

POZEMNÍ TERMÁLNÍ MONITORING JAKO PROSTŘEDEK STUDIA SPECIFIK ČASOPROSTOROVÉHO REŽIMU POVRCHOVÉ TEPLoty V MĚSTSKÉ A PŘÍMĚSTSKÉ KRAJINĚ (NA PŘÍKLADU OLOMOUCE A OKOLÍ)

Surface Thermal Monitoring As a Tool for Study of Spatio-temporal Surface Temperature Regime Specific in Urban and Suburban Landscape (A Case Study Olomouc and its Environs)

Miroslav Vysoudil

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Abstrakt

Příspěvek se zabývá možností využití ruční termální kamery pro studium časoprostorového režimu povrchové teploty na vybraných plochách (aktivních površích) v městské a příměstské krajině Olomouce. Získaná data umožňují detailnější a komplexnější studium místního klimatu a možnosti vzniku klimatických efektů vázaných na termické a /nebo termodynamické procesy. Spolu s měřeními v účelové staniční síti a mobilními měření budou poznatky využity pro studium rozdílů podnebí města Olomouce a jeho okolí.

Klíčová slova: termální monitoring, povrchová teplota, městská a příměstská krajina, Olomouc

Abstract

The paper deals with possibilities of portable thermal camera use for study of spatio-temporal regime of surface temperature of selected sites (active surfaces) in urban and suburban landscape of Olomouc City and its surrounding. Obtained information allow as more detail and integrated study of local climate as possibilities of origin of local climatic effects related with thermic and/or thermodynamic processes. Together with observation in meteorological functional network and with mobile measurement will be the knowledge used for description of differences between urban climate of Olomouc city and its vicinity.

Key words: thermal monitoring, surface temperature, urban and suburban landscape, Olomouc City

Úvod

Bezkontaktní měření povrchové teploty představuje velmi užitečnou a efektivní metodu při studiu specifik klimatu na všech prostorových úrovních, při studiu prostředí se specifickým režimem klimatu i typů přírodního nebo antropogenního prostředí (lesní porosty, zemědělské plochy, městská krajina atd.). Obecně se nejedná o zcela novou metodu, protože především satelitní a letecký termální monitoring se při studiu krajiny a životního prostředí využívá celá desetiletí. Pozemní monitoringu na základě použití ruční termální kamery pro potřeby studia klimatu či krajiny na místní úrovni je celkem ojedinělé. Pro zjištění rozdílů povrchové teploty a následně teplotního režimu v přízemní vrstvě atmosféry v městské a příměstské krajině se nabízí možnost využití ruční termální kamery, která se vzhledem ke svým technickým možnostem jeví jako ideální prostředek pro studia v prostorovém měřítku topo(mikro)klimatu a tudíž i klimatu městského.

Využitím termálního monitoringu v dálkovém průzkumu Země se dlouhodobě zabývá nespočet autorů a podrobně jej popisují např. Adams a Gillespie (2006). Zde uváděné příklady prací byly vybrány s ohledem na zaměření příspěvku. Využití infračervených snímků pro studium teplotního pole v městském prostředí a pro potřebu environmentálních studií popisuje Weng (2009). Leuzinger, Vogt a Körner (2010) použili termální snímky ke zkoumání vlastností městské vegetace. Početné jsou práce zabývající se teplotními poměry městských aglomerací na základě vyhodnocení satelitních (Nichol 1998, Weng a Lu 2006) nebo leteckých (Kaufmann a Buchroithner 1990, Ozawa et al. 2004) termálních snímků. Torgersen, Faux, McIntosh, Poage a Norton (2001) analyzovali letecké termální snímky pro stanovení povrchové teploty vodních toků. Na základě termálního monitoringu digitální kamerou studovali energetickou bilanci a toky tepla v lesním porostu Graham, Lam a Yuen (2010). Ruční termální kameru využili při vulkanologických výzkumech Stevenson a Varley (2008) a také Lagios, Vassilopoulou, Sakkas, Dietrich, Damiata a Ganas A. (2007). Možnostmi využití ruční termální kamery v geografii, při studiu krajiny a místního klimatu je v České republice ojedinělé. V posledních letech se touto možností zabývali např. Vysoudil a Ogrin (2009), Vysoudil (2008, 2009) nebo Dosoudilová (2010).

