

# Teplotní poměry území města Hradce Králové

Tomáš Středa<sup>1</sup>, Hana Středová<sup>1</sup>, Jaroslav Rožnovský<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mendelova Univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie

<sup>2</sup>Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

## Abstrakt

Analýza klimatických podmínek a vymezení mezoklimatických specifíků příměstských a městských oblastí Královéhradecka bylo provedeno s využitím dat staniční sítě ČHMÚ a série terénních měření realizovaných od roku 2011. Monitorovací body charakterizují mikroklimatické podmínky v historickém centru města, v bytové zástavbě, v okrajové části města, v zóně městské zeleně a v průmyslové zóně. Průběh teplot je na jednotlivých sledovaných lokalitách v podstatě shodný. Zjištěny byly rozdíly mezi hodnotami maxim a minim jednotlivých dnů a tím pádem i mezi průměrnými teplotami vzduchu. Ze stručného statistického hodnocení vyplývá, že za měřené období je v průměru nejteplejší lokalita v historickém centru města. Teplota vzduchu zde byla v průměru o 1,2 až 1,8 °C vyšší než na ostatních lokalitách. Přitom se zde výrazně neprojevovaly nárůsty maximálních teplot vzduchu, mimo srovnání s lokalitou v zóně městské zeleně. Z hodnocení minimálních teplot vzduchu vyplývá významný vliv povrchu lokality, případně vliv porostu. Proto jsou nejnižší minimální teploty na lokalitě v průmyslové zóně na okraji města a naopak nejvyšší v centru města. Lze předpokládat, že v období nevyšších teplot vzduchu, tedy v měsících léta, budou rozdíly v teplotách vyšší, hlavně za jasných dnů. Zde se potom mohou vyskytnout i hodnoty teplot vzduchu představující nadlimitní zátěž lidského organismus.

Interpolací metodami GIS mohou být výstupy bodového monitoringu využity k plošnému vyjádření podmínek studovaného území a následně k rozhodovacím procesům o land-use v územním plánování.

**Klíčová slova:** teplotní ostrov města, teplotní maximum, teplotní minimum

## Abstract

Analysis of climatic and mesoclimatic conditions of suburban and urban areas of Hradec Králové city was done using Czech hydrometeorological institute data and the set of field measurements. Monitoring points characterize the climatic conditions of historical center, residential area, outskirts of the town and the area of urban green and industrial zone. The temperatures course at individual sites is almost identical. The differences between maximum and minimum values of individual days and thus the average air temperatures differences were identified. A brief statistical evaluation shows that the warmest location is historical part in the city center. Average air temperature was there about 1.2 to 1.8 °C higher than in other locations. At the same time the significant increases in maximum temperatures was not shown (except the urban green area). Minimum air temperature shows a significant influence of surface of canopy. Therefore, the lowest minimum temperatures were measured in an industrial zone on the outskirts of the city, while the highest in the city center. It can be assumed that the highest temperatures in the summer months especially on clear days can cause a significant stress on the human organism.

GIS interpolation methods can be used to the generalized spatial expression of the urban climatic conditions and subsequently to the decision-making processes in land-use planning.

**Key words:** urban heat island, temperature maximum, temperature minimum

## Úvod

Jako tepelný ostrov města je zjednodušeně popisován jev, kdy jsou ve městech zaznamenávány vyšší teploty než v okolních venkovských oblastech. 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, nadmořská 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). V porovnání s venkovskou krajinou mohou být ve městech v nočních hodinách teploty i o 10 °C vyšší, což má přímý vliv nejen na lidské zdraví, ale i důsledky ekonomické. Změna geometrie aktivního povrchu – zvětšení jeho velikosti a převaha vertikálních povrchů vede k zvýšení množství pohlceného slunečního záření a k jeho četným odrazům, uzavřené prostory mezi budovami způsobují omezení dlouhovlnného vyzařování v nočních hodinách a tím i ke snížení ztrát tepla; změna tepelných vlastností aktivního povrchu – budovy mají poměrně značnou tepelnou kapacitu, což umožňuje zvýšené pohlcování tepla v období pozitivní energetické bilance a jeho uvolňování během negativní energetické bilance; změna v hydrologické bilanci – převaha nepropustných povrchů vede k snížení dostupného množství vody k evapotranspiraci a tím současně i k snížení latentního toku tepla a k zvýšení turbulentního toku. 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. V literatuře často prezentovaná představa tepelného ostrova jako koncentricky uspořádaných izoterm s maximem v centru města a postupným poklesem teplot směrem k okrajovým částem je však značně zjednodušená. Zvláště v rozsáhlejších městských aglomeracích vytváří zástavba složitý hierarchicky upořádaný systém, který podmiňuje velkou časovou i prostorovou proměnlivost teplotních poměrů měst, která souvisí s různým charakterem zástavby (obchodní a průmyslové zóny, obytná zástavba), podílem ploch s vegetací či vodních ploch. První vědecká srovnání teplotního režimu města a přilehlých venkovských oblastí provedl Howard ve studii *Climate of London* z roku 1833. Ke sledování a kvantifikaci UHI jsou používána nejčastěji metody pozemního termálního monitoringu (IR senzory), dálkového průzkumu země (termální družicové snímky), metoda eddy kovariance a další. Uvedené metody identifikují především tzv. povrchový tepelný ostrov. Ten se netýká teploty vzduchu, ale teploty přirozených i umělých povrchů a je definován jako kladná teplotní anomálie aktivních povrchů v prostoru městské zástavby vůči přirozeným povrchům venkovské krajiny. Klasickou metodou pro vymezení tzv. Atmospheric Urban Heat Island (týká se teplot a vlhkosti vzduchu) je srovnání průběhu meteorologických prvků z městských a mimoměstských stanic. „Atmospheric Urban Heat Island“ je možné identifikovat měřením teploty nebo vlhkosti vzduchu ve standardní meteorologické budce, pomocí účelových měření ve speciální síti stanic či například pomocí tzv. měřících jízď.

