

Detekce a monitoring „micro urban heat islands“

Detection and monitoring of „micro urban heat islands“

Středa Tomáš, Středová Hana, Rožnovský Jaroslav

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

Abstract

Urban build up area shows a significantly higher temperature than its surroundings. Comparison of surface temperatures of urban materials with temperatures measured at climatological stations allows estimation of urban heat island intensity. Heat island city of Brno city was monitored by stationary measurements of air temperature above the asphalt surface; measurement of surfaces temperature. The surface temperature was monitored by mobile contactless thermometer and by using of thermal camera.

The paper assesses the influence of solar radiation, albedo, emissivity and temperature (ir)regulation of asphalt surface on its temperature and the temperature of adjacent air layer. Measurements from the warmest months (July, August) of 2009 and 2010 are evaluated. Particular attention was paid to the days with high air temperature and high value of global radiation. Thermal images showing the temperature of different surfaces in the city center were also used. Thermal images of identical areas shows that the surface temperature of the built-up areas increased in three hours about 10°C (surface temperature reached to 50°C). Areas with vegetation caused a significantly lower temperature increase (about 3°C), with maximum surface temperature of 34°C. Vegetation is able to utilize a solar radiation unlike the buildings. Air temperature in the vertical profile above asphalt surface and asphalt surface temperature measured by contactless infrared thermometer were evaluated. A significant effect of dark surface on temperature stratification in the vertical profile was confirmed especially from 9:00 a.m. to 8:00 p.m. It corresponds to the income of solar radiation. Maximum differences of "ground" temperature and air temperature 2 m above the surface (about 3°C) were observed around 3 p.m. The difference diminish in dark part of the day and reaching about 1°C. Measured values were compared with air temperature at climatological station. During a measurement of July 22 - July 23, 2010 7:30 p.m. to 5:00 p.m. were recorded maximum temperature of the asphalt surface, maximum air temperature at 5 and 200 cm above surface 59.6; 35.3; 31.9°C. The data were graphically interpolated by Surfer software for more detailed presentation of observed temperature stratification. Asphalt temperatures reaching over 70°C especially during the days of significantly radiation.

Key words: surface temperature, urban climate, microclimate

Úvod

Tepelný ostrov města (Urban Heat Island – UHI) je funkcí meteorologických faktorů (teplota vzduchu, srážky, sluneční radiace, oblačnost, proudění vzduchu, evapotranspirace) a charakteru samotného města (počet a hustota obyvatel, topografie terénu, nadmožská výška, zastoupení vodních ploch, pokryv povrchu – podíl zastavěného území, barva povrchu, vzdálenost mezi budovami, výška budov, rezistence povrchu, geometrie povrchu města - tzv. „městský kaňon“, „antropogenní teplo“ z vytápění a průmyslu, retence povrchu). Hlavní příčinou vzniku UHI je překrytí původní plochy vegetace pozemními komunikacemi a budovami. Mimo vyšší teplotu je ve městech zvýšená oblačnost a četnost mlh, snížená dohlednost (větší zákal) a tím zeslabené sluneční záření, zvýšené úhrny srážek a četnost bouřek, snížená rychlost větru a vlhkost vzduchu (Landsberg, 1981).

Teplota vzduchu nad standardními městskými povrchy může být až o několik desítek stupňů Celsia vyšší než teplota měřená na standardní klimatologické stanici s travnatým povrchem. Využití dat ze standardních klimatologických stanic je tak pro hodnocení klimatu měst nevhodné. Více autory byla prokázána zvýšená úmrtnost obyvatelstva v důsledku vln horka: v Chicagu v roce 1995 (Karl et al., 1997), v Lisabonu (Dessai, Suraje, 2002), v Paříži v roce 2003 (Schär et al., 2004).

