

Význam vegetace v utváření klimatických charakteristik v městské zástavbě

Jindra Marvalová¹

¹Katedra krajinného managementu, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Studentská 1668, 370 05, České Budějovice, Česká Republika
j.marvalova@gmail.com

Abstrakt. Tepelný ostrov města je fenomén rozdílných teplot ve městech ve srovnání s okolní krajinou. Je způsoben změnou geometrie aktivních povrchů, snížením albeda, snížením proudění vzduchu a dalšími charakteristikami městské zástavby a jejich dopady. Intenzitu tohoto jevu lze ovlivnit přítomností vegetace ve městech. V tomto článku je hodnocen vliv vegetace na mikroklima v různých částech města České Budějovice na základě vyhodnocení multispektrálních snímků družice Landsat a jejich statistickém zpracování.

Klíčová slova: tepelný ostrov města, UHI, Landsat, termální data.

Abstract. The importance of vegetation for climate forming in urban areas. Urban heat island is a phenomenon of different temperatures in cities compared to temperatures in the surrounding landscape. It is caused by changes in the active surfaces geometry, lower value of albedo, airflow reduction and other characteristics of urban area and their impacts. The intensity of this phenomenon can be influenced by the presence of vegetation in in cities. There is evaluated the effect of vegetation on microclimate in various parts of the city České Budějovice in this paper. The assessment is based on the evaluation of multispectral Landsat satellite images and their statistical processing.

Keywords: Urban heat island, UHI, Landsat, thermal data.

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 a tím k záběru krajiny a půdy. To má dopady ekonomické, sociální a také zásadní dopady na životní prostředí.

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. Mezi projevy městského klimatu patří jev nazývaný tepelný ostrov města (Urban Heat Island, UHI).

2 Tepelný ostrov města

Efekt tepelného ostrova města je výsledkem rozdílných teplot uvnitř městské zástavby vzhledem k okolním krajině. 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 UHI¹ a denní době a ročním období maximální intenzity UHI. 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 [3]. Mezi hlavní faktory, které formují specifické teplotní poměry městských aglomerací v porovnání s volnou krajinou, patří změny 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. Negativem je i to, že v městské zástavbě převažují materiály s nízkým albedem² [12] 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 [8][11].

2.1 Vliv vegetace na velikost intenzity tepelného ostrova města

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, hygienickou 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 redukují zahřívání střech a stěn a redukují teplo, které se do budov dostává okny, stíněním redukují pohlcování dlouhovlnného záření. Dále redukují 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 [1]. Podle [10] dokáže vegetace uvnitř města vytvořit ‚oázy‘, které jsou o 2-8 °C chladnější než jejich okolí.

Městské mikroklima ovlivňuje vegetace především tím, že má vyšší albedo a evapotranspirací ochlazuje a zvlhčuje okolní prostředí.

¹ Intenzita UHI je definována jako rozdíl teploty vzduchu uvnitř městské zástavby a v okolním venkovském prostředí [7].

² Albedo je míra odrazivosti povrchu tělesa. Je dáno množstvím odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího elektromagnetického záření.

2.2 Energetická a vodní bilance ve městech

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 m² vnější hranice atmosféry dopadá 1367 W sluneční energie (solární konstanta³). 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 m² pak za jasného dne dopadne asi 4-6 kWh m⁻² v závislosti na zeměpisné šířce.

Vodní bilance ve městech lze podle [2] popsat rovnicí:

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

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. Intenzitu evapotranspirace nelze obecně přesně vyčíslit. Závisí na několika faktorech, především na zásobení půdy vodou, na proudění vzduch a na velikosti atmosférického tlaku.