Zvláště teplé body s charakteristickými znaky (parkoviště, průmyslová zařízení, ploché střechy, asfaltové komunikace apod.) 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 a odpadní teplo z obytných a jiných budov. Efekt je zesilován během teplých, bezvětřných, bezoblačných dnů v létě a na podzim. Vyhodnocením teplotních řad, satelitních termosnímků a údajů o úmrtnosti byla např. v Montrealu, Chicagu, Lisabonu nebo v Paříži zjištěna přímá vazba mezi riziky úmrtí v oblastech s vyšší teplotou povrchu během zvláště teplých dnů (Karl et al., 1997, Schär et al., 2004).

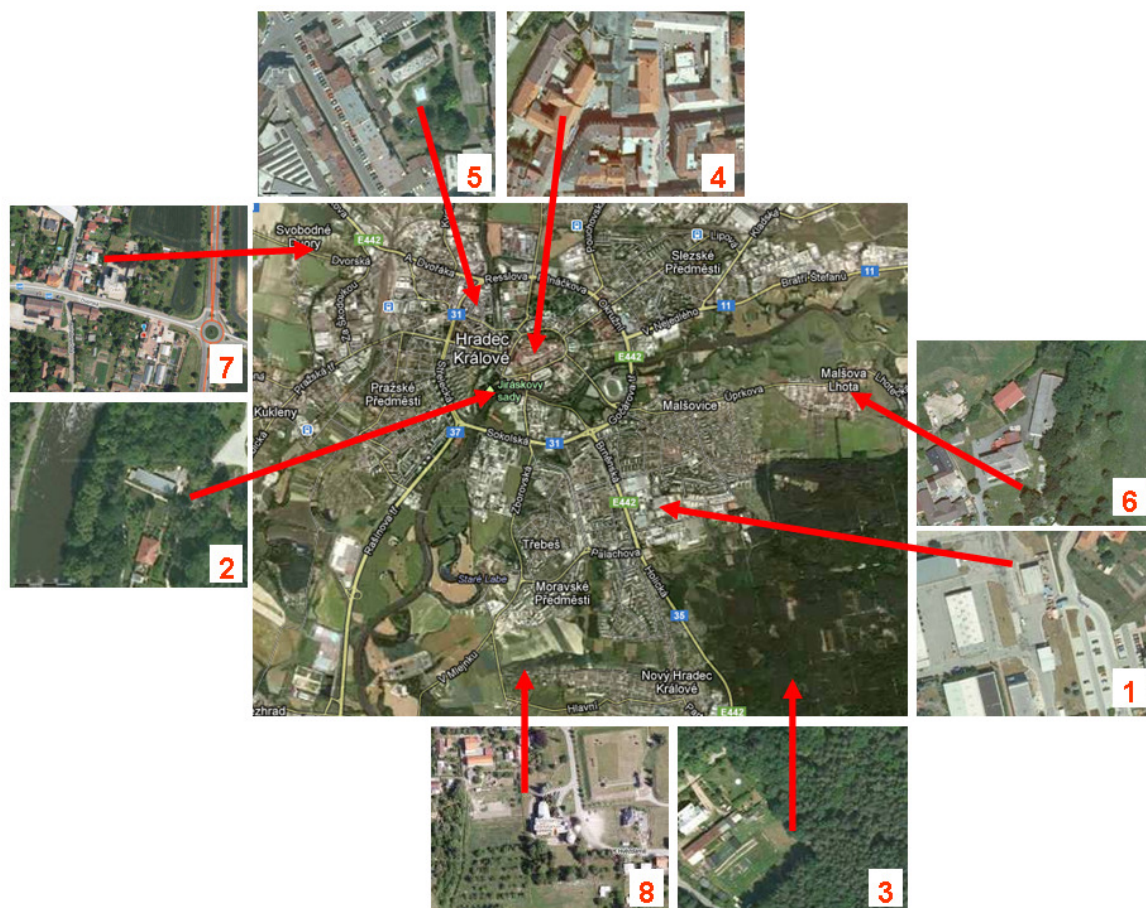
### Materiál a metody

Režim teploty a vlhkosti vzduchu a jejich diference v Hradci Králové a přilehlém okolí byly studovány na základě měření na účelových a standardních meteorologických stanicích (Tab. 1, Obr. 1). Meteorologické stanice Hradec Králové Svobodné Dvory a Nový Hradec Králové jsou osazeny standardní přístrojovou technikou, používanou na automatických stanicích ČHMÚ, umístěnou v žaluziové meteorologické budce ve dvou metrech nad travním porostem. Měření na účelově zřízených měřících bodech probíhala ve výšce dva metry nad zemským povrchem čidly HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger U23-001, umístěnými v radiačním štítu. Teplota vzduchu byla na všech stanicích měřena v desetiminutových intervalech. Meteorologická měření na účelových stanicích nebyla v roce 2011 a v prvním pololetí roku 2012 koncipována jako kontinuální. Hodnoceny tak jsou dvě meteorologicky zásadně rozdílné epizody (11.2.2012 – 12.4.2012 a 21.7.2012 – 18.10.2012), vystihující situaci během chladné a teplé části roku, včetně výskytu extrémů teplot a vlhkosti vzduchu. S ohledem na výrazně odlišný vliv solární radiace, vliv vyzářování povrchů, charakter proudění vzduchu atd. bylo hodnocení provedeno oddělené pro teplou a chladnou část roku a také zvlášť pro světlou a tmavou část dne. Pro účely studie byla za světlou část dne považována doba od 7:00 do 19:00, za tmavou část dne doba od 19:10 do 6:50.

Tab. 1 Přehled, poloha a specifikace měřících bodů