Ke sledování UHI jsou používány metody pozemního termálního monitoringu, dálkového průzkumu země, metoda eddy kovariance a další. Studium UHI Brna se v posledním desetiletí zabývali například Litschmann a Rožnovský (2005), kteří porovnávali teplotní poměry „městské“ stanice na Mendlově náměstí a stanice Brno – Tuřany. V maximálních denních teplotách zjistili rozdíly přesahující 4 °C. Podle Alcoforado a Andrade (2006) dosahuje maximální rozdíl v průměrné denní teplotě vzduchu mezi centrem Lisabonu a okolím 2,5 °C. Obdobné hodnoty uvádí také Bottyán et al. (2005) pro Debrecen. V případě maximálních teplot vzduchu uvádí Fortuniak et al. (2006) rozdíl mezi centrem Lodže a příměstskou krajinou až 8 °C.

Zvláště teplé urbánní body jsou definovány jako „micro urban heat islands - MUHI“ (Aniello et al., 1995, Stathopoulou et al., 2004). Hlavními faktory, vyvolávajícími MUHI jsou účinky geometrie ulic ohraničených budovami na záření, vliv tepelných vlastností městských materiálů na akumulaci a výdej tepla (Oke et al., 1991) a odpadní teplo z obytných a jiných budov (Matson et al., 1978).

Materiál a metody

Stacionární a mobilní monitoring teploty vzduchu a povrchů byl realizován v letních měsících let 2009 a 2010 v různých částech města Brna. Teplota asfaltového povrchu byla měřena infračerveným termometrem Raytek MX2 Raynger s manuálním nastavením emisivity povrchu (použit režim asphalty) v desetisekundovém intervalu měření. Barva odstínu povrchu dle stupnice RAL CLASSIC (RAL – defining standard colors for paint and coatings) byla určena jako odstín RAL 7043 (RGB 078-084-082) – Traffic grey B. Teplota vzduchu byla zaznamenávána čidly s dataloggerem Hobo (Onset Computer), umístěných v radičním krytech ve vertikálním profilu nad povrch (výšky 5 cm, 50 cm, 100 cm a 200 cm nad povrchem). Globální radiace byla měřena čidlem CNR1 Kipp-Zonen (Delft, Nizozemí) umístěným nad monitorovaný povrch, v desetiminutovém intervalu měření.

K bezkontaktnímu snímkování teploty širšího spektra městských povrchů byla použita termovizní kamera FLIR S65HS. Detektor termovizní kamery měří objektem vyzařovanou elektromagnetickou radiaci v infračervené oblasti spektra. Snímkování termokamerou umožňuje spolehlivě identifikovat tepelné ostrovy (MUHI) s potenciálním negativním efektem na okolí.

Pro interpolaci metodou triangulace s lineární interpolací a grafické vyjádření stratifikace teploty vzduchu nad povrchem byl použit program Surfer ver. 8.03 (Golden Software, Inc.).

Výsledky

Bezkontaktní měření teploty povrchů pomocí termovizní kamery:

V rámci mobilního monitoringu UHI byla realizována měření teplot povrchů pomocí termovizní kamery. Uveden je příklad z měření v centru Brna (zastavěné plochy) dne 22.7.2010 ve dvou časových intervalech – 9:30 až 10:30 a 12:30 až 13:30. Na Obr. 1 jsou termální snímky zachycující scénu městských povrchů v uvedených dvou termínech. Jedná se o výšeč centra Brna snímanou z vyvýšené polohy. Zřejmý je nárůst teplot všech povrchů, zejména střech budov (linie 2 – Li2), v pozdějším termínu měření. Maximální teploty osluněných ploch tak ve druhém termínu měření dosahují až 56,3 °C (Tab. 1).



