

ZMĚNA PRŮMĚRNÝCH TEPLOT VZDUCHU VE MĚSTĚ A MIMO MĚSTO ZA POSLEDNÍCH 65 LET

The change of mean air temperatures in the town and outside the town during the last 65 years

Střeščík J.

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha

Abstrakt

Klima ve městě se liší od klimatu v nejbližším okolí v mnoha směrech: ve městě bývá vyšší teplota vzduchu, nižší vlhkost vzduchu, mnohem větší je znečištění ovzduší apod. Město je jakýsi ostrov s odlišným životním prostředím. A protože města rostou, tak se všechny zmíněné rozdíly oproti jeho okolí neustále zvyšují. V tomto příspěvku je prezentována změna průměrných ročních, resp. sezonních, teplot vzduchu v centru Prahy (v Klementinu) a na jeho okraji (letišť Ruzyně) za období 1946–2009, zčásti též na letištích Tuřany a Mošnov za období 1951–2009. Průměrné roční teploty vzduchu na všech stanicích během sledovaného období vykazují kromě značného kolísání stálý růst, který je dán globálním oteplením. Teplota vzduchu v Klementinu však roste významně rychleji než v Ruzyni. Důvodem je zvyšující se produkce tepla uvnitř města, což vede k vyššímu růstu teploty vzduchu ve městě než v jeho okolí. V Tuřanech a v Mošnově (stanice mimo město) rostla teplota vzduchu stejně jako v Ruzyni. Sezonní teploty vzduchu (jaro, léto podzim) v Klementinu a v Ruzyni vykazují přibližně stejné zákonitosti jako teploty celoroční. Zimní teplota vzduchu však rostla rychleji než celoroční, především v Ruzyni, což znamená menší růst rozdílu mezi stanicemi než v jiných obdobích. Vyšší produkce tepla v zimě znamená dočasné rozšíření městského tepelného ostrova, který tak začíná zasahovat až do okolí letiště.

Klíčová slova: klima města, globální oteplení, růst teploty, sezonní změny

Abstract

The climate in the town differs from that in the nearest surroundings in many respects: in the town higher air temperature, lower air humidity, much higher air pollution etc. takes place. The town can be considered as an island with a different environment. Due to the increase of towns all mentioned differences between the town and its surroundings increase too. In this contribution the change of mean annual, and seasonal, air temperatures in the Prague center (Klementinum) and on its boundary (airport Ruzyně) during 1946–2009, partly on airports Tuřany and Mošnov during 1951–2009, will be presented. Mean air temperatures on all stations display, besides a considerable fluctuation, a stable increase given by the global warming. The temperature in Klementinum increases significantly more rapidly than in Ruzyně. The reason is the increasing heat production in the town, which leads to the increase of the temperature in the town more than in its surroundings. In Tuřany and Mošnov (stations outside the town) air temperature increased in the same extent as in Ruzyně. Seasonal temperatures (spring, summer, autumn) in Klementinum and Ruzyně display nearly the same regularities as annual temperatures. However, winter temperature increased more rapidly than the annual one, especially in Ruzyně, and this fact means that the difference between temperatures on these stations increases more slowly than in other seasons. Higher heat production in winter causes a temporary extension of the town warm island, which manifests itself even near the airport.