Název, zkratka a lokalizace místa měření	Číselné označení	Stručná charakteristika prostředí
Technické služby (TS): 50°11'43.159"N, 15°51'18.336"E	1	lokalita na okraji města, významný podíl horizontálních betonových a asfaltových povrchů, ve druhém perimetru travní porosty, celodenně osluněné prostranství
Městský park – Jiráskovy sady (Park): 50°12'21.884"N, 15°49'31.925"E	2	na vzrostlou dřevinnou vegetaci bohatá část v centru města, vysoký podíl nezastavěných zastíněných ploch, travní pokryv, celodenní stín, blízkost soutoku dvou velkých toků
Městské lesy (Les): 50°10'39.974"N, 15°54'14.036"E	3	čidlo umístěno ve středněvěkém převážně jehličnatém lesním porostu, kromě odpoledních hodin zastíněno stromy, absence významných ploch s umělým povrchem
Historické centrum města – Hudební síň (Hudební síň): 50°12'39.493"N, 15°49'55.767"E	4	historická část centra města, uzavřený areál (nádvoří) s vertikálními povrchy a limitovaným prouděním vzduchu, umělý pevný povrch, umístěno pod omezenou dřevinnou zeleň, od dopoledních do

		odpoledních hodin osluněno
MŠ Průmyslová (MŠ vnitroblok): 50°12'52.516"N, 15°49'32.781"E	5	lokalita obklopena bytovou zástavbou do pěti pater výšky, bezprostřední okolí měření s výskytem dřevinné a keřové vegetace, travní pokryv, v blízkosti bazének, převážně zastíněno, částečně osluněno v odpoledních hodinách
MŠ Malšova Lhota (MŠ Malšova L.): 50°12'29.911"N, 15°53'6.672"E	6	lokalita na okraji příměstské rodinné zástavby, školní zahrada, výskyt dřevinné a keřové vegetace, travní pokryv, většinu dne zastíněno, osluněno v odpoledních hodinách
Stanice ČHMÚ Svobodné Dvory (Svobodné Dvory): 50°13'21.367"N, 15°47'15.969"E	7	situováno dle zásad pro zřizování meteorologických stanic, lokalita na okraji příměstské rodinné zástavby, výskyt dřevinné vegetace v okolí, travní pokryv, v okolí horizontální umělé povrchy, čidlo v meteorologické budce
Stanice ČHMÚ Nový Hradec Králové (Nový Hradec): 50°10'39.01"N, 15°50'18.98"E	8	situováno dle zásad pro zřizování meteorologických stanic, lokalita na okraji příměstské rodinné zástavby, výskyt dřevinné vegetace v okolí, výrazné plochy travního pokryvu v okolí, čidlo v meteorologické budce



