

HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH TEPLOT A STRUKTURY MĚSTA NA ZÁKLADĚ LETECKÝCH DAT

Jan NOVOTNÝ¹, Siri Jodha KHALSA¹, Marek PIVOVARNÍK¹, František ZEMEK¹

¹ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00, Brno, ČR
novotny.j@czechglobe.cz

Abstrakt

Extrémní letní teploty a s nimi spojené přehřívání veřejného prostoru patří k důsledkům globální změny klimatu, které se projevují v ekosystému měst a ovlivňují kvalitu života jejich občanů. Území katastru města Brna bylo v červenci 2015 nasnímáno hyperspektrálními skenery v rozsahu od viditelné, přes infračervenou, po termální oblast elektromagnetického spektra. Odvozené teplotní mapy jsou doplněny také modelem 3D struktury města na základě leteckého laserového skenování. V synergii těchto datových zdrojů studujeme vzájemné vazby mezi strukturou města a teplotním režimem, například vliv přítomnosti vegetace či výšky budov na povrchovou teplotu v konkrétních lokalitách. Hlavním záměrem příspěvku je doložit význam prostorového detailu, který přináší letecká data v porovnání se satelitními snímky, který umožňuje práci na úrovni jednotlivých prvků ve městě a který je tak nezbytný například v územním plánování.

Abstract

Extreme summer temperatures connected with an overheating of public spaces have begun appearing in urban ecosystems as a consequence of climate change and it is influencing the quality of living conditions for people. The cadastre of the city of Brno was scanned with hyperspectral instruments covering visible, infrared and thermal parts of the electromagnetic spectrum in July 2015. We derived maps of surface temperature which we supplemented with a 3D model based on airborne laser scanning. We are studying relations between city structure and thermal regime (e.g. impacts of abundance of vegetation and height of buildings on surface temperature) in a fruitful synergy of these data sources. The main aim of this contribution is to show the importance of high spatial resolution data available from an airborne platform (compared e.g. to satellite imagery) and how we can work with individual entities of city structure, which can be quite useful e.g. for town planning.

Klíčová slova: letecká hyperspektrální data; letecké laserové skenování; 3D model města; teplotní režim