Data, metody, zájmové území

Data

Primární databázi představují digitální termální snímky pořízené ruční termální kamerou Fluke Ti55 IR s technologií „fusion“. Technické parametry přístroje jsou uvedeny např. ve Fluke® (2007). Velikost všech snímků je 320x240 pixelů. Skutečná velikost území a prostorové rozlišení jsou závislé na vzdálenosti kamery od monitorované plochy. Pro standardně používaný objektiv s ohniskovou vzdáleností 20 mm jsou to následující hodnoty.

Tab. 1: Velikost pixelu a snímaného území v závislosti na vzdálenosti

Vzdálenost (m)	Velikost pixelu(m)	Velikost území (m)
500	0,635x0,635	203,00x152,00
1000	1,270x1,270	406,00x305,00
1500	1,905x1,905	609,00x457,00
2000	2,540x2,540	812,00x609,00

Je zřejmé, že využití těchto snímků pro zjišťování povrchové teploty vybraných typů aktivních povrchů v krajině na úrovni měřítka místního klimatu může po jejich analýze přinést požadované informace a očekávané výsledky.

Metody

Z důvodů získání pokud možno nejreálnější představy o režimu povrchové teploty byly snímky pořizovány ve dnech s převládajícím radiačním režimem počasí. Pro popis změn povrchové teploty byl realizován termální monitoring jednak v období denní pozitivní i negativní energetické bilance a také ve vybraných časových intervalech v období přechodu pozitivní energetické bilance na negativní.

Mají-li být měřené hodnoty povrchových teplot absolutní, je v procesu monitorování ruční termální kamerou prvořadý předpoklad co nejpřesnější nastavení emisivity povrchu a také teploty pozadí.

Určení přesné hodnoty emisivity je v případě nehomogenních povrchů, což je pro reálnou krajinu naprosto běžné, prakticky nemožné. Nejen z vlastních zkušeností, ale i z postupů uváděných některými autory (např. Stevenson a Varley 2008) lze přijmout názor, že hodnoty emisivity 0,93 – 0,95 jsou pro krajinné prostředí akceptovatelné. Hodnoty povrchové teploty je ale třeba v tomto případě považovat za relativní. Tuto skutečnost lze v případě studia prostorové diferenciace teploty na úrovni místního klimatu akceptovat. Odlišná je situace v případě zjišťování povrchové teploty homogenních povrchů. Pro některé nejrozšířenější lze zjistit orientační hodnoty v tabulkách (např. Fluke®, 2007), které ale obvykle poskytují hodnoty pro průmyslové látky a umělé povrchy. Druhou možností představuje měření emisivity pyrometry „in-situ“. Námí používaný typ Philipp Schenk udává její hodnotu včetně bodové povrchové teploty přímo bez potřeby další výpočtů.

Obdobná je situace v případě určení teploty pozadí. Volba univerzální hodnoty korespondující s aktuální teplotou vzduchu představuje velmi nepřesný způsob. V případě blízkých cílů lze nastavit hodnotu teploty pozadí na základě teploty vybraného aktivního povrchu změřené bodově bezkontaktním teploměrem. Vhodný je např. teploměr typu Testo 845 u kterého je ale třeba stejně jako u většiny podobných přístrojů pro přesné určení teploty současně nastavit hodnotu emisivity. To může představovat vzhledem k výše uvedeným skutečnostem problém.

Korekce na atmosféru není nutná vzhledem ke vzdálenosti, na které se povrchová teplota v případě studia na prostorové úrovni topoklimatu termozáznamy pořizují.

Další nutný krok pro získání reprezentativních absolutních hodnot teploty představuje teplotní kalibrace kamery. Vzhledem k termickým vlastnostem vody (vodních povrchů) je nejběžnější používaný způsob kalibrace termální kamery na teplotu vody (např. Wurm, 2007). Rozdíl mezi teplotou vody změřenou „in-situ“ a teplotou udávanou kamerou je hodnota, o kterou je třeba opravit údaje udávané termální kamerou.