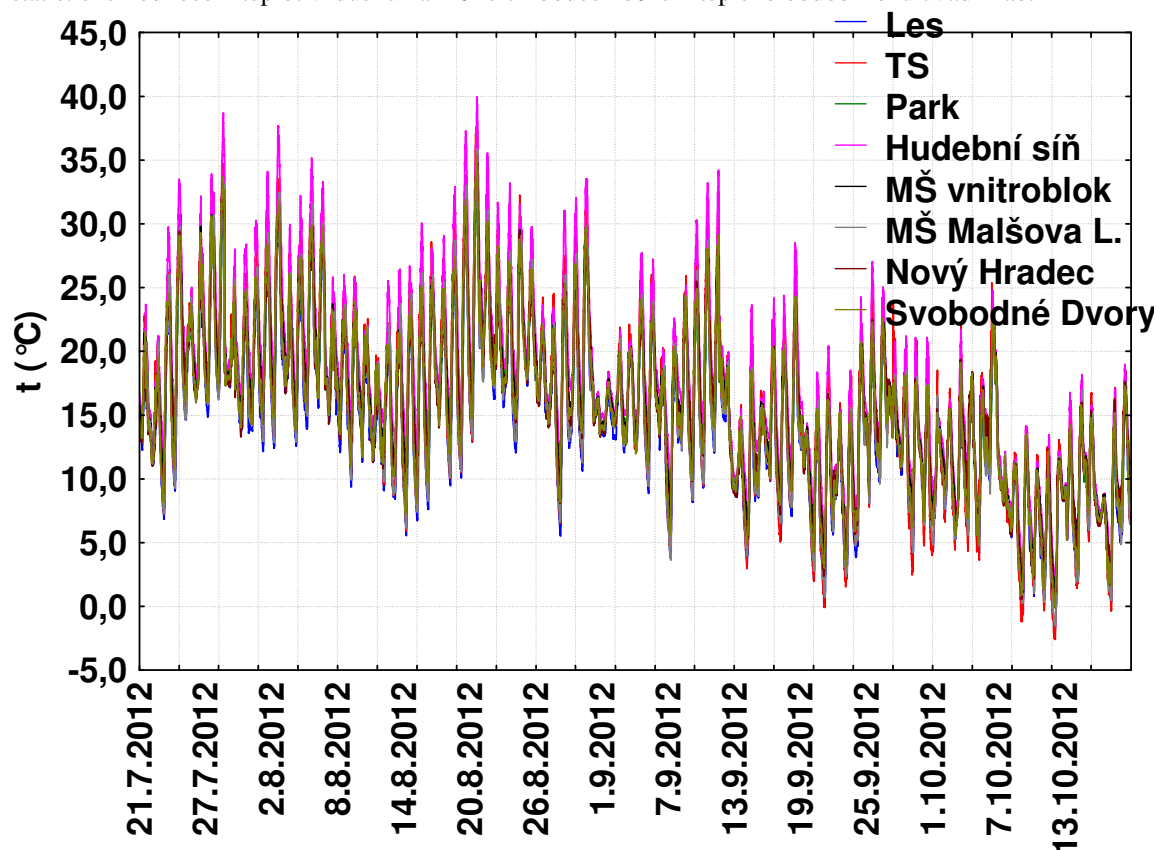
Obr. 1 Poloha měřících míst

Pomocí software Statistica ver. 8.0 (StatSoft Inc.) byly hodnoceny graficky průběhy teplot vzduchu vybraných epizod měření, tj. během teplé části roku a během chladné části roku (jcelodenní hodnoty) a četnosti hodnot teplot a vlhkostí vzduchu na jednotlivých měřících bodech

## Výsledky

### Vyhodnocení monitoringu teplot vzduchu během teplé části roku

Průběh teplot vzduchu na všech osmi měřicích bodech během epizody červenec – říjen 2012 uvádí Obr. 2. Přesto, že graf není pro vyjádření diferencí při tak vysokém počtu měřicích bodů optimální, jsou některé markanty zřejmé. Ve všech případech je nejteplejší lokalitou Hudební síň, následovaná v některých dnech TS. Vlivem příkonu solární radiace dochází na těchto lokalitách k intenzivnímu ohřevu svislých a vodorovných umělých povrchů s vlivem na teplotu vzduchu. Nejchladnější lokalitou je do teploty cca 5 °C Les. Při poklesu pod 5 °C se stávají nejchladnější lokalitou TS. Uvedený fakt souvisí s vyzařováním povrchů (případ TS) a termoregulačního efektu vegetace (případ Les) během chladného období, často radiačního charakteru. Základní statistické hodnocení teplot vzduchu na měřicích bodech během teplého období roku uvádí Tab. 2



