

GEOGRAFICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PROSTOROVOU DIFERENCIACI POVRCHOVÝCH TEPLOT ZASTAVĚNÝCH PLOCH NA PŘÍKLADU MĚSTA BRNA

Petr DOBROVOLNÝ, Andrea KÝNOVÁ

Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37, Brno, ČR
dobro@sci.muni.cz, 175953@mail.muni.cz

Abstrakt

S využitím dostupných obrazových scén Landsat se modeluje prostorová variabilita povrchových teplot (LST) v oblasti Brna a okolí. Jsou prezentovány metody výpočtu polí LST. V důsledku řady přírodních i antropogenních faktorů, jako jsou členitý reliéf, rozložení kategorií druhů povrchů, specifická struktura uspořádání zastavěných ploch, se také pole LST vyznačují velkou proměnlivostí. Vybrané charakteristiky, jako množství vegetace charakterizované hodnotami NDVI, hustota zástavby či množství komunikací, jsou využity jako nezávislé proměnné ve vícenásobném regresním modelu pro predikci hodnot povrchových teplot. Uvedené proměnné objasňují více než 60% variability hodnot LST. Výsledky mapování LST z družicových dat jsou využity k charakterizování prostorové diferenciaci a intenzity povrchového tepelného ostrova města Brna.

Abstract

Spatial distribution of Land Surface Temperatures (LST) in Brno (Czech Republic) has been modelled using available imagery from Landsat satellites. Methodological approach for construction of LST fields is presented. As the study area is typical with complex relief, different land use and specific structure of built-up areas, LST fields are characterized with high spatial variability. We use several different characteristics as predictors for explanation of LST spatial distribution in multiple regression model. We present that vegetation amount (described as NDVI values), density of buildings and total length of streets altogether explain significant percentage (more than 60%) of LST fields. Satellite measurements of LST are used to characterize spatial distribution and intensity of surface urban heat island in Brno area.

Klíčová slova: termální snímky; Landsat; povrchová teplota; povrchový tepelný ostrov města

Keywords: thermal imagery; Landsat; land surface temperature; surface urban heat island

1 ÚVOD

V prostředí měst a jejich nejbližšího okolí se utváří typické městské klima a jeho nejznámějším projevem je tzv. tepelný ostrov města (angl. Urban Heat Island – dále jen UHI). Jak uvádí např. Arnfield (2003), patří tepelný ostrov měst mezi nejlépe zdokumentované příklady modifikace meteorologických a klimatických podmínek v mezo-měřítku. UHI označuje případ, kdy prostředí města je zřetelně teplejší než okolní volná krajina. Protože se městské prostředí vyznačuje značnou heterogenitou aktivních povrchů, má také UHI často svoje typické prostorové uspořádání. Pokud se UHI charakterizuje teplotou vzduchu, označuje se jako atmosférický tepelný ostrov (AUHI). Specifické teplotní podmínky městské zástavby však lze charakterizovat také pomocí teplot aktivních povrchů (Land Surface Temperatures – dále jen LST) a tzv. povrchového tepelného ostrova (surface UHI – dále jen SUHI). Velmi vhodným nástrojem pro studium SUHI jsou letecké či družicové snímky z termální části spektra (Voogt a Oke 2003), které poskytují detailní a konzistentní informaci o intenzitě SUHI a také o jeho prostorovém uspořádání. Předložený příspěvek shrnuje dosavadní poznatky o parametrech povrchového tepelného ostrova v oblasti města Brna a okolí. Jsou prezentovány metody sestavení polí LST z dostupných družicových scén, charakterizována intenzita SUHI a typické rysy jeho prostorové diferenciaci. Zvláštní pozornost je věnována vybraným geografickým faktorům, které podmiňují prostorovou variabilitu povrchových teplot a zesilují, resp. zeslabují, intenzitu SUHI.

2 STUDOVANÁ OBLAST A POUŽITÁ DATA

Katastrální území města Brna má rozlohu 230 km² s 380 tis. obyvateli. Na zastavěné plochy připadá asi 9 % rozlohy, významný podíl ve studované oblasti tvoří zemědělská (35 %) a lesní půda (28 %). Nadmořské výšky se pohybují v rozmezí od 190 m do 479 m. Vyšší polohy s výraznějším podílem lesních ploch jsou typické pro severní část studovaného území, zatímco pro jižní a východní části je charakteristický nižší a plošší terén, v němž převládají zemědělsky využívané plochy.