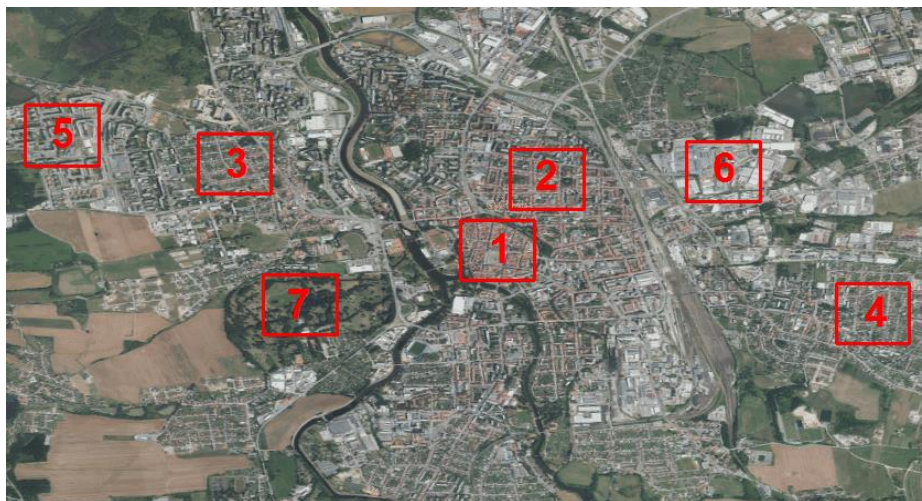
K evaporaci 1 litru vody je při teplotě 20 °C potřeba průměrně 0,68 kWh energie. Rychlost evapotranspirace vegetačního porostu se pohybuje v rozmezí několika kilogramů na 1 čtvereční metr za den, průměrná hodnota evapotranspirace je 4 kg m⁻² den⁻¹ [4]. Jeden velký strom dokáže uvolnit pomocí evapotranspirace až 400 kg vody za den [5]. Tím při procesu odpařování spotřebuje 280 kWh tepelné energie.

3 Metodika

3.1 Vymezení zájmových území

Na území obce České Budějovice bylo vymezeno 7 zájmových území tak, aby charakterizovaly typické druhy městské zástavby s různým podílem vegetace. Území jsou volena jako pravidelné obdélníky o rozměrech cca 580 × 470 m. Přehledka zájmových území je na obrázku 1, jednotlivá území jsou stručně popsána v tabulce 1.

³ Solární konstanta udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům.



Obr. 1. Přehled zájmových oblastí.

Tabulka 1. Charakteristika zájmových oblastí.

Číslo	Popis oblasti	Charakteristika oblasti
1	Historické centrum	Hustá zástavba vícepodlažních městských domů, úzké dlážděné nebo asfaltové ulice. Téměř úplná absence vegetace.
2	Městské a bytové domy	Oblast leží na území Pražského předměstí. Převládají dvou až čtyřpatrové městské domy. Vegetace většinou uzavřená ve vnitroblocích.
3	Rodinné domy	Oblast leží na území městské části Čtyři Dvory. Převažují jednopatrové rodinné domy, širší ulice. Oblast bohatá na zeleň v zahradách, někde doprovodné trávníky podél komunikací.
4	Příměstská čtvrť	Oblast na východě města, stojí zde rodinné domy i bytové a panelové domy. Oblast bohatá na zeleň v zahradách, významný podíl doprovodné zeleně podél komunikací.
5	Sídliště	Území sídliště Máj, stojí zde mnohopodlažní panelové domy. Z vegetace převládají zatravněné plochy, někde jednotlivě rostoucí keře nebo stromy.
6	Průmyslová zóna	Průmyslová zóna na východě města, převažují nízké budovy a asfaltové plochy. Z vegetace je zde jen několik zatravněných ploch a skupin stromů.
7	Park	Území parku Stromovka, naprosto převládá vegetace, v oblasti vodní nádrž.

3.2 Použitá data a software

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-počasí⁴ jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. 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	17,8 °C	35 °C
S2	9. 8. 2015	11:56 SELČ	jasno	15,6 °C	34,7 °C

Snímky byly zpracovány v software QGIS⁵, statistické zpracování proběhlo pomocí jazyka Python⁶.

3.3 Zpracování termálních dat

Termální pásma (TIR) dat Landsat, které zachycují elektromagnetické záření, je nutné převést na teplotu povrchu. Postup převodu vychází z [9]. Tento převod je složen z několika kroků. Nejprve je nutné převést hodnoty odrazivosti pixelů na spektrální radianci⁷ radiometrickou korekcí:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{CALmax} - Q_{CALmin}} \right) (Q_{CAL} - Q_{CALmin}) + L_{min\lambda} \quad (2)$$

kde L_{λ} 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 DN⁸ 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 teplotu⁹ podle vzorce:

$$T_{RAD} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

kde T_{RAD} je radiační teplota [K], K_1 je kalibrační konstanta č. 1, K_2 je kalibrační konstanta č. 2 a L_{λ} 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 ε pomocí vzorce:

⁴ <http://www.in-pocasi.cz/archiv/>

⁵ <http://www.qgis.org/en/site/>

⁶ <https://www.python.org/>

⁷ Spektrální radiance je vyjádřena jako energie toků fotonů na jednotkový úhel a interval vlnové délky [13].