Obr. 2 Průběh teplot vzduchu během teplého období roku – celodenní hodnoty

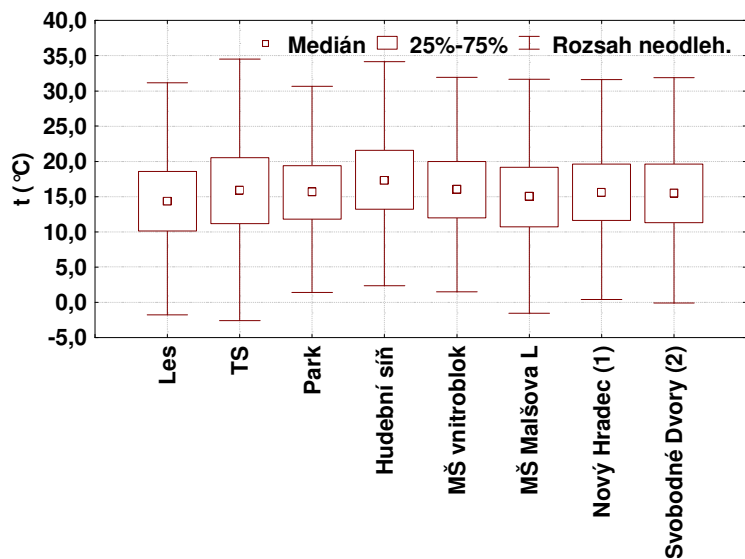
Tab. 2 Základní statistické hodnocení teplot vzduchu na měřicích bodech během teplého období roku

Celé období červenec - říjen 2012						
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Sm. odch.
Les	12960	14,6	14,4	-1,8	35,3	6,3
TS	12960	16,1	15,9	-2,6	37,6	7,1
Park	12960	15,7	15,7	1,4	32,2	5,6
Hudební síň	12960	17,7	17,3	2,3	39,9	6,6
MŠ vnitroblok	12960	16,2	16,0	1,5	33,3	5,9
MŠ Malšova L.	12960	15,2	15,1	-1,5	35,8	6,3
Nový Hradec	12959	15,8	15,6	0,4	34,8	6,0
Svobodné Dvory	12959	15,7	15,5	-0,1	35,4	6,2

Při hodnocení surových dat je Hudební síň nejteplejším měřicím bodem, co se týká středních hodnot, minim i maxim. Nejchladnějším bodem v rámci středních hodnot je Les, v rámci minim TS a v rámci maxim Park. Park je tak lokalitou s nejintenzivnějším chladícím efektem při extrémně vysokých teplotních epizodách a projevuje se nejmenší teplotní amplitudou. TS a Hudební síň jsou díky charakteru povrchů lokalitami s největším rozpětím minimum – maximum (největší amplitudy extrémů).

S využitím statistických hodnot byl sestrojen krabicový graf (Obr. 3), přehledně zachycující střední hodnotu (medián), druhý a třetí kvartil hodnot a extrémy zbavené odlehlých hodnot (tj. statisticky „podezřelých“ hodnot

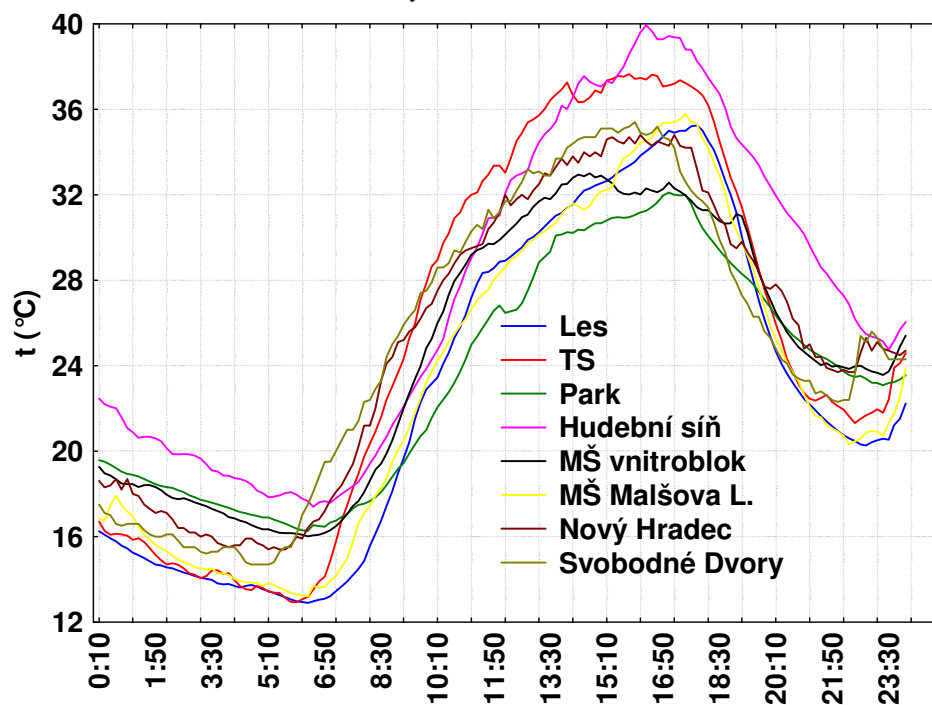
mimo normální rozdělení). Zajímavé je rozpětí neodlehých hodnot minim a maxim u TS (extremita), které je vyšší než u Hudební síň. Park má naopak rozpětí extrémů nejnižší, stejně jako rozpětí hodnot v rámci 2. a 3. kvartilu.