Pole LST byla sestavena na základě dvou termálních snímků pořízených družicemi Landsat 5 a Landsat 7. První snímek byl vytvořen pomocí radiometru Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) dne 24. května 2001. Termální pásmo 6.1 ETM+ má prostorové rozlišení 60 m. Druhý snímek s rozlišením 120 metrů pochází z radiometru Thematic Mapper (TM) a byl vytvořen 15. června 2006. Oba snímky zaznamenávají intenzitu termálního záření v rozsahu 10,4–12,5 μm . Dny, ve kterých byly snímky pořízeny, lze charakterizovat typickým radiačním režimem počasí s minimální oblačností.

Družicové snímky byly dále použity k výpočtu tzv. normalizovaného vegetačního indexu (NDVI), který byl uvažován jako jedna z vysvětlujících proměnných charakterizujících prostorovou diferenciaci povrchových teplot. NDVI se vypočte jako normalizovaný poměr snímku z červené oblasti viditelné části spektra (typicky pásmo TM3) a snímku z blízké infračervené části spektra (typicky pásmo TM4). Automatickou klasifikací obrazu byly také sestaveny mapy základních druhů povrchů a vektorová databáze bloků budov byla využita ke konstrukci mapy hustoty zástavby. Hustota zástavby byla definována jako procentuální podíl zastavěných ploch v čtvercové síti s rozměrem čtverce 300 x 300 metrů. Obdobným způsobem byla sestavena mapa délky komunikací, která zaznamenává celkovou délku komunikací v každém čtverci o straně 300 metrů.

3 POUŽITÉ METODY

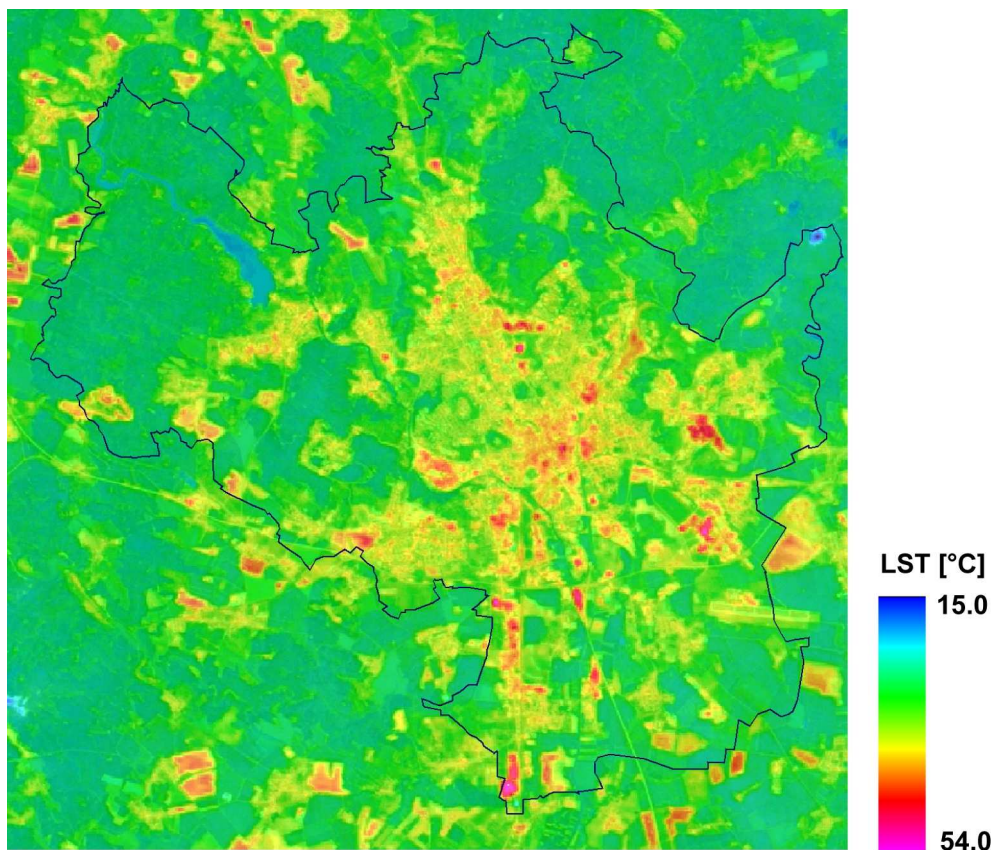
Protože družicové snímky Landsat poskytují pouze jedno termální pásmo, byl k výpočtu LST použit metodický přístup prezentovaný například v práci Yuan a Bauer (2007). Nejprve byly družicové zaznamenané radiometrické charakteristiky (tzv. DN hodnoty, DN – Digital Numer) převedeny na hodnoty tzv. spektrální hustoty zářivého toku na horní hranici atmosféry. Hodnoty spektrální hustoty byly následně korigovány o atmosférické vlivy. K tomu byl použit model radiačního transferu MODTRAN (Barsi et al. 2005). V tomto kroku byly do výpočtu dodány také koeficienty vyzařování (emisivity) základních druhů povrchů, které korigují povrchové teploty s ohledem na reálné kategorie jako zástavba, voda, vegetace atp. Z hodnot spektrální hustoty korigovaných o vlivy atmosféry a o emisivitu reálných povrchů byly vypočteny výsledné hodnoty povrchových teplot aplikací Planckova zákona. Hodnoty LST představovaly závisle proměnnou a hodnoty NDVI, hustoty zástavby a délky komunikací byly použity jako vysvětlující proměnné v modelu vícenásobné regrese.