Při praktickém studiu v krajině často dostačuje pracovat s relativními hodnotami, které bývají dostatečně vypovídající. Umožňují dobře popsat prostorové i časové rozdíly a režim povrchové teploty sledovaných aktivních povrchů, případně upozornit na možný výskyt souvisejících jevů.

Všechny termozáznamy pořízené na vybraných lokalitách byly načteny do SmartView™. Application Software. Ver. 1.8. Ten mj. umožňuje dodatečnou korekci hodnot emisivity a teploty pozadí. Poté byly upraveny a analyzovány s ohledem na předpokládané využití při studiu městského a příměstského klimatu města Olomouce.

Zájmové území

Studované lokality byly vybrány tak, aby svým charakterem reprezentovaly městskou a příměstskou krajinu a charakteristické typy aktivních povrchů, které v uvedených typech krajiny a jednotlivých lokalitách převládají.

Městská krajina - termozáznamy pořízené v období pozitivní a negativní energetické bilance:

1. městská zástavba (Fibichova ulice)
2. rozptýlená zástavba v průmyslové části města Olomouce (Tovární ulice)

Příměstská krajina - termozáznamy pořízené v období pozitivní a negativní energetické bilance:

3. zemědělská krajina Bukovany
4. zemědělská krajina s venkovskou zástavbou (Samotíšky, Slavětín)
5. zemědělsko-lesní krajina (Luká)
6. krajina s vodní plochou (Sobáčov)

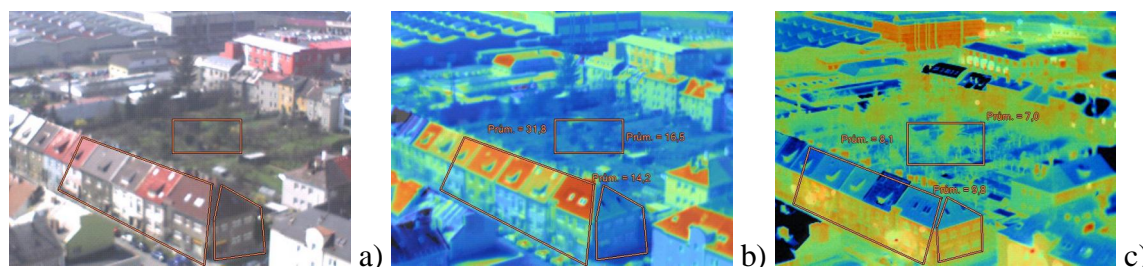
Režim teploty v nočních hodinách - časová sekvence termozáznamů pořízených v okrajové části města s nákupní zónou:

7. okrajová část městské krajiny s nákupní zónou (nákupní centrum Olomouc City)

Výsledky a diskuse

Specifika časoprostorového režimu povrchové teploty na vybraných lokalitách městské a příměstské krajiny Olomouce jsou popsána na základě zjištěných relativních hodnot průměrných povrchových teplot vybraných ploch, resp. aktivních povrchů s ohledem na denní dobu.

1. městská zástavba (Fibichova ulice)



Obr. 1: Lokalita a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 8. 4. 2010, 11:04h a c) 8. 4. 2010, 21:07h (termozáznam Dosoudilová, 2010)

Zejména v denních hodinách je zřejmý vliv typu aktivního povrchu a jeho orientace na povrchovou teplotu (střechy a zdi domů, východ 31,8 °C – sever 14,2 °C). Rozdíl průměrných teplot těchto ploch (17,6 °C) v denních hodinách je extrémní. V nočních hodinách byl teplotní rozdíl mezi východně a severně orientovanými plochami bezvýznamný (1,7 °C), dokonce ve prospěch severních. Rozdíly v povrchové teplotě městské vegetace v denních a nočních hodinách byly v porovnání se sledovanými umělými povrchy v souladu s předpokladem nižší (9,5 °C).