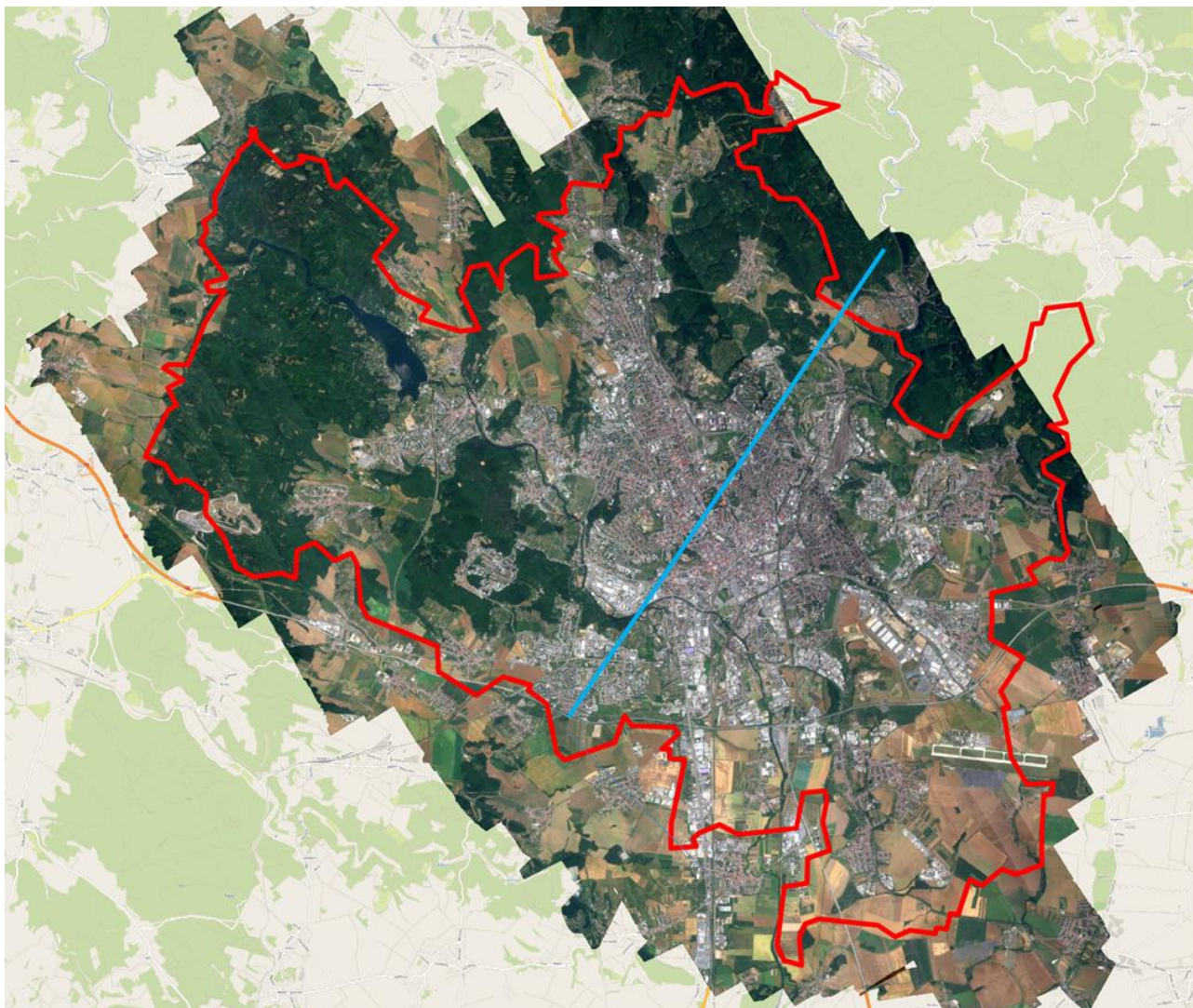
Keywords: airborne hyperspectral imagery; airborne laser scanning; 3D city structure; thermal regime; urban heat island

ÚVOD

Městský ekosystém, v němž projevy globální změny klimatu dopadají přímo na obyvatele, je z pochopitelných důvodů pod drobnohledem vědců, s cílem pochopit, jak struktura města ovlivňuje lokální klima. Kontrast mezi teplotami vzduchu ve městě a v okolní (zemědělské) krajině je nazýván tepelný ostrov města a jako fenomén studován již desítky let. Zdrojem informací jsou obvykle sítě pozemních meteorologických měření nebo satelitní snímky (Voogt and Oke, 2003). K lepšímu pochopení vazeb mezi teplotou a detaily struktury města, mezi něž patří přítomnost vegetace, propustnost povrchů, geometrie ulic, ad., potřebujeme vstupní data s vyšším prostorovým rozlišením. Hlavním záměrem tohoto příspěvku je doložit význam prostorového detailu, který přináší letecká data, který umožňuje práci na úrovni jednotlivých prvků ve městě a který je tak nezbytný například v územním plánování.

Podnětem pro zpracování teplotního mapování města Brna byl projekt UrbanAdapt zaměřený na adaptaci měst na dopady klimatické změny (UrbanAdapt, 2016). Přehřívání veřejného prostoru během letních vln veder bylo označeno v dotazníkovém šetření jako zásadní problém v městě Brně. Výsledky analýz byly prezentovány zástupcům Magistrátu města Brna i veřejnosti prostřednictvím mapového portálu.

Zájmovým územím naší studie je katastr města Brna (49°12'N 16°37'E, Obr. 1). Letecká data byla pořízena ve dvou klimaticky extrémních termínech: 7. 2. 2015 večer a 7. 7. 2015 odpoledne. Doplňující laserové skenování bylo provedeno 22. 9. 2015.



Obr. 1. Na podkladu základní mapy je zobrazeno zájmové území – katastr města Brna (červená hranice). Obrazová data pocházejí z letního skenování senzorem CASI (kompozice v pravých barvách). Modrá linie naznačuje vedení transektu, pro který byla pořízena detailní data s vyšším prostorovým rozlišením.