Obr. 3 Krabicový graf hodnot teplot vzduchu v teplém období

Četnost výskytu teplot na lokalitě TS naznačuje nejčastější výskyt teplot vzduchu na okraji teplotního rozpětí při srovnání s jinými měřicími body. Odlišný průběh vykazují teploty na lokalitách MŠ vnitroblok a zejména Park. To naznačuje teplotní stabilitu uvedených prostředí. Les má distribuci teplot posunutou k nižším hodnotám. Naopak Hudební síň inklinuje k výskytu teplot vyšších. Klimatologické stanice ČHMÚ mají velice podobnou distribuci teplot.

Obr. 4 zachycuje průběh teplot vzduchu na jednotlivých měřicích bodech během nejteplejšího dne roku 2012 (20.8.2012). Zřejmý je pozitivní efekt zejména Parku a také podmínek v MŠ vnitroblok na redukci extrémní teploty vzduchu. V porovnání s referenčními stanicemi (Nový Hradec a Svobodné Dvory) je zde teplota vzduchu výrazně nižší. Teplota vzduchu v Lese a v MŠ Malšova L. dosahuje s mírným zpožděním úrovně referenčních stanic. Teploty vzduchu v TS a zejména v Hudební síni převyšují výrazně teploty vzduchu na referenčních stanicích. TS vzhledem o otevřené poloze již od cca 10. hodiny dopolední do 20. hodiny. Hudební síň díky orientaci okolních budov od 12. hodiny dále.

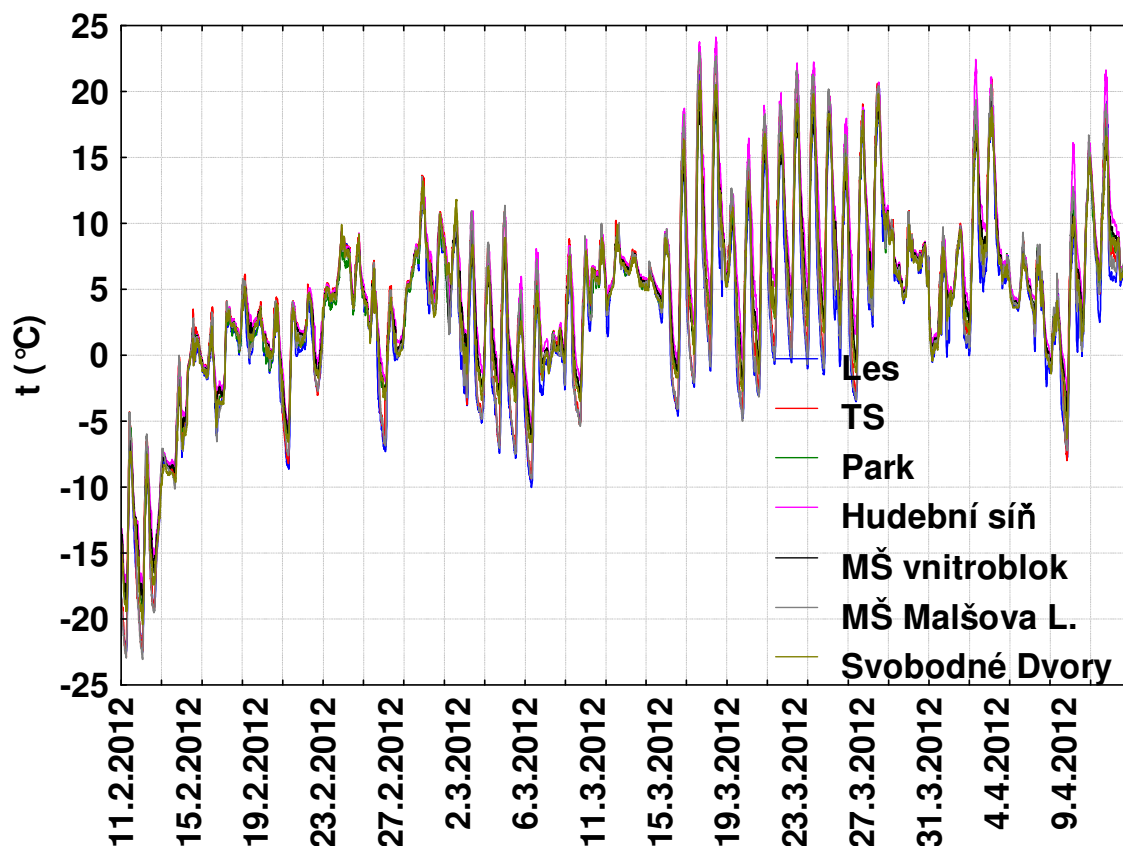


Obr 4. Průběh teplot vzduchu během nejteplejšího dne v roce 2012 (20.8.)