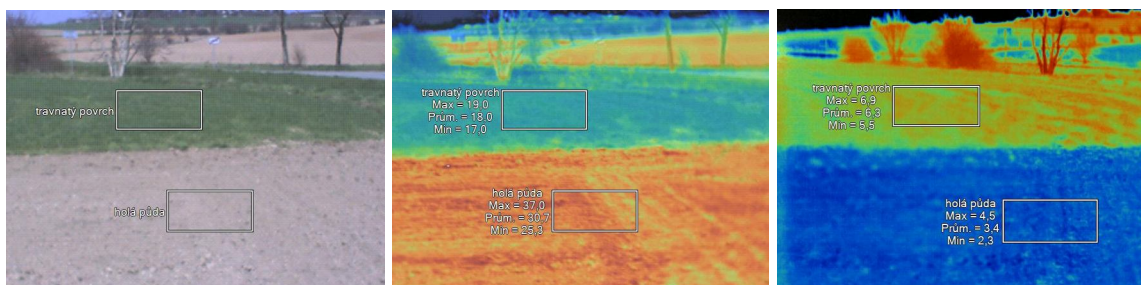
2. rozptýlená zástavba v průmyslové části města Olomouce (Tovární ulice)



Obr. 2: Lokalita a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 8. 4. 2010, 11:09h a c) 8. 4. 2010, 21:10h (termozáznam Dosoudilová, 2010)

Také v tomto případě je rozdíl povrchové teploty mezi vegetací a převažujícími umělými povrchy v denních hodinách výrazný (6,9 °C). S přechodem do záporné radiční i energetické bilance se hodnoty průměrné povrchové teploty prakticky vyrovnaly. Přesněji řečeno, průmyslový areál se jevil nepatrně teplejší (1,5 °C).

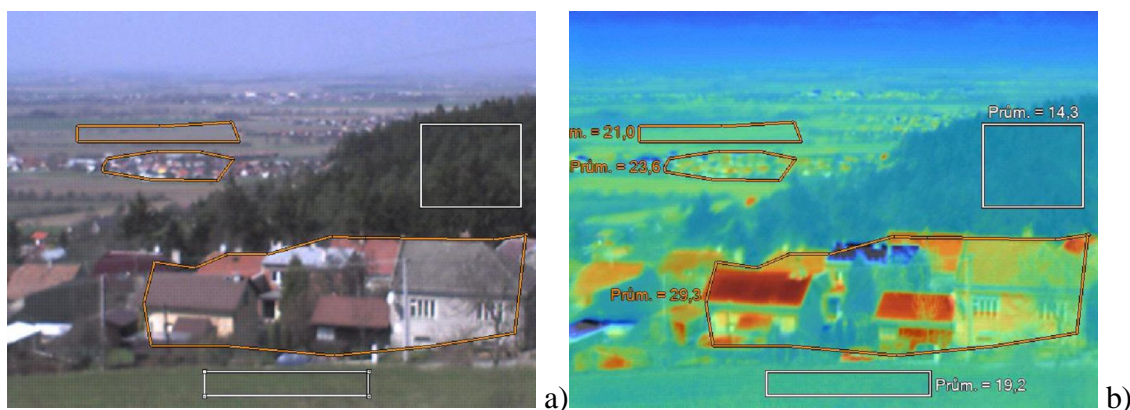
3. zemědělská krajina (Bukovany)



Obr. 3: Lokalita a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 8. 4. 2010, 12:50:09 h a c) 7. 4. 2010, 21:27:44h (termozáznam Dosoudilová, 2010)