Key words: urban climate, global warming, temperature increase, seasonal changes

Úvod

Zabýváme-li se mikroklimatem, tedy klimatem v určitém malém omezeném území, nemůžeme opomenout města. V posledním století, a ještě více v posledních padesáti letech, lze pozorovat rychlý růst měst, především v rozvojových zemích. Klima ve městě se liší od klimatu v nejbližším okolí v mnoha směrech, což dokládá bohatá literatura (např. Brázdil and Budíková, 1999, Gams and Krevs, 1997, Jones et al., 2008, Kataoka et al., 2009, Stone, 2007). Ve městě bývá vyšší teplota vzduchu, nižší vlhkost vzduchu, mnohem větší je znečištění ovzduší apod. Čím větší je město, a čím méně je v něm zeleně a vodních ploch, které rozdíl mezi městem a okolím tlumí, tím jsou tyto rozdíl větší. (Fujibe, 2009, Hua et al., 2008, Járuegi, 2005, Lin and Yu, 2005). Důvodem těchto rozdílů je především větší produkce tepla ve městě a také větší produkce skleníkovatelných plynů ve městě. Ty se sice postupně rozptylují do okolí, nicméně ve městech stále zůstává jejich koncentrace vyšší, což znamená lokální zvýšení skleníkového efektu. Město je tedy jakýsi ostrov s odlišným životním prostředím, což má také dopad na život jeho obyvatel. A protože města rostou, tak se všechny zmíněné rozdílů oproti jeho okolí neustále zvyšují. Města rostou nejvíce v rozvojových zemích, proto je v těchto zemích také největší zájem o zkoumání městského tepelného ostrova ze všech hledisek, spolu s dopady na životní prostředí.

Efekt městského ostrova dělá starosti také klimatologům, když při sledování teploty vzduchu vycházejí z přístrojových měření. Na mnohých stanicích se teplota vzduchu soustavně sleduje už od 18. století. Jenže za tuto dobu se podmínky v místě měření podstatně změnilo. Před 200 lety byla města malá, rušivé vlivy a rozdíl mezi podmínkami ve městě a v okolí také. Nebyl proto důvod zřizovat stanice daleko od měst. Dnes jsou však mnohé z nich uvnitř městského ostrova a vzniká tak otázka, jak dalece lze porovnávat hodnoty měřené dnes s hodnotami měřenými před 100 či 200 lety. To znamená, jak dalece je pozorovaný růst teploty vzduchu opravdu způsoben globálním oteplením a jaká jeho část je efekt městského ostrova.

Materiál a metody

Použitá data pocházejí z databáze Climatic Research Unit, kam spolupracující meteorologické stanice zasílají svá data. Od nedávné doby jsou tato data k dispozici i na internetových stránkách ČHMÚ. Lze zde najít průměrné měsíční teploty měřené v pražském Klementinu od 18. století, a dále na několika dalších stanicích v České republice za nanejvýš dlouhá období od zhruba poloviny 20. století. Z nich jsme spočetli průměrné roční hodnoty a průměrné hodnoty v jednotlivých ročních obdobích.

Observatoř Klementinum se nachází v samotném středu města Prahy ve starém areálu univerzity ze 16. století, v nadmořské výšce 191 m a v zeměpisné šířce 50° 05'. Teplota vzduchu se zde měří nepřetržitě od roku 1775, teploměr je umístěn stále na téže místě a i když stanice nemá dnes požadované standardní provedení (např. budka ve výšce 2 m nad zemí), jsou zde naměřená data velmi cenná právě proto, že jde o nepřetržitou homogenní řadu.