### Vyhodnocení monitoringu teplot vzduchu během chladné části roku

Průběh teplot vzduchu na sedmi měřicích bodech během epizody únor - duben 2012, která reprezentuje chladnou část roku, uvádí Obr. 5. Z důvodu poruchy čidla nejsou hodnocena nejsou data ze stanice Nový Hradec. Během nejchladnějších dnů (11. – 13.2.2012), kdy minimální teploty vzduchu klesaly pod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  byly nejchladnějšími lokalitami TS, MŠ Malšova L. a Les. Ostatní lokality byly teplotně přibližně vyrovnané a o cca  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  teplejší. U Hudební sítě a MŠ vnitroblok lze očekávat vliv úniků tepla z budov. V Parku je možný případný vliv vegetace, respektive omezení vyzařování z povrchu vlivem vegetace a případně vliv vodního toku.

Základní statistické hodnocení teplot vzduchu na měřicích bodech během chladného období roku uvádí Tab. 3.

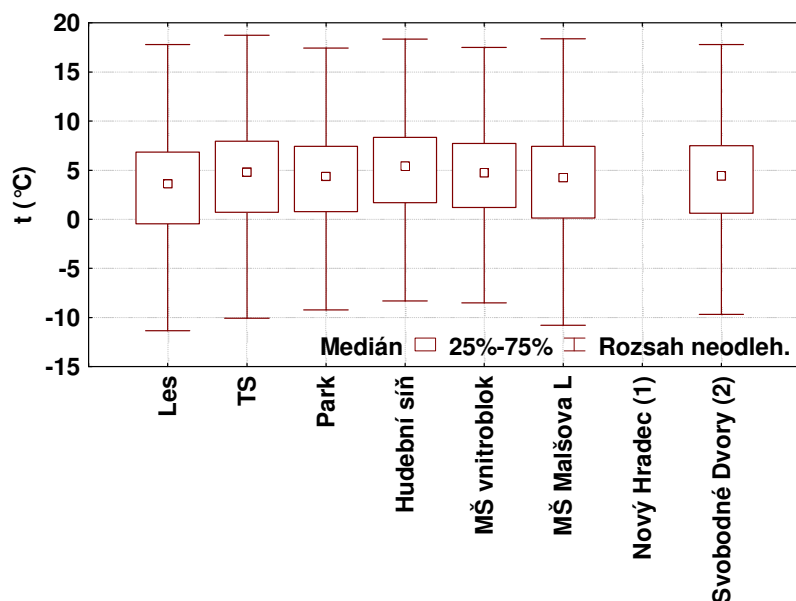


Obr. 5 Průběh teplot vzduchu během chladného období roku – celodenní hodnoty

Tab. 3 Základní statistické hodnocení teplot vzduchu na měřicích bodech během chladného období roku

Celé období únor – duben 2012						
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Sm. Odch.
Les	8928	2,9	3,6	-22,5	21,3	6,9
TS	8928	4,2	4,8	-22,9	23,0	7,1
Park	8928	4,1	4,4	-19,1	20,2	6,3
Hudební síň	8928	5,2	5,4	-17,9	24,1	6,6
MŠ vnitroblok	8928	4,4	4,7	-18,8	19,8	6,3
MŠ Malšova L.	8928	3,7	4,2	-23,0	23,0	7,1
Svobodné Dvory	8927	4,0	4,4	-20,4	20,8	6,5

Stejně jako během teplého období je nejteplejším místem Hudební síň. Ve srovnání s referenční stanicí Svobodné Dvory o  $1,2$  respektive  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve středních hodnotách, o  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v absolutním teplotním minimumu a o  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  v absolutním maximumu teploty. rozdíl v nejnižších naměřených teplotách vzduchu činí až  $5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Hudební síň versus MŠ Malšova L.). Středními hodnotami je nejchladnější lokalitou Les. Minimálními teplotami jsou nejchladnějšími TS a MŠ Malšova L. Tyto dvě lokality mají největší variabilitu souboru teplot (vyjádřeno směrodatnou odchylkou).