⁸ DN (digital number) je bezrozměrná hodnota jednotlivých pixelů.

⁹ Střední radiační teplota je rovnoměrná teplota okolních ploch, při níž se sdílí sáláním stejná tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí.

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

Za hodnotu emisivity byla dosazena hodnota 0,96, což je přibližně hodnota většiny materiálů na povrchu města.

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:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

kde *NIR* (near infrared) je odrazivost v infračervené části spektra a *RED* je odrazivost v červené části spektra. Tyto odrazivosti lze spočítat pomocí hodnot uvedených v metadatech snímků.

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.

3.4 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 výběr vhodné testové statistiky je potřeba určit, zda data mají normální rozdělení a podle toho následně vybrat vhodný statistický test. K určení rozdělení lze použít Shapiro-Wilkův test normality [6]. Testová statistika má tvar:

$$W = \frac{b^2}{S^2} = \frac{(\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (y_{n-i+1} - y_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

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. Výsledná testová statistika Shapiro-Wilkova testu výrazně překračuje tabulkovou hodnotu, nulová hypotéza je tedy zamítnuta. Z toho vyplývá, že data nemají normální rozdělení. K určení statistického vztahu mezi daty jednotlivých oblastí lze dále použít Kruskal-Wallisův test, který testuje hypotézu, že všechny výběry pocházejí ze stejného rozdělení. Testová statistika má tvar:

$$Q = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (7)$$

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

$$Q \geq \chi_{1-\alpha}^2(k-1) \quad (8)$$

Výsledná hodnota testové statistiky opět výrazně převyšuje statistickou hodnotu. Nulová hypotéza je tedy zamítnuta a platí, že výběry nepocházejí ze stejného rozdělení. Pomocí Neményiova testu je dále určeno, mezi kterými dvojicemi náhodných výběrů jsou statisticky významné rozdíly. Nulová hypotéza Neményiova 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:

$$q = \frac{(t_i - t_j)}{\sqrt{\frac{km(km+1)}{12m}}} \quad (9)$$

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 χ^2 nebo Tukeyho rozdělení. Výsledky testování jsou uvedeny v kapitole 4.

4 Výsledky

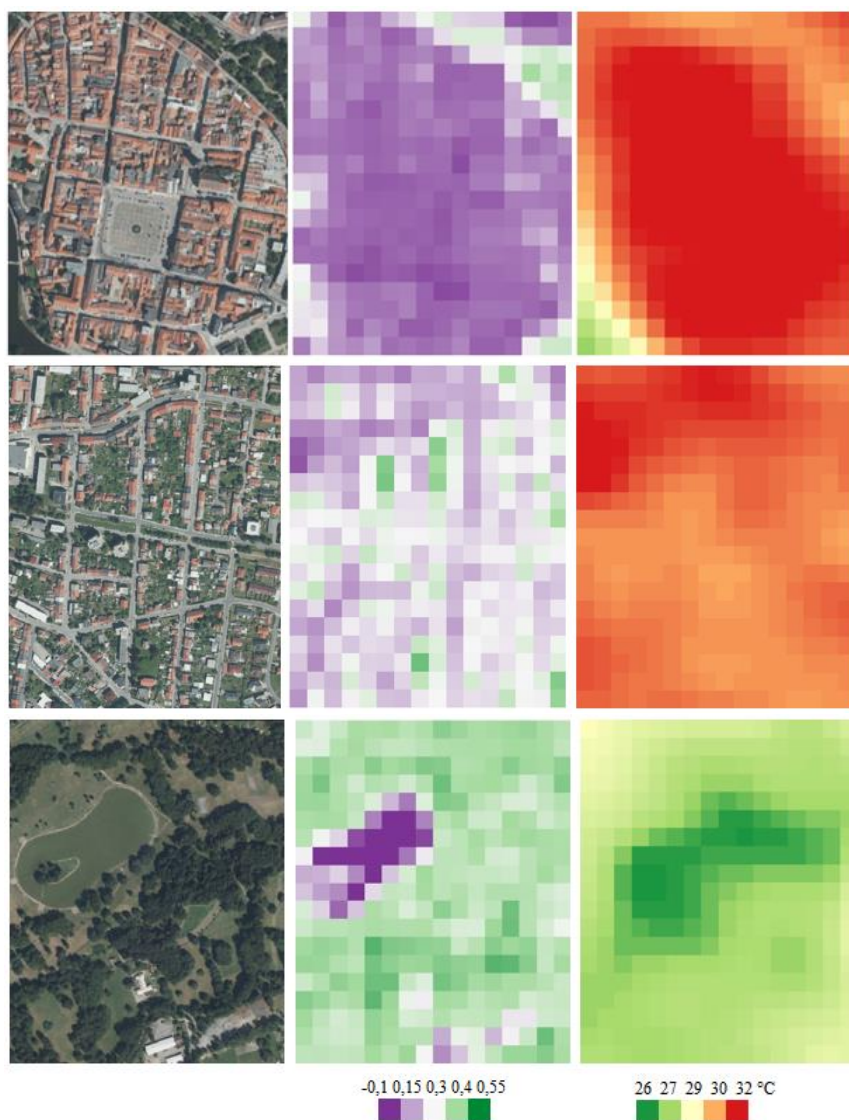
Hodnoty maximálních, průměrných a minimálních povrchových teplot v zájmových oblastech, které byly spočteny z Landsat snímků a hodnoty vegetačního indexu, který byl spočten ze snímku S1, jsou uvedeny v tabulce 3. Z tabulky je patrná korelace mezi hodnotou vegetačního indexu a povrchovou teplotou.