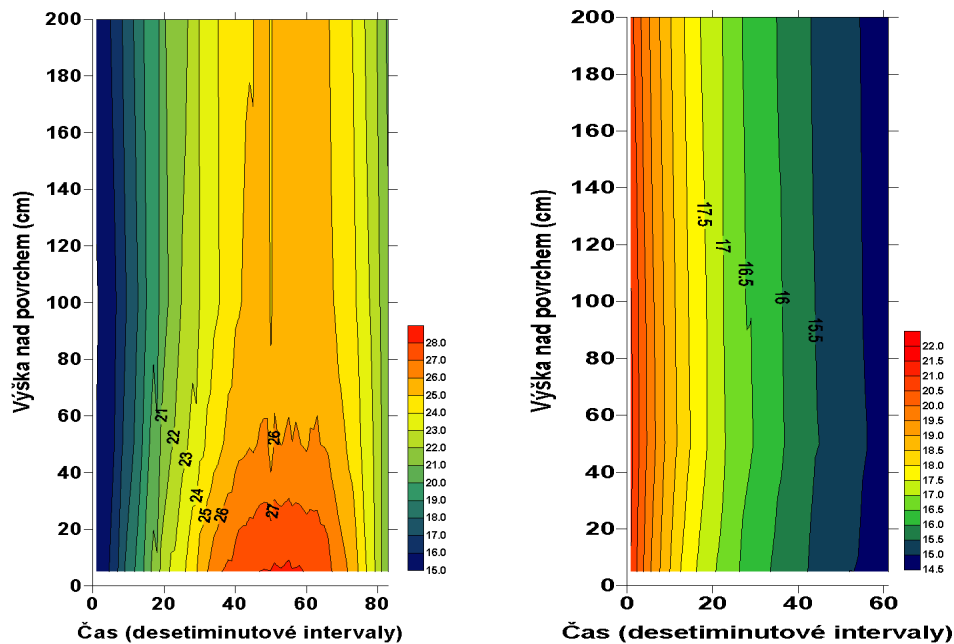
Obr. 1: Výstup ze snímkování termokamerou - dopolední snímek (vlevo), odpolední snímek (uprostřed) a identická scéna nafocená klasickým fotoaparátem (vpravo)

Tab. 1: Vyhodnocení dopoledního a odpoledního snímkování termokamerou

Datum a čas	22.7.2010 09:33:00	22.7.2010 13:32:00
Max. teplota	37,1 °C	56,3 °C
Min. teplota	11,0 °C	13,5 °C
Li1 Max. teplota	28,3 °C	34,2 °C
Li2 Max. teplota	28,4 °C	47,3 °C
Li1 Min. teplota	20,9 °C	25,0 °C
Li2 Min. teplota	17,5 °C	28,1 °C

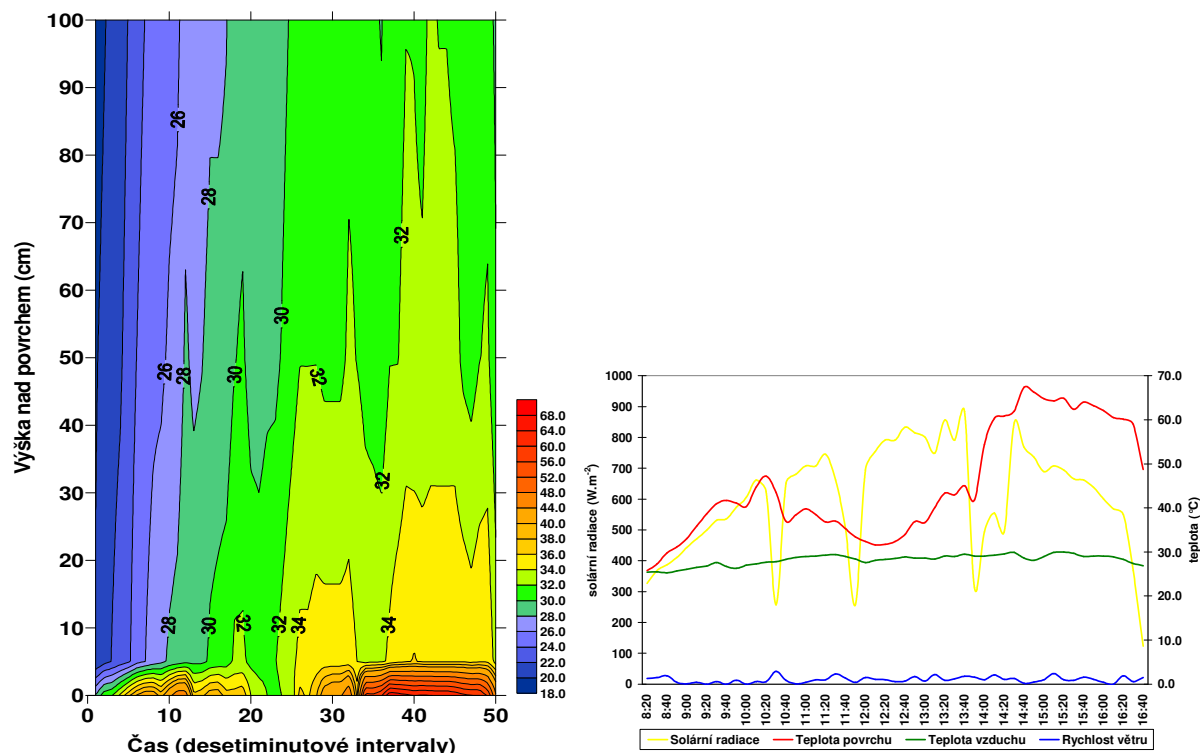
Stacionární měření teploty vzduchu nad asfaltovým povrchem:

Na Obr. 2 a 3 je zachycen zprůměrnovaný průběh desetiminutových teplot vzduchu nad asfaltovým povrchem naměřených senzory Hobo ve vertikálním profilu a interpolovaný programem Surfer během „světlé části dne“ (od východu do západu Slunce) a během „tmavé části dne“ (od západu do východu Slunce) za období července a srpna v roce 2010.



Obr. 2 a 3: Teplota vzduchu nad asfaltovým povrchem během „průměrné světlé části dne“ (vlevo) a „průměrné tmavé části dne“ (vpravo) v roce 2010

Z průběhu teplot je zřejmý očekávaný výrazný vliv asfaltového povrchu na stratifikaci teplot ve vertikálním profilu. Maximální rozdíly „přízemní“ teploty vzduchu a teploty ve 2 nad povrchem se pohybují okolo 2 - 3 °C (28 °C vs. 25 °C). Uvedené maximální difference se vyskytují okolo 15. hodiny. Difference v tmavé části dne jsou výrazně nižší s tím, že teplotní rozdíl „při zemi“ a ve 2 m nad povrchem je během krátké doby vyrovnáván.



Obr. 4: Teplota asfaltu a vzduchu nad asfaltovým povrchem během 11. 8. 2010 (vlevo)

Obr. 5: Teplota asfaltového povrchu a průběh vybraných meteorologických veličin 11. 8. 2010 (vpravo)

Obr. 4 zachycuje podrobný průběh teplot nad povrchem asfaltu během tropického dne 11. 8. 2010 od 8:30 do 16:30 hod. Výstup byl vytvořen interpolací dat teploty povrchu a teploty vzduchu nad asfaltovým povrchem v 5, 50 a 100 cm.

Na Obr. 5 je pro srovnání ve stejném časovém úseku uveden průběh veličin, které mají na teplotu povrchu vliv – teplota vzduchu, solární radiace a rychlost větru (srážky se v daný den nevyskytly). Těsnost vztahu mezi teplotou asfaltového povrchu a meteorologickým prvkem byla vyjádřena korelačním koeficientem. Korelace mezi teplotou povrchu a teplotou vzduchu je statisticky vysoce průkazná ($r = 0,538$; $\alpha = 0,01$).

Závěr

Pro účely projektu „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst“ byla v Brně zřízena síť účelových meteorologických stanic, zachycujících průběh meteorologických prvků v širokém spektru městských prostředí, včetně turisticky atraktivních lokalit. Tepelný ostrov města Brna je tak monitorován prostřednictvím stacionárního měření teploty vzduchu v mikroklimaticky různých podmínkách. Specifickou činností pro hodnocení UHI je monitoring vertikální stratifikace teploty vzduchu nad asfaltovým povrchem, měření teplot povrchů a přilehlé vzduchové vrstvy mobilním monitoringem a bezkontaktního měření teploty povrchů pomocí termovizní kamery. Zvláštní pozornost byla věnována radiačním dnům s vysokou teplotou vzduchu.