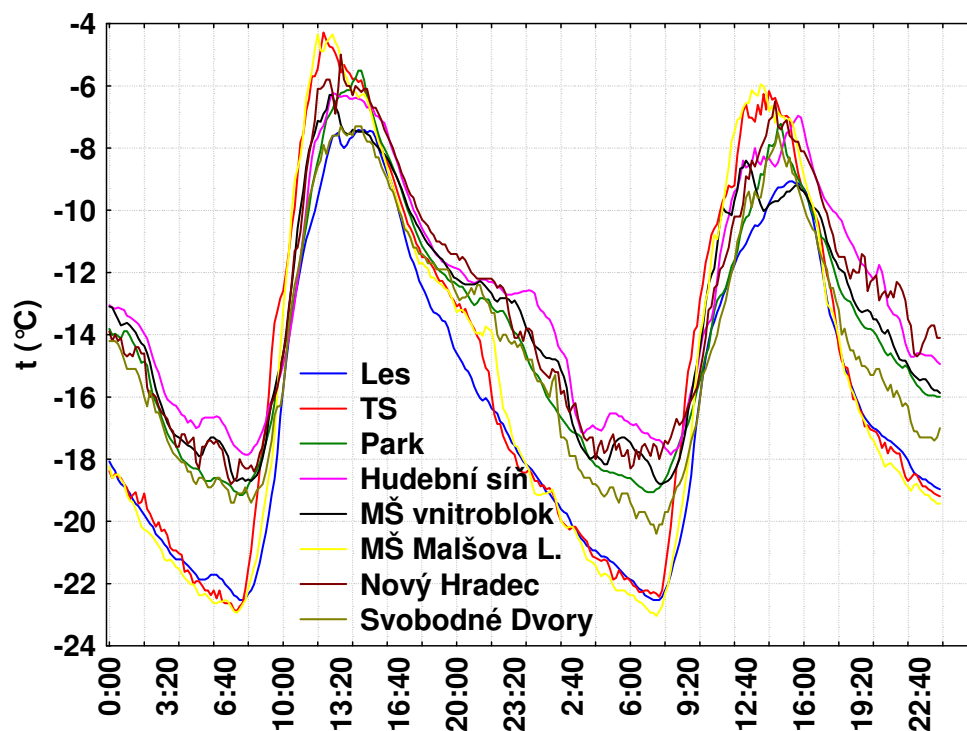


Obr. 6 Krabicový graf hodnot teplot vzduchu v chladném období

Krabicový graf (Obr. 6) uvádí teploty vzduchu během chladného období roku, eliminované o odlehle hodnoty. Nejchladnějším bodem z pohledu střední hodnoty, 2. a 3. kvartilu i minima je Les. V teplotním maximu dominuje TS, z důvodu výskytu velkých ploch tmavých umělých povrchů, které se i během mrazových období mohou intenzivně nahřívat vlivem slunečního záření.

I když nejsou tendence četnosti výskytu jednotlivých kategorií teploty tak zřejmé jako u teplého období, lze identifikovat odlišnosti i v tomto případě. U TS, Les a MŠ Malšova L. je proložení hodnot plošší s prodloužením směrem k nižším hodnotám (-22 až -24 °C). Naopak Hudební síň se vyznačuje výskytem vyšší četnosti vysokých hodnot. MŠ vnitroblok a Park se vyznačují obdobnou četností teplot vzduchu a tím i teplotním režimem během chladného období.

V Obr 7 je zachycen průběh teplot během nejchladnějších dvou dnů sledovaného období (11. a 12.2.2012). Zřetelně je vidět odlišný teplotní režim lokalit TS, MŠ Malšova L. a Les během nejchladnějších epizod, kdy jsou zde dosahovány nejnižší teploty vzduchu. Při vzestupu teplot během dne se pak TS a MŠ Malšova L. projevují opět extrémně a dosahují hodnot nejvyšších. Les zůstává nejchladnější lokalitou. V nočních hodinách s největším poklesem teplot je nejteplejší lokalitou Hudební síň. Důvodem jsou vyzářování a úniky tepla z vytápěných obytných prostor.



Obr. 7 Průběh teplot vzduchu během dvou nejchladnějších dnů v roce 2012

#### Závěr

V teplé části roku byly mezi lokalitami zjištěny rozdíly teplot vzduchu až 3,1 °C v průměrné teplotě za celé období, 7,7 °C v maximální teplotě a 4,9 °C v minimální teplotě vzduchu.

V teplé části roku byly teploty vzduchu v TS, Hudební síni a MŠ vnitroblok v maximech výrazně teplejší než Les, Park a MŠ Malšova L. Pozitivní termoregulační efekt vegetace, a to i dřevinné rozptýlené, je tak průkazný.

V chladném období se projevila absence vegetace a přítomnost umělých povrchů vysokými teplotními amplitudami u TS. Park měl amplitudu nízkou.

V chladném období se na lokalitách v centru města (Hudební síň, MŠ vnitroblok a Park) projevil na teplotních minimech vliv teplotního ostrova města. Teplotní minima lokalit v centru zdaleka nedosahovala úroveň okrajových stanic a byla o 1,3 až 5,1 °C vyšší.

#### Literatura

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.

Karl, T., Knight, R. (1997): The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence? Bull. Amer. Meteorol. Soc., 78, 6, s. 1107 – 1119.

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 using 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.