K pořízení dat byla využita infrastruktura letecké laboratoře provozované Ústavem výzkumu globální změny, AVČR (Hanuš et al, 2014). Senzorové vybavení zahrnuje tři letecké spektrometry kanadské společnosti Itres Ltd. Senzorem CASI byla pořízena hyperspektrální data v rozsahu 370-1040 nm, v 48 bandech s šířkou (full-width-half-maximum) 14 nm. Senzorem SASI byla pořízena data ve spektrálním rozsahu 960-2440 nm, 100 bandů s šířkou přibližně 15 nm. Senzorem TASI byla pořízena termální hyperspektrální data v rozsahu 8-11,5 μm , 32 bandů s šířkou přibližně 11 μm .

Laserové skenování bylo provedeno firmou TopGis s využitím leteckého skeneru Riegl Q680i. Toto full-wave-form (FWF) zařízení pracuje na vlnové délce 1550 nm. Dekompozice vlny a geometrická korekce byla provedena dodavatelem dat v softwaru RiProcess. Po sesazení jednotlivých linií byla dodána data ve formátu LAS s bodovou hustotou přibližně 15 bodů na metr čtvereční.

Pořízená hyperspektrální data byla radiometricky a atmosféricky zkorigována a geometricky usazena do souřadnicového systému UTM. Na data v termální části spektra byl aplikován speciální algoritmus pro oddělení emisivity a teploty povrchů (Pivovarník, 2016).

Data laserového skenování byla zpracována s využitím softwarových prostředků ENVI Lidar, lastools a OPALS. Základními kroky zpracování byla detekce a odstranění šumu, klasifikace bodů terénu, klasifikace nadzemních bodů (budovy a vegetace), interpolace modelu terénu (DTM), interpolace modelu povrchu (DSM), výpočet rastru výšek objektů (DSM-DTM), rasterizace FWF charakteristik (amplituda, šířka vlna, počet bodů z jednoho pulzu).

Území města Brna bylo na základě všech pořízených dat dálkového průzkumu klasifikováno do šesti základních tříd pokryvu: budovy, stromy (vysoká vegetace), trávník (nízká vegetace), silnice (umělé povrchy), voda, stín. Vstupem do klasifikace bylo 7 vrstev odvozených z leteckých dat (Tab. 1) v podobě rastrů se společným souřadným systémem a prostorovým rozlišením 0,8 m. Klasifikace byla provedena v softwaru eCognition s použitím fuzzy pravidel o jednotlivých vstupních vrstvách pro každou třídu. Následovala reklasifikace tříd voda a stín pomocí spektrálních profilů v softwaru ENVI. Výsledná klasifikace je vidět na Obr. 2.

Tab 1. Vstupní vrstvy do klasifikace typů pokryvu: zkrácený název, obsah vrstvy, zdrojová data.

casí B33	blízký infračervený band z HS dat	CASI
casí NDVI	vegetační index	CASI
sasi WC	index obsahu vody	SASI
amplitude	amplituda odraženého pulzu	Lidar
nr of echos	počet odrazů v rámci jedné vlny	Lidar
pulse width	šířka odraženého pulzu	Lidar
výška	výška objektu	Lidar