4 VÝSLEDKY

Povrchové teploty sestavené ze dvou různých termálních snímků se liší v absolutních hodnotách, vykazují však společné charakteristické rysy prostorového rozložení. Jako příklad je uvedeno pole povrchových teplot vypočtených ze snímku z roku 2001 na Obr. 1. Nejvyšší povrchové teploty se vyskytují v částech zpracovávaného území, pro které je typická průmyslová zástavba a plochy s obchodní a s transportní funkcí. Poněkud nižší hodnoty LST jsou typické pro obytnou zástavbu. Výrazně nižší povrchové teploty mají plochy městských parků, lesní porosty a většina ploch polí v okolí města. Naopak vysoké hodnoty LST srovnatelné s hustou zástavbou mají plochy polí s minimálním vegetačním krytem, na kterých převládá vyzařování půdního substrátu. Intenzita SUHI definovaná jako rozdíl povrchových teplot zastavěných povrchů ve městě a povrchů přirozených v jeho okolí dosahovala hodnot 4,2°C pro snímek z roku 2001 a 6,7°C pro snímek z roku 2006.

Ze tří vysvětlujících proměnných má největší vliv na variabilitu LST hodnota vegetačního indexu. Množství vegetace charakterizované hodnotami NDVI koreluje negativně s povrchovými teplotami a vysvětluje 56% (rok 2001), resp. 67% (rok 2006) variability hodnot LST v oblasti Brna a okolí. Tedy výskyt vegetace může významně redukovat intenzitu SUHI. Naopak hustota zástavby vykazuje statisticky významnou pozitivní

korelaci s povrchovými teplotami (koeficient determinace 40%, resp. 37%). Nejméně těsný vztah k prostorové diferenciaci povrchových teplot v Brně a okolí vykazuje charakteristika délky komunikací (kolem 20 % vysvětlené variability hodnot LST). Model vícenásobné regrese uvažující společný vliv všech tří vysvětlujících proměnných na prostorové uspořádání LST objasňuje 60 %, resp. 68 %.



Obr. 1. Rozložení povrchových teplot (LST) v oblasti města Brna a okolí vypočtená z termálního snímku ETM+ pořízeného družicí Landsat 7 dne 24. května 2001

4 ZÁVĚR

Analýzou dvou družicových snímků z teplého půlroku byla kvantifikována intenzita povrchového tepelného ostrova města Brna. Povrchové teploty zastavěných ploch mohou být v průměru o 4 až 6 stupňů vyšší než teploty přirozených povrchů v okolí města. Nejvyšší hodnoty povrchových teplot jsou vázány na typickou zástavbu s převahou průmyslových areálů, ploch s transportní funkcí a velkých obchodních center. Prostorová variabilita povrchových teplot je podmíněna především množstvím vegetace, která společně s charakteristikami hustoty zástavby a délky komunikací podmiňuje 60 % variability povrchových teplot.

PODĚKOVÁNÍ

Předložený příspěvek byl vytvořen v rámci projektu GAČR 205/09/1297 s názvem „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst.“ Andrea Kýnová se na uvedené publikaci podílela v rámci projektu specifického výzkumu (MUNI/A/0966/2009) s názvem „Projevy globální environmentální změny v krajinné sféře Země.“

LITERATURA

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

Barsi, JA, Schott, JR, Palluconi, FD a Hook, SJ (2005) Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. Proceedings of the SPIE 5882:136–142

Voogt, JA a Oke, TR (2003) Thermal remote sensing of urban climates. Rem Sens Environ 86:370–384

Yuan, F. a Bauer, ME (2007) Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Rem Sens Environ 106:375–386