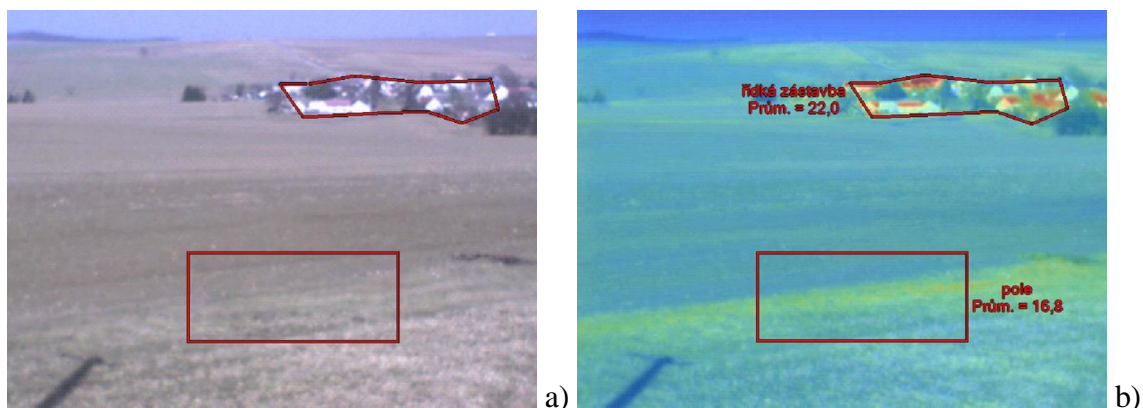
Termozáznam dokladuje extrémní rozdíly povrchových teplot, které se vyskytují v zemědělské krajině mezi plochami s vegetací a holou půdou. Názorné jsou i rozdíly těchto dvou aktivních povrchů v hospodaření s tepelnou energií v období pozitivní a negativní energetické bilance. Průměrná teplota ve dne byla na holé půdě vyšší o 12,7 °C, ve večerních hodinách naopak o 2,9 °C nižší. Průměrná teplota travnaté plochy byla ve dne o 11,7 °C vyšší než v noci. V případě holé půdy byl tento rozdíl zcela extrémní, 27,3 °C.

4. zemědělská krajina s venkovskou zástavbou (Samotíšky, Slavětín)



Obr. 4: Lokalita Samotíšky a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 8. 4. 2010, 13:11h (termozáznam Dosoudilová, 2010)

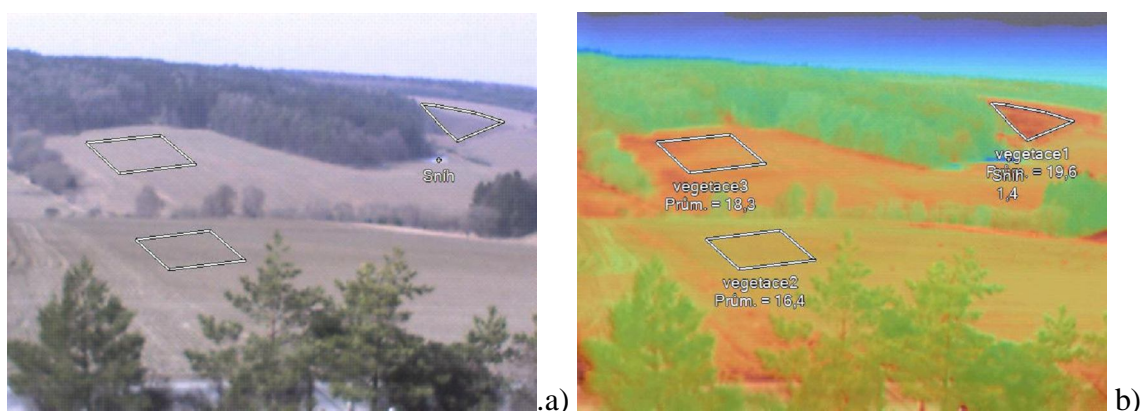
Výrazné rozdíly povrchové teploty v příměstské (venkovské) krajině v denních hodinách dokladují termozáznamy na obr. 4b a 5b. Na obr. 4b reprezentuje teplejší plochy zcela evidentně zástavba (29,3 °C, resp. 23,6 °C) a zemědělská půda bez vegetace (21,3 °C). Naopak lesní porosty, resp. nízká vegetace představuje místa s nižšími povrchovými teplotami. V případě louky to bylo 19,2 °C a u lesní plochy jen 14,3 °C.



Obr. 5: Lokalita Slavětín a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 24. 3. 2010, 11:06h (termozáznam Vysoudil, 2010)

Rozdíly povrchových teplot mezi venkovským sídlem a okolní zemědělskou krajinou v denních hodinách jsou ještě výraznější obr. 5b, kde je zastavěné území průměrně o 5,2 °C teplejší.