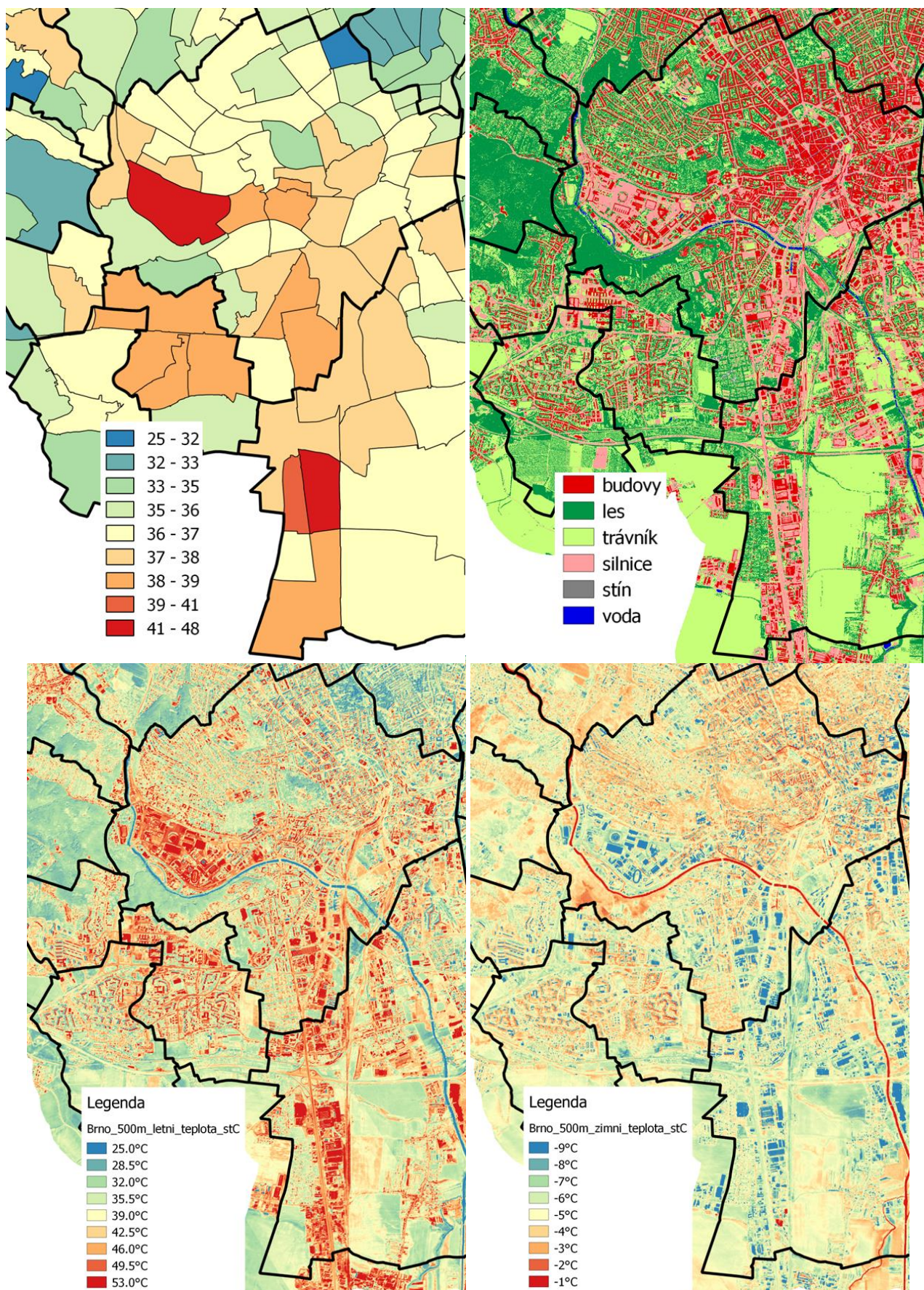
Při vyhodnocování vztahů mezi strukturou města a povrchovou teplotou jsme pracovali s vektorovými vrstvami poskytnutými Odborem městské informatiky Magistrátu města Brna, které ve dvou úrovních zahrnují členění města na logické celky: 1) administrativní členění na městské části, 2) urbanistické členění na základní sídelní jednotky. Pro každou městskou část jsme zpracovali poměrné zastoupení jednotlivých typů pokryvu a průměrnou teplotu. Na úrovni základních sídelních jednotek jsme zpracovali statistickou analýzu příspěvku jednotlivých typů pokryvu k průměrné teplotě v každém polygonu.