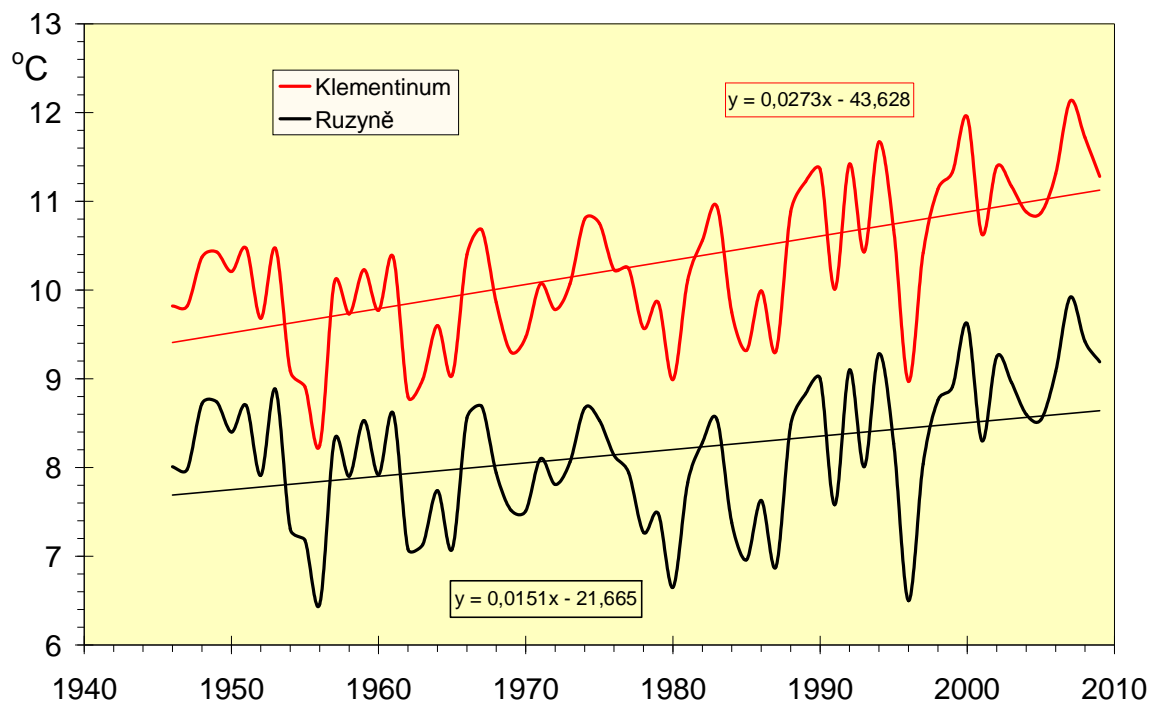
Observatoř v Ruzyni je umístěna na jižní okraji letiště na SZ okraji Prahy, tedy na návětrné straně, asi 2 km od nejbližší zástavby a 10 km od Klementina, v nadmořské výšce 364 m a v zeměpisné šířce 50° 06'. Zde se teplota vzduchu měří od r. 1946.

Observatoř Tuřany leží na východním okraji Brna na okraji letiště, asi 1,5 km od nejbližší nízké zástavby a 7 km od centra města, v nadmořské výšce 241 m a v zeměpisné šířce 49° 09'. Observatoř Mošnov leží nedaleko obce Mošnov na okraji letiště, asi 17 km vzdušnou čarou na jihozápad od Ostravy a 2 km od nejbližší nízké zástavby, v nadmořské výšce 251 m a v zeměpisné šířce 49° 41'. Data z obou těchto stanic jsou k dispozici od r. 1951.

Výsledky a diskuze

Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v Klementinu a v Ruzyni je ukázán na obr. 1. Vidíme především, jak je průběh na obou stanicích velmi podobný, korelační koeficient mezi ročními teplotami na obou stanicích je 0,95. Teplota v Klementinu je přibližně o dva stupně vyšší než v Ruzyni. To je dáno z větší části rozdílem v nadmořské výšce (Ruzyně je o 170 m výše). Nepodařilo se najít dvojici stanic s dostatečně dlouhou řadou pozorování tak, aby byla jedna umístěna ve městě a druhá v jeho blízkém okolí a ve stejné nadmořské výšce. Lze ovšem oprávněně předpokládat, že část rozdílu mezi teplotami v Klementinu a v Ruzyni je způsobena efektem městského tepelného ostrova.