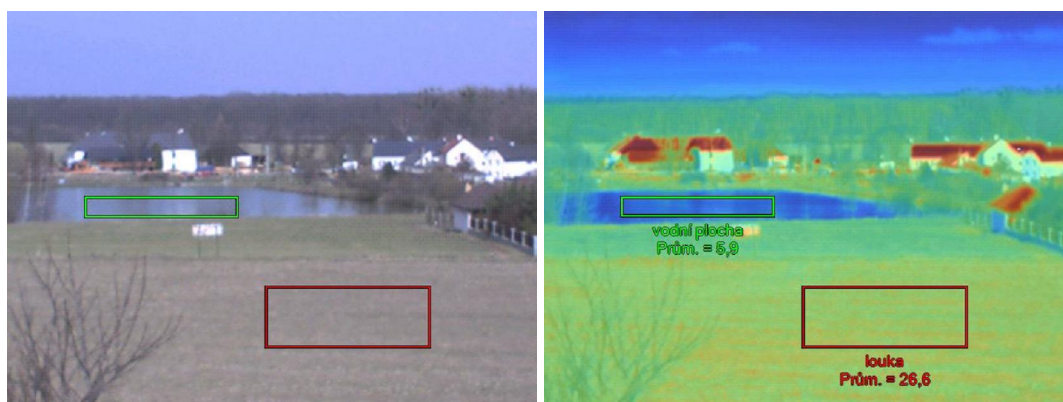
5. zemědělsko-lesní krajina (Luká)



Obr. 6: Lokalita a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 24. 3. 2010, 11:40h (termozáznam Vysoudil, 2010)

Termozáznam dokumentuje skutečnost, že se v krajině od sebe celkem zřetelně liší také povrchová teplota různých druhů vegetace. Nejteplejší je povrch tvořený nevzrostlými stromy (průměrná teplota 19,6 °C). Zřejmý byl i rozdíl mezi plochami s obilovinami v různé fázi vegetačního vývoje (18,3 °C , resp. 16,4 °C). Chladný ostrov na snímku představoval zbytek neroztáté sněhové pokrývky.

6. krajina s vodní plochou (Sobáčov)



Obr. 7: Lokalita a) ve viditelném spektru a průměrná povrchová teplota vybraných ploch v IČ spektru b) 24. 3. 2010 12:58h (termozáznam Vysoudil, 2010)

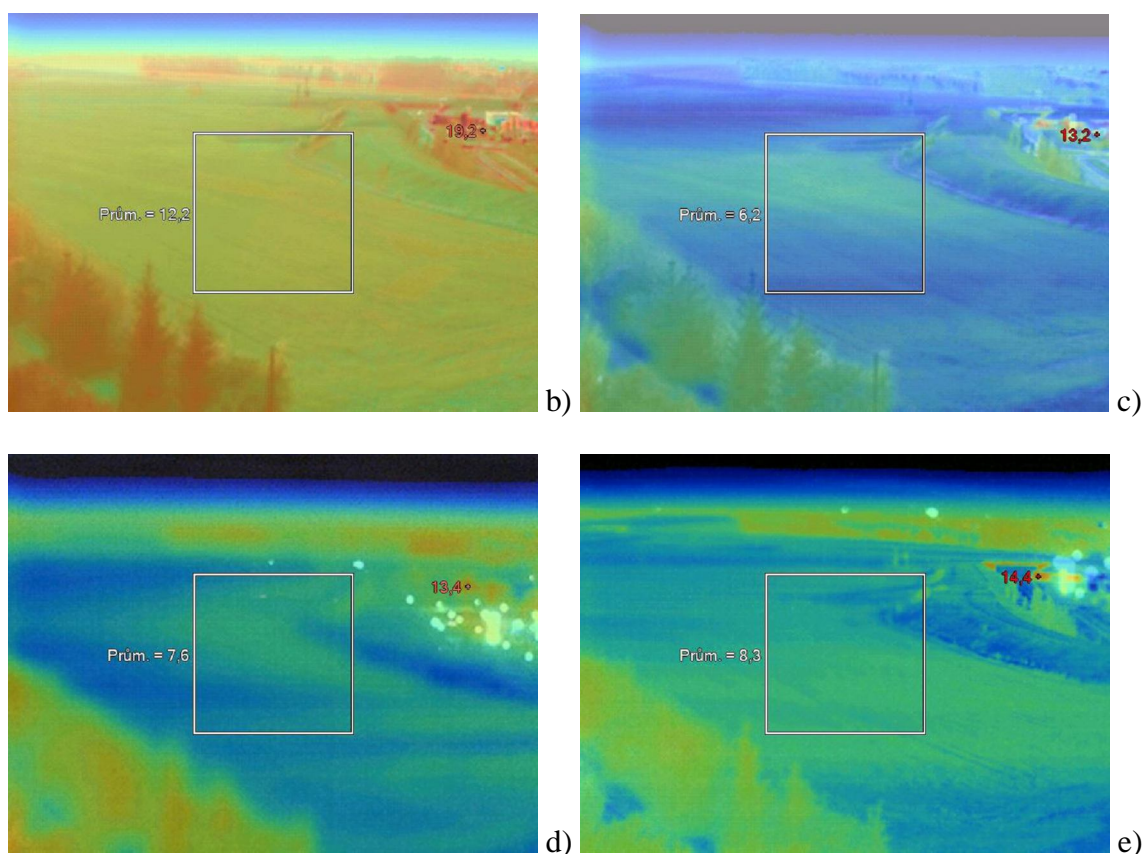
Vodní povrchy představují aktivní povrch s velmi specifickým teplotním režimem. Na termozáznamu pořízeném v poledních hodinách v den s radičním režimem počasí se jeví rybník jako výrazný ostrov chladu. Průměrná povrchová teplota je v porovnání s okolní krajinou o 20,7 °C nižší.