VÝSLEDKY

Při posuzování teplotního režimu města je možné pracovat s různou úrovní detailu. Na Obr. 2 vidíme dvě možné úrovně. Dle průměrné teploty za jednotlivé polygony členění města na základní sídelní jednotky je možné usuzovat na rozložení teplot ve městě a vytipovat tzv. hot-spots, kritická místa vyžadující zásah do chodu území pro adaptaci na klimatickou změnu. V dalších částech Obr. 2 je vidět, že letecká data poskytují prostorové rozlišení, které umožňuje studium vzájemných vztahů mezi strukturou a teplotním režimem v mnohem větším detailu.

Pro základní sídelní jednotky je znám, mimo jiné, typ využití území. Jak se jednotlivé skupiny rozdělené podle využití liší v teplotním režimu, ukazuje Tab. 2. Mezi nejchladnější logicky patří plochy lesa a rekreační oblasti v okolí řek. Naopak nejvyšší teplotu i její variabilitu mají plochy tzv. občanské vybavenosti, kam spadají i nemocnice či univerzitní areály, které jsou typické plošně výraznými budovami a umělými povrchy.

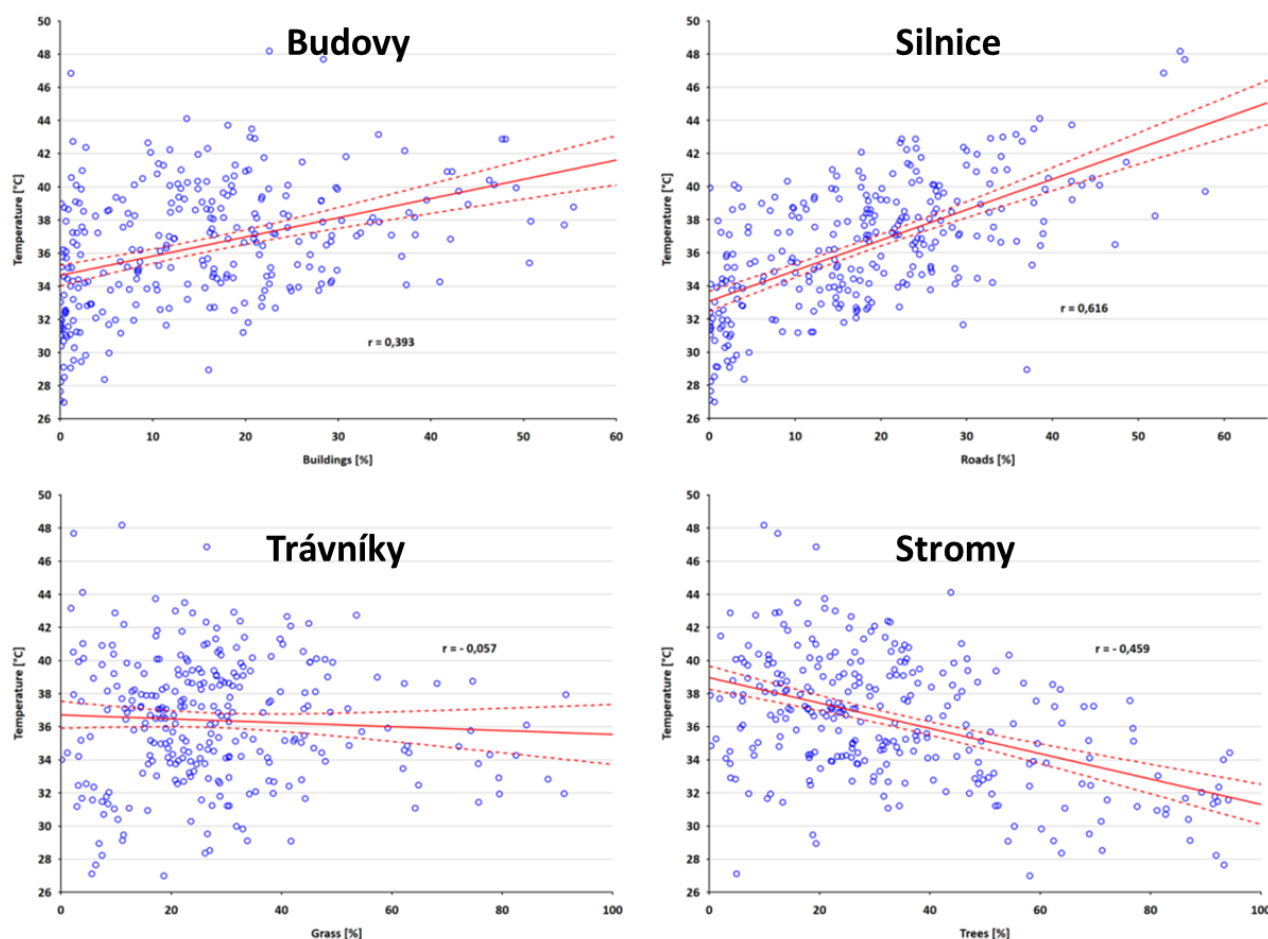
V grafech na Obr. 3 je představen výsledek statistické analýzy příspěvku jednotlivých typů pokryvu na průměrnou teplotu dílčích polygonů. K nárůstu teploty přispívají umělé povrchy budov a cestní sítě. K poklesu teplot přispívá především vyšší vegetace (stromy), protože nižší vegetace (trávník) často nemá dostatečnou zásobu vody k tomu, aby odolala náporu letních veder.



