---

<sup>28</sup> Měrná tepelná kapacita je množství vody potřebné k ohřátí jednoho kilogramu látky o jeden teplotní stupeň.

příznivých klimatických podmínkách a vhodném charakteru zástavby, může být tato hodnota ještě výrazně vyšší. Studií této problematiky se zabývá například Shashua-Bar (2000) nebo Dimoudi (2003).

Město České Budějovice se stejně jako většina urbanizovaných oblastí neustále vyvíjí. Tento vývoj spočívá především v růstu rozlohy města a ve zvyšování hustoty zástavby. To vede k zastavování volné krajiny a zakrývání půdy (soil sealing). Tím dochází k trvalému zakrytí půdy nepropustnými antropogenními materiály, což má za následek nevratné ztráty biologických a ekologických funkcí půdy a na ní rostoucí vegetace. Tento problém s sebou přináší výskyt extrémních teplot především v nově vybudovaných oblastech na okrajích měst, kterými jsou většinou průmyslové zóny, zóny obchodních center a sídliště. V Českých Budějovicích se tento problém týká i historického centra města.

Omezením rychlosti zakrývání půdy a zvyšování hustoty zástavby se tento problém nevyřeší, docílí se tak pouze pomalejšího zhoršování aktuálního stavu. Pokud je ale výstavba nevyhnutelná, měla by se uskutečnit v místech bez vegetace a na co nejmenší ploše. Z tohoto pohledu se jako vhodná alternativa k nové výstavbě jeví revitalizace brownfieldů. Pokud je to možné, měly by být při výstavbě preferovány propustné stavební materiály. Při stavebních pracích by mělo být minimalizováno riziko poškození zeleně v okolí staveb. Nedílnou součástí nové výstavby i rekonstrukcí by měla být snaha o zachování co největšího množství zeleně, případně výsadba nové zeleně.

Jako vhodné řešení se jeví zakládání parků, vysazování stromořadí a travních ploch, osazování doprovodné zeleně podél komunikací. V krajním případě lze vytvářet i nádoby s vegetační výsadbou, které jsou ale výrazně náročnější na péči. Vhodné je vytváření vodních ploch a vodních prvků, jezírek, fontán a kašen. Dalším zajímavým řešením, které bohužel není v České Republice časté, je zakládání zelených střech. Jejich vliv na mikroklima městských oblastí a především na redukci teplotních extrémů analyzuje například Del Barrio (1998), Castleton (2013), Susca (2011), Alexandri (2008) a mnoho dalších.

## 7. Závěr

Extrémní mikroklima uvnitř městské zástavby má negativní vliv na kvalitu života ve městech, má dopady ekologické, ekonomické i zdravotní. Přestože je tento jev pozorován již poměrně dlouho, se změnami klimatu, rostoucí urbanizací a rostoucími požadavky na kvalitu života nabývá na aktuálnosti.

Účinným způsobem řešení je přítomnost vegetace ve městech. Schopnost vegetace regulovat teplotní extrémny byla prokázána i při analýze vlivu vegetace na mikroklima v různých částech města České Budějovice. Stejně tak při analýze povrchových teplot různých povrchů a materiálů byly prokázány více než o 10 °C nižší povrchové teploty u přírodních vegetačních povrchů než u umělých materiálů.

Rozvoj městské zeleně by se tedy měl dostat do popředí v oblasti územního plánování a projektování města. Při snaze o zachování životního prostředí ve městech nebo ještě lépe při snaze o jeho zkvalitnění je zásadní zachovat stávající městskou zeleň, doplnit městskou zeleň tam, kde je jí nedostatek a vhodně o ni pečovat, protože jen v dobrém stavu a při dostatečném množství může městská zeleň uspokojivě plnit všechny své funkce.

## Reference

ALCOFORADO, M.-J.; ANDRADE, Henrique. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, 84.1-3: 151-159.

ALEXANDRI, Eleftheria; JONES, Phil. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 2008, 43.4: 480-493.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2012, 11.3: 245-255.

BROM, Jakub, et al. Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Ecological Engineering*, 2012, 43: 45-52.

CASTLETON, H. F., et al. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, 2010, 42.10: 1582-1591.