7. okrajová část městské krajiny s nákupní zónou (nákupní centrum Olomouc City)

Sekvenční monitoring v okrajové části města Olomouce v blízkosti nákupního centra byl použit pro sledování změn povrchové teploty v období přechodu pozitivní radiční (energetické) bilance na negativní. Aktivní povrch byl homogenní (travnatý porost), frekvence snímání byla přibližně 1 hodina.



a)



Obr. 8: Lokalita a) ve viditelném spektru a časové změny průměrné povrchové teploty v IČ spektru b) 24. 4. 2009, 18:57h, c) 24. 4. 2009, 20:02h, d) 24. 4. 2009, 20:54h, e) 24. 4. 2009, 22:06h (termozáznam Vysoudil, 2009)

Zjištěné mezihodinové rozdíly jeví výrazný pokles povrchové teploty bezprostředně po západu Slunce (6,0 °C). V dalších dvou měřených intervalech se hodnoty od sebe příliš nelišily a měly mírně rostoucí tendenci. Zdůvodnění této skutečnosti je v rovině spekulací a potvrzení (vyvrácení) tohoto trendu vyžaduje opakovaná měření.

Závěr

Ruční termální monitoring na vybraných lokalitách s rozdílnými typy aktivních povrchů a v rozdílných částech dne v městské a příměstské krajině Olomouce přinesl předpokládané výsledky. Na základě analýzy termogramů byly získány hodnoty průměrných povrchových teplot. Vzhledem k ne zcela dořešené otázce určení emisivity povrchů a spolehlivému stanovení teploty pozadí je třeba na uvedené hodnoty pohlížet jako na relativní.

Z prezentovaných, v podstatě experimentálních měření, nelze ale v současnosti zcela přesně určit, zda a jak se liší např. povrchové teploty umělých povrchů (zde především domů a budov) v městské a příměstské krajině. Totéž platí pro plochy s podobným vegetačním krytem v jednotlivých typech krajiny. Detailnější odpověď by mohlo přinést snímání větších ploch z větších výšek, např. z balonu nebo ultralehkého letounu.

Za nejpřínosnější pro další výzkum lze považovat tyto skutečnosti:

- zřetelně se projeví rozdíly povrchové teploty vybraných typů aktivních povrchů v závislosti denní době a v případě vegetace na jejím typu a hustotě,

- prokázala se možnost identifikace teplých a/nebo chladných ploch v městské a/nebo příměstské krajině,
- vhodnost použité techniky pro popis rozdílů v denních a nočních hodinách,
- možnost použití sekvenčních termálních snímků pro sledování změn povrchové teploty
- celková vhodnost ruční termální kamery pro studium krajiny a klimatu na úrovni místního a městského měřítka nebo jako možného doplnku další forem termálního monitoringu.