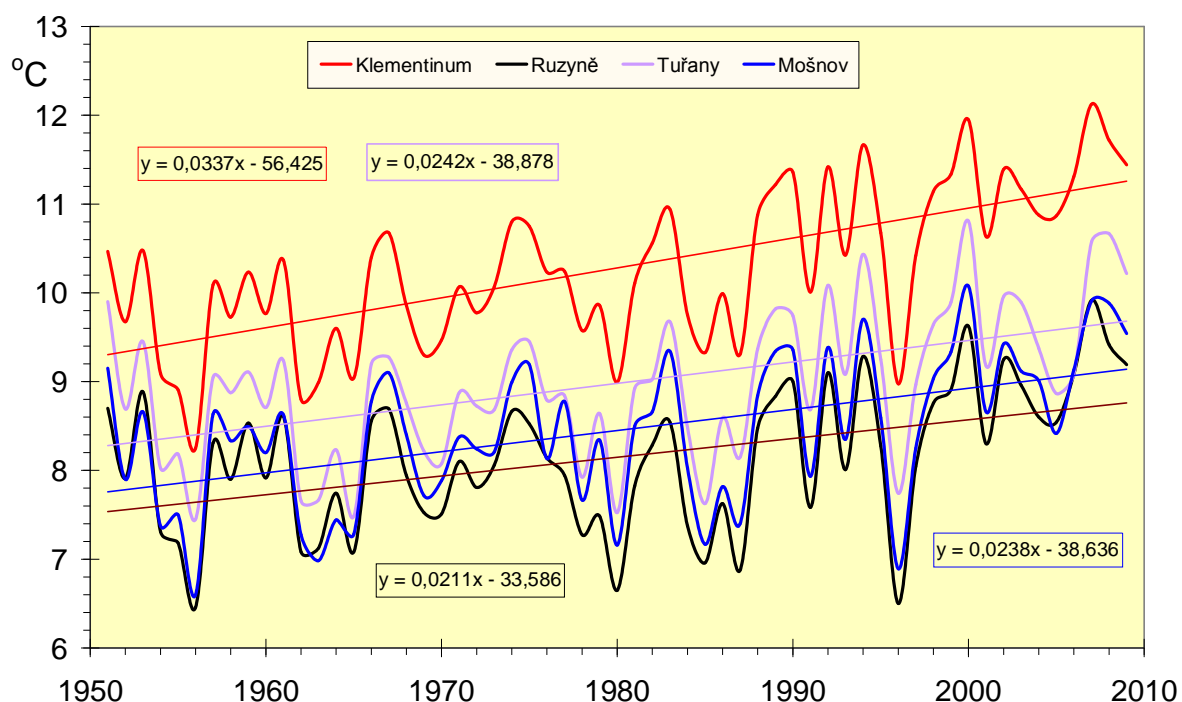
Teplota na obou stanicích vykazuje velké kolísání z roku na rok a kromě toho stálý růst, který odráží globální oteplení. Tento růst je aproximován přímkou, jejíž rovnice je též uvedena v obrázku. Na první pohled je vidět, že růst je rychlejší v Klementinu. Na počátku sledovaného období byl rozdíl mezi ročními teplotami mezi oběma stanicemi 1,78°C, na konci už 2,55°C (začátky a konce nakreslených regresních přímek). Právě tento rychlejší růst je důsledkem městského mikroklimatu, neboť zajisté produkce tepla a skleníkotvorných plynů ve městě se v průběhu sledovaného období zvýšila. Předběžně jako velmi hrubé přiblížení lze tedy konstatovat, že dodatečný vzrůst o 0,7°C v Klementinu by měl připadat na vrub zvýšení vlivu městského mikroklimatu v průběhu sledovaného období. Tato hodnota vcelku souhlasí s údaji v literatuře citované výše.



Obr. 1: Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letišti v Ruzyni v letech 1946-2009, dokresleny jsou regresní přímky.