DEL BARRIO, Elena Palomo. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and buildings*, 1998, 27.2: 179-193.

DESSAI, Suraje. Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal of Biometeorology*, 2003, 48.1: 37-44.

DIMOUDI, Argiro; NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 2003, 35.1: 69-76.

DOBROVOLNÝ, Petr, et al. Analýza teploty aktivních povrchů v oblasti Brna. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlýn*, 2011, 2.4: 2.

Družice Landsat. Arcdata Praha [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data/landsat>.

DYKYJOVÁ, Dagmar. *Metody studia ekosystémů*. Academia, 1989.

FOSTER, Josh; LOWE, Ashley; WINKELMAN, Steve. The value of green infrastructure for urban climate adaptation. *Center for Clean Air Policy, February*, 2011.

FOUNDA, D., et al. Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves. *Atmospheric Research*, 2015, 161: 1-13.

GEDZELMAN, S. D., et al. Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City. *Theoretical and Applied Climatology*, 2003, 75.1-2: 29-42.

GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P. (2003): *The climate near the ground*. 6<sup>th</sup> edition. Rowman & Littlefield Publishers, Inc., Lanham, Maryland.

GILL, Susannah E., et al. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment (1978-)*, 2007, 115-133.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Evapotranspiration rates in urban areas. *IAHS PUBLICATION*, 1999, 259: 235-244.

CHANDLER, T. J. London's urban climate. *The Geographical Journal*, 1962, 128.3: 279-298.

KIM, Yeon-Hee; BAIK, Jong-Jin. Maximum urban heat island intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 2002, 41.6: 651-659.

KOLOKOTRONI, Maria; GIANNITSARIS, I.; WATKINS, Richard. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 2006, 80.4: 383-392.

Meteorologický slovník. Meteorologický slovník výkladový a terminologický [online]. Česká meteorologická společnost [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>.

MILLS, Gerald. Luke Howard and the climate of London. *Weather*, 2008, 63.6: 153-157.

MIRZAEI, Parham A.; HAGHIGHAT, Fariborz. Approaches to study urban heat island—abilities and limitations. *Building and Environment*, 2010, 45.10: 2192-2201.

OLIVEIRA, Sandra; ANDRADE, Henrique; VAZ, Teresa. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 2011, 46.11: 2186-2194

POKORNY, Jan, et al. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*, 2010, 5.4: 311-336.

POKORNÝ, Jan. Dissipation of solar energy in landscape—controlled by management of water and vegetation. *Renewable energy*, 2001, 24.3: 641-645.

RAŽNJEVIČ, K. *Termodynamické tabulky*, ALFA Bratislava, 1984.

RIZWAN, Ahmed Memon; DENNIS, Leung YC; CHUNHO, L. I. U. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20.1: 120-128.

SANTAMOURIS, M., et al. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar energy*, 2001, 70.3: 201-216.

SHAPHIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 1965, 52.3: 591-611.

SHASHUA-BAR, Limor; HOFFMAN, Michael E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the

cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 2000, 31.3: 221-235.

STŘEDOVÁ, Hana, et al. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Český hydrometeorologický ústav, 2011.

SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL'OSSO, G. R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 2011, 159.8: 2119-2126.

ŠTYCH, Přemysl a Lucie KUPKOVÁ. *Dálkový průzkum Země v ochraně přírody*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství P3K, 2014, 30 s.

TAHA, Haider. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 1997, 25.2: 99-103.

TAN, Jianguo, et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 2010, 54.1: 75-84.

Terra. Gisat: První firma v oboru dálkového průzkumu Země v České republice [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/terra>.

The world factbook. Central intelligence agency [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/>.

VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 2003, 86.3: 370-384.

WATKINS, Richard, et al. The London Heat Island--surface and air temperature measurements in a park and street gorges. *ASHRAE Transactions*, 2002, 108: 419.

WENG, Qihao; LU, Dengsheng; SCHUBRING, Jacquelyn. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 2004, 89.4: 467-483.