Zcela určitě je prezentovaný způsob termálního monitoringu využitelný pro popis prostorových a časových změn povrchových teplot v typech krajiny s vysokou geodiverzitou, To představuje pozitivní zjištění pro studium časoprostorových rozdílů městského a příměstského klimatu. Proto bude popisovaná metoda dále rozvíjena a následně využita jak při studiu rozdílů městského a příměstského klimatu, tak i při zdokonalování topoklimatických výzkumů.

Dedikace

Prezentovaný příspěvek vznikl za podpory grantového projektu Grantové agentury ČR číslo **205/09/1297**, které touto cestou děkuje autor za podporu.

Použitá literatura

- Adams, J. B., Gillespie, A. R. (2006): Remote Sensing of Landscape with Spectral Images. Cambridge University Press, 362 p.
- Dosoudilová, B. (2010): Vliv georeliéfu a aktivního povrchu na režim povrchové teploty na základě vyhodnocení termálních snímků. [Bakalářská práce]. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Katedra geografie, Olomouc, 52 s.
- Fluke®, (2007): IR FlexCam Thermal Imager. Getting Started Guide. Fluke Corporation, Everett.
- Fluke®, (2007): SmartView™. Application Software. Ver. 1.8.
- Graham, E. A., Lam, Y., Yuen, E. M. (2010): Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. Agricultural and Forest Meteorology, 150: 640–649.
- Kaufmann, V., Buchroithner, M. F. (1990): City Planning by means of Thermal Infrared Mapping, Urban climate analysis of the City of Graz. Earth Observation Quarterly, No. 31, September 1990, 3 p.
- Lagios, E., Vassilopoulou, S., Sakkas, V., Dietrich, V., Damiata, B. N., Ganas, A. (2007): Testing satellite and ground thermal imaging of low-temperature fumarolic fields: The dormant Nisyros Volcano (Greece). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62, (6): 447-460.
- Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, Ch. (2010): Tree surface temperature in an urban environment. Agricultural and Forest Meteorology, 150:56-62.
- Nichol, J., E. (1998): Visualisation of urban surface temperatures derived from satellite images. International Journal of Remote Sensing, 19: 1639 – 1649.
- Ozawa, A. et al. (2004): Airborne hyperspectral and thermal information for assessing the heat island in urban areas of Japan. [cit. 2011-01-13]. Dostupné na WWW: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/9.pdf>>
- Stevenson, J. A., Varley, N. (2008): Fumarole monitoring with a handheld infrared camera: Volcán de Colima, Mexico, 2006–2007. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 177 (4): 911-924.

Torgersen, Ch. E., Faux, N. J., McIntosh, B. A., Poage, N. J., Norton, D. J. (2001): Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment*, 76 (3): 386-398.

Vysoudil, M., (2008): Topoclimate Study by Use Thermal Monitoring. *Geodays Liberec 2008. Book of Abstracts. Annual International Geographical Conference of Czech Geographical Conference, Liberec 25.-28. 8. 2008, Technical University of Liberec*, p. 29.

Vysoudil, M., Ogrin, D. (2009): Portable thermal camera as a tool in topoclimatic research. *Dela 31, Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana*, pp. 115-128.

Vysoudil, M. (2009): Termální monitoring a ochrana krajiny. *Thermal Monitoring and Landscape Protection*. In: Pucherová, Z., Vanková, V. (eds): *Problémy ochrany a využívania krajiny – teórie, metódy a aplikácie. Zborník vedeckých prác*. Nitra: Združenie Biosféra, 2009, 360 s.

Weng, Q., Lu, D. (2006): Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sensing of Environment*, 104: 157–167.

Weng, Q. (2009): Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 64: 335 – 344.

Wurm, M. (2007): Erstellung von Strahlungstemperaturkarten am Beispiel der Thermalbefliegung 2004 Graz. [Diplomarbeit]. *Naturwissenschaftlichen Fakultät der Karl-Franzens-Universität Graz. Institut für Geographie und Raumforschung*, 88 s.

Kontaktní adresa autora:

Doc. RNDr. Miroslav Vysoudil, CSc.
Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého
Katedra geografie, oddělení fyzické geografie
17. listopadu 12
771 46 Olomouc
Česká republika
miroslav.vysoudil@upol.cz