Na dalším obrázku (obr. 2) jsou přibrány stanice Tuřany a Mošnov. Zde použité období však začíná později, proto i rovnice zde uvedených regresních přímek pro Klementinum a Ruzyni je poněkud jiná, než jaká je uvedena na obr. 1. Opět je průběh teplot na všech stanicích sobě velmi podobný, příslušné korelační koeficienty jsou velmi vysoké a pohybují se mezi 0,95 až 0,97 pro všechny kombinace stanic. Celkově je teplota v Tuřanech

i v Mošnově o málo vyšší než v Ruzyni vzhledem k nižší nadmořské výšce (výškový rozdíl mezi stanicemi Tuřany a Mošnov je nepatrný, Ruzyně však leží o více než 100 m výše). V Tuřanech je teplota o něco málo vyšší než v Mošnově vzhledem k nižší zeměpisné šířce (o jeden stupeň) a orientaci okolního terénu (v okolí Tuřan otevřená rovina k jihu, v okolí Mošnova k severu). Avšak v Klementinu je teplota stále mnohem vyšší než na těchto dvou stanicích, přestože výškový rozdíl mezi nimi a Klementinem je malý (50-60 m) a zeměpisná šířka Klementina a Mošnova je prakticky stejná. Opět jde o důsledek městského efektu, protože Tuřany a Mošnov, stejně jako Ruzyně, se na rozdíl od Klementina nacházejí u letiště, daleko od městské zástavby. Proto je také růst teplot na všech třech stanicích mimo město stejný, regresní přímky se velmi málo liší od rovnoběžek, pouze v Klementinu je pozorován růst rychlejší. Kdyby neexistoval městský tepelný ostrov, očekávali bychom v okolí Klementina vzhledem k nadmořské výšce teploty o něco málo vyšší než v Mošnově, asi tak podobné jako v Tuřanech, a jejich růst za sledované období stejný jako na všech stanicích mimo město.

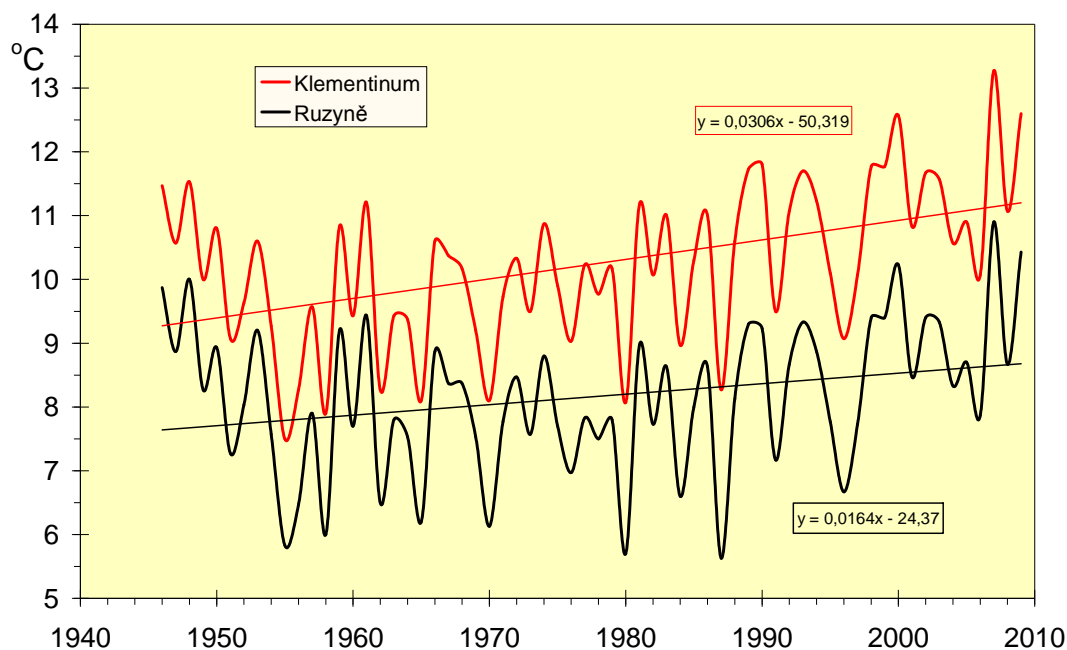


Obr. 2: Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letištích v Ruzyni, v Tuřanech a v Mošnově v letech 1951-2009, dokresleny jsou regresní přímky.