Tabulka 3. Povrchové teploty a NDVI na snímku S1 a povrchové teploty na snímku S2 v jednotlivých oblastech, oblasti jsou seřazeny podle průměrné teploty a maximální povrchové teploty.

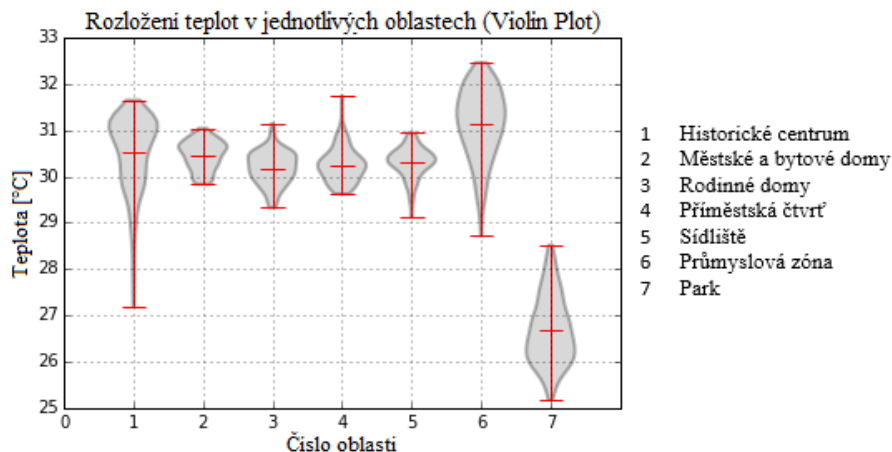
Oblast	Povrchová teplota [°C] na S1			Průměrná hodnota NDVI na S1	Povrchová teplota [°C] na S2		
	prům.	max.	min.		prům.	max.	min.
7	27,3	29	26,3	0,34	26,7	28,5	25,2
3	30,7	31,6	29,7	0,23	30,2	31,1	29,3
4	30,7	32,3	30,1	0,23	30,2	31,7	29,6
2	30,9	31,5	30,2	0,18	30,5	31,0	29,8
5	30,9	31,8	28,7	0,19	30,3	30,9	29,1
1	31,2	32,3	28,6	0,11	30,5	31,6	27,2
6	31,2	32,9	29,4	0,12	31,1	32,5	28,7

Na obrázku 2 jsou zobrazeny ortofoto snímky, hodnoty NDVI indexu a hodnoty povrchových teplot ve vybraných oblastech. Je zřejmá korelace mezi přítomností vegetace v oblastech, velikostí hodnoty indexu NDVI a povrchovou teplotou.

V místech s vegetací je výrazně vyšší hodnota NDVI indexu a nižší hodnota povrchové teploty. V oblasti parku je dále snížena povrchová teplota rybníkem. Na obrázku 3 je pomocí grafu zobrazena distribuce povrchových teplot v zájmových oblastech na snímku S2. Je zde vidět rozdílné rozdělení teplot v oblastech a výrazně nižší teploty v oblasti parku a nižší teploty v oblastech s vyšším podílem vegetace ve srovnání s oblastmi bez vegetace.