Obr. 2. Území středu a jihu města Brna (černé hranice městských částí). Vlevo nahoře: průměrná teplota základních sídelních jednotek, vpravo nahoře: klasifikace typů pokryvu (rozlišení 0,8 m), vlevo dole: letní teplota povrchů (rozlišení 2 m), vpravo dole: zimní teplota povrchů (rozlišení 4 m).

Tab 2. Průměrné teploty v základních sídelních jednotkách podle typu jejich využití.

typ využití	průměrná teplota	směrodatná odchylka
Občanská vybavenost	39,3°C	4,7°C
Průmysl a doprava	38,7°C	3,3°C
Obytná plocha	37,0°C	3,1°C
Zemědělství	35,6°C	3,2°C
Rekreace	32,5°C	2,9°C
Lesní plocha	31,2°C	2,6°C



Obr. 2. Pokles nebo nárůst teploty jako důsledek vyššího procentuálního zastoupení jednotlivých tříd. Vlevo nahoře: budovy – nárůst, vpravo nahoře: cestní síť – silný nárůst, vlevo dole: nižší vegetace – neutrální, vpravo dole: vyšší vegetace – pokles teploty.

SHRNUTÍ

Letecké laserové skenování umožňuje zmapovat strukturu města. Hyperspektrální data z viditelné, blízké a střední infračervené oblasti jsou důležitým komplementárním zdrojem spektrální informace pro klasifikaci jednotlivých povrchů. Hyperspektrální termální data umožňují mimo jiné odvození teploty jednotlivých povrchů. Společně tak tyto prostředky dálkového průzkumu slouží k analýze vzájemného vztahu mezi strukturou města a teplotním režimem, což je nutné při návrhu adaptačních opatření pro zlepšení životních podmínek obyvatel měst v měnícím se klimatu. Jak je vidět z ukázek předložených v tomto příspěvku, letecká data poskytují úroveň detailu takovou, jaká je nezbytná například pro územní plánování.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415. Vstupní data byla pořízena v rámci projektu UrbanAdapt podpořeného grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska (EHP-CZ02-OV-1-036-2015).

LITERATURA

Hanuš, J., Fabiánek, T., Kaplan, V., a Homolová, L. (2014) Flying laboratory of imaging systems (FLIS) at CzechGlobe. SGEM2014 Conference Proceedings, pp. 177-182.

Pivovarník, M., Khalsa, S. J. S., Jiménez-Muñoz, J. C., a Zemek, F. (2016) Improved Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Multispectral and Hyperspectral Sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing and IEEE Transactions on Geoscience Electronics. PP, n. 99, pp. 1-10 ISSN 0196-2892.

UrbanAdapt (2016) "Urban adaptation to climate change" Dostupné z: <http://urbanadapt.cz/cs>.

Voogt, J. A. a Oke, T. R. (2003) Thermal Remote Sensing of Urban Climates. Remote Sensing of Environment, 86 (3): pp. 370-8.