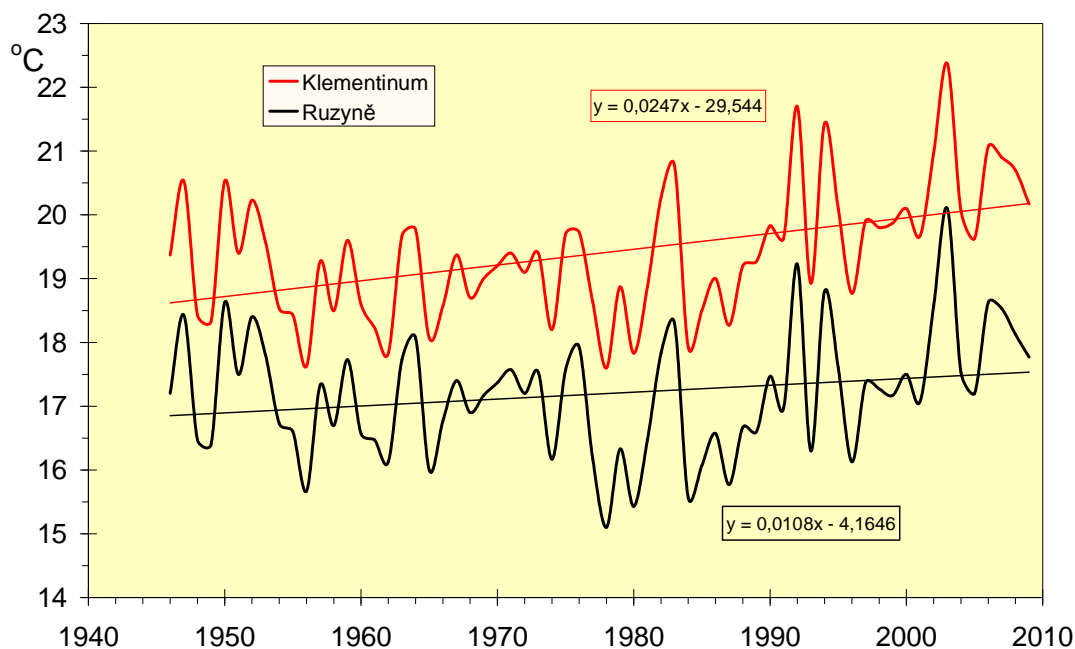
Na dalších čtyřech obrázcích (obr. 3 – 6) je uveden průběh teplot vzduchu na stanicích Klementinum a Ruzyně v jednotlivých ročních obdobích. Definujeme jaro = březen + duben + květen, léto = červen + červenec + srpen, podzim = září + říjen + listopad a zima = leden + únor + prosinec předcházejícího roku. Vertikální škála na obrázcích pro jaro, léto a podzim (obr. 3 – 5) je stejná a činí 9 stupňů. Na obr. 6 pro zimní období je však větší, 14 stupňů, protože zimní teploty kolísají z roku na roku mnohem více než teploty v jiných ročních obdobích.

Z obrázků a z následujících tabulek lze vyčíst trojí informaci: rozdíl mezi teplotami v Klementinu a v Ruzyni (tj. odstup mezi regresními přímkami), celkový růst teplot (tj. sklon regresních přímek), a konečně rozdíl mezi růstem teplot na obou stanicích (tj. úhel mezi oběma regresními přímkami, protože vlivem rozdílného růstu nejsou tyto přímky rovnoběžné).

Na jaře (obr. 3) je pozorován růst teploty vzduchu o něco rychlejší než pro celoroční průměr. Rozdíl mezi teplotami v Klementinu a v Ruzyni (tedy odstup mezi regresními přímkami) je však přibližně stejný jako pro celoroční průměr, a to jak na začátku období, tak na jeho konci. To znamená, že i rozdíl v rychlosti růstu mezi oběma stanicemi je stejný jako pro celoroční průměry.