Při použití termovizní kamery vzájemné porovnání identických ploch ukazuje, že teplota povrchu se u zastavěných ploch zvýšila za tři hodiny o cca 10 °C, přičemž teploty povrchů dosahovaly i 50 °C. Zazeleněné plochy vykazují podstatně nižší nárůst teplot a pohybuje se na úrovni nárůstu teploty vzduchu tj. o cca 3 °C, přičemž maximální teploty se pohybovaly na úrovni 34 °C. Rozdíl teploty povrchů zastavěných ploch s plochami osazenými zelení jsou téměř 20 °C. Z porovnání výsledků je jasně zřejmá funkce zeleně, které dokáže díky výparům vody podstatně lépe odvádět teplo z dopadajícího slunečního záření než je tomu u stavebních objektů.

Byl potvrzen výrazný vliv tmavého povrchu na stratifikaci teplot ve vertikálním profilu zejména cca od 9:00 do 20:00, který koresponduje s intenzitou příkonu solární radiace. Maximální rozdíly „přízemní“ teploty vzduchu a teploty ve 2 m nad povrchem byly zaznamenány okolo 15. hodiny a pohybuje se okolo 3 °C. V tmavé části dne se difference během krátké doby vyrovnají a dosahují maximálně okolo 1 °C.

Literatura

- Alcoforado, M.J., Andrade, H. (2006): Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, s. 151 – 159.
- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., Newland, L. (1995): Mapping micro - urban heat islands using Landsat - TM and GIS. *Computers and Geosciences*, 21, 8, p. 965 - 969.
- Beranová, R., Huth, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy*, 56, 5, p. 137-142.
- Bottyán, Z., Kircsi, A., Szegedi, S., Unger, J. (2005): The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *Int. Journal of Climatol.*, 25, s. 405 – 418.
- Dessai, S. (2002): Heat stress and mortality in Lisbon. Part I. Model construction and validation. *Int. J. Biometeorol.*, 48, 1, s. 37 – 44.
- Fortuniak, K., Kłysik, K., Wibig, J. (2006): Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź. *Theor. Appl. Climatol.*, 84, s. 91 – 101.
- Karl, T., Knight, R. (1997): The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence? *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 78, 6, s. 1107 – 1119.
- Krahula, L. (2010): Variabilita teploty vzduchu v městě Brně podle denních měření [Air temperature variability in Brno based on daily measurements]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, bakalářská práce, 41 p.
- Landsberg, H.E. (1981): *The urban climate*. Academic Press, INC, New York, 269 p.
- Litschmann, T., Rožnovský, J. (2005): Příspěvek ke studiu městského klimatu v Brně. In: *Transport vody, chemikálií a energie v systému půda-rastlina-atmosféra*. Ústav hydrologie a Geofyzikální ústav SAV, Bratislava, CD ROM, p. 331-342.
- Matson, M., McClain, E.P., McGinnis, Jr., D.F., Pritchard, J.A. (1978): Satellite detection of urban heat islands: *Monthly Weather Review*, 106, 12, p. 1725-1734.
- Oke, T.R. (1982): The energetic basis of the urban heat island: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, p. 1-24.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., Watson, I.D. (1991): Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night Part 2: diagnosis of causation: *Boundary-Layer Meteorology*, 56, p. 339-358.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 6972, s. 332 – 336.
- Smargiassi, A., Goldberg, M.S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y., Kosatsky, T. (2009): Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *J. Epidemiol. Community Health*, 63, 8, p. 659-664.

Stathopoulou, M., Cartalis, C., Keramitsoglou, I. (2004): Mapping micro urban heat islands usány NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover: an application to coastal cities of Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 12, p. 2301-2316.

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu Grantové agentury ČR GA205/09/1297 – „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst“. Autoři děkují společnosti ENKI, o. p. s., Dukelská 145, Třeboň za provedení termovizního snímkování.