Whiter than White. Materials Council: Independent materials consultants to the architecture and creative industries [online]. [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: [http://www.materialscouncil.com/wp-content/uploads/2012/10/Whiter\\_than\\_White\\_report\\_by\\_Materials\\_Co](http://www.materialscouncil.com/wp-content/uploads/2012/10/Whiter_than_White_report_by_Materials_Co).

WHITMAN, Steven, et al. Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *American Journal of public health*, 1997, 87.9: 1515-1518.

YANG, Jiachuan; WANG, Zhi-Hua; KALOUSH, Kamil E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 47: 830-843.

ZEMEK, F., et. al., 2014. Letecký dálkový průzkum Země: Teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Centrum globální změny AV ČR v.v.i., Brno.

## Příloha 1: Snímky zpracovaných oblastí



Oblast historické centrum. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.





Oblast městské a bytové domy. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.



Oblast rodinné domy. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.



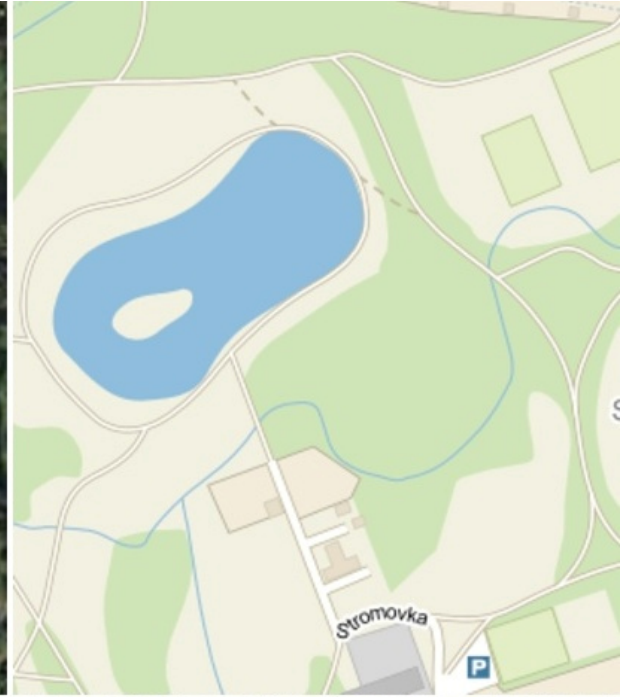
Oblast příměstská čtvrť. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.



Oblast sídliště. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.



Oblast průmyslová zóna. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.



Oblast park. Ortofoto, mapa, 3D pohled na oblast.

## Příloha 2: Zdrojový kód funkce *nemenyi*

```
import numpy as np
from scipy import stats
from itertools import combinations

def nemenyi(data, alfa):
    """
    Nemenyi's multiple comparison test
    autor: Jindra Marvalova

    Arguments:
        data: input data, sequence of array
        alfa: float

    Returns:
        p_val: array of float, corrected p-values for each pair
        pairs: compared pairs
        reject: array of bool, true if the null hypothesis is rejected
    """
    data = [np.array(i) for i in data]
    k = len(data)
    n = np.array([len(i) for i in data])
    alg = np.concatenate(data)
    N = len(alg)
    ranked = stats.rankdata(alg)
    T = stats.tiecorrect(ranked)

    # sum of ranks for each group
    j = np.insert(np.cumsum(n), 0, 0)
    R = np.empty(k, dtype=np.float)
    for i in range(k):
        R[i] = ranked[j[i]:j[i + 1]].sum()

    # comparison of every pair of groups
    pairs = tuple(combinations(range(k), 2))
    ncomp = len(pairs)
    dif = np.empty(ncomp, dtype=np.float)
    mean = R / n
    A = N * (N + 1) / (6. * (N/k))
    for p, (i, j) in enumerate(pairs):
        # difference of means
        dif[p] = np.abs(mean[i] - mean[j])

    # p-value
    chi2 = (dif ** 2.) / (A)
    p_val = stats.chisqprob(chi2 * T, k - 1)
    reject = np.empty([len(p_val)], dtype=bool)
    for p in range(k):
        if p_val[p] <= alfa:
            reject[p] = True
        if p_val[p] > alfa:
            reject[p] = False
    return pairs, p_val, reject
```