Obr. 2. Ortofoto, NDVI (uprostřed) a povrchová teplota (vpravo) v oblastech historické centrum (nahore), příměstská čtvrť (uprostřed) a park (dole).



Obr. 1. Vizualizace rozložení povrchových teplot v jednotlivých oblastech na snímku S2 pomocí grafu violin plot. V grafu je zvýrazněna průměrná povrchová teplota každé oblasti.

V tabulce 4 jsou dále uvedeny výsledky, Neményiova testu. Tabulka uvádí dvojice oblastí a výsledky testu pro danou dvojici. Pokud jsou rozdíly mezi dvojicí oblastí statisticky významné (podle Neményiova testu byla zamítnuta nulová hypotéza a platí, že teploty v oblastech pocházejí z jiného rozdělení), je v tabulce uvedeno **+**. Pokud rozdíly mezi oblastmi nejsou statisticky významné (nebyla zamítnuta nulová hypotéza), je v tabulce pro danou dvojici uvedeno **-**.

Tabulka 4. Výsledky post hoc analýzy pomocí Neményioho testu. Zvýrazněny jsou situace, kdy jsou mezi dvojicemi oblastí statisticky významné rozdíly na snímku S1 i S2.

Srovnávané oblasti	S1	S2	Srovnávané oblasti	S1	S2
Historické centrum- městské a bytové domy	+	-	Rodinné domy- příměstská čtvrť	-	-
Historické centrum- rodinné domy	+	+	Rodinné domy- sídliště	+	-
Historické centrum- příměstská čtvrť	+	+	Rodinné domy- průmyslová zóna	+	+
Historické centrum- sídliště	+	+	Rodinné domy- park	+	+
Historické centrum- průmyslová zóna	-	-	Příměstská čtvrť- sídliště	+	-
Historické centrum- park	+	+	Příměstská čtvrť- průmyslová zóna	+	+
Městské a bytové domy-rodinné domy	-	+	Příměstská čtvrť- park	+	+
Městské a bytové domy-příměstská čtvrť	+	+	Sídliště- průmyslová zóna	-	+
Městské a bytové domy-sídliště	-	-	Sídliště- park	+	+

Městské a bytové domy-průmyslová zóna	-	-	Průmyslová zóna-park	+	+
Městské a bytové domy-park	+	+			

5 Závěr

Přítomnost vegetace je jedním z mála způsobů, jak lze cíleně ovlivnit klimatické podmínky uvnitř městské zástavby. Vegetace výrazně ovlivňuje mikroklima ve svém okolí, má schopnost snižovat teploty a zvlhčovat vzduch evapotranspirací. Z tohoto důvodu má vegetace zásadní význam pro trvale udržitelný rozvoj měst a měla by být nedílnou součástí městského prostředí, a to nejen koncentrovaná v parcích, ale nejlépe vhodně rozprostřena po celé ploše města.

Reference

1. DIMOUDI, Argiro a NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 2003, 35.1: 69-76.
2. GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Evapotranspiration rates in urban areas. *IAHS PUBLICATION*, 1999, 259: 235-244.
3. MIRZAEI, Parham A.; HAGHIGHAT, Fariborz. Approaches to study urban heat island—abilities and limitations. *Building and Environment*, 2010, 45.10: 2192-2201.
4. POKORNÝ, Jan, et al. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*, 2010, 5.4: 311-336.
5. POKORNÝ, Jan. Dissipation of solar energy in landscape—controlled by management of water and vegetation. *Renewable energy*, 2001, 24.3: 641-645.
6. Shapiro, S.S., Wilk, M.B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*. 1965, roč. 52, č. 3/4, s. 591-611.
7. 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.
8. STŘEDOVÁ, H., BOKWA, A., DOBROVOLNÝ, P., KRÉDL, Z., KRAHULA, L., LITSCHMANN, T., POKORNÝ, R., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T., VYSOUDIL, M., 2011. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostu*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
9. ŠTYCH, Přemysl a Lucie KUPKOVÁ. *Dálkový průzkum Země v ochraně přírody*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství P3K, 2014, 30 s. ISBN 978-80-87343-14-2.
10. TAHA, Haider. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 1997, 25.2: 99-103.

11. VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 2003, 86.3: 370-384.
12. 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.
13. ZEMEK, F., et. al., 2014. *Letecký dálkový průzkum Země: Teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. Centrum globální změny AV ČR v.v.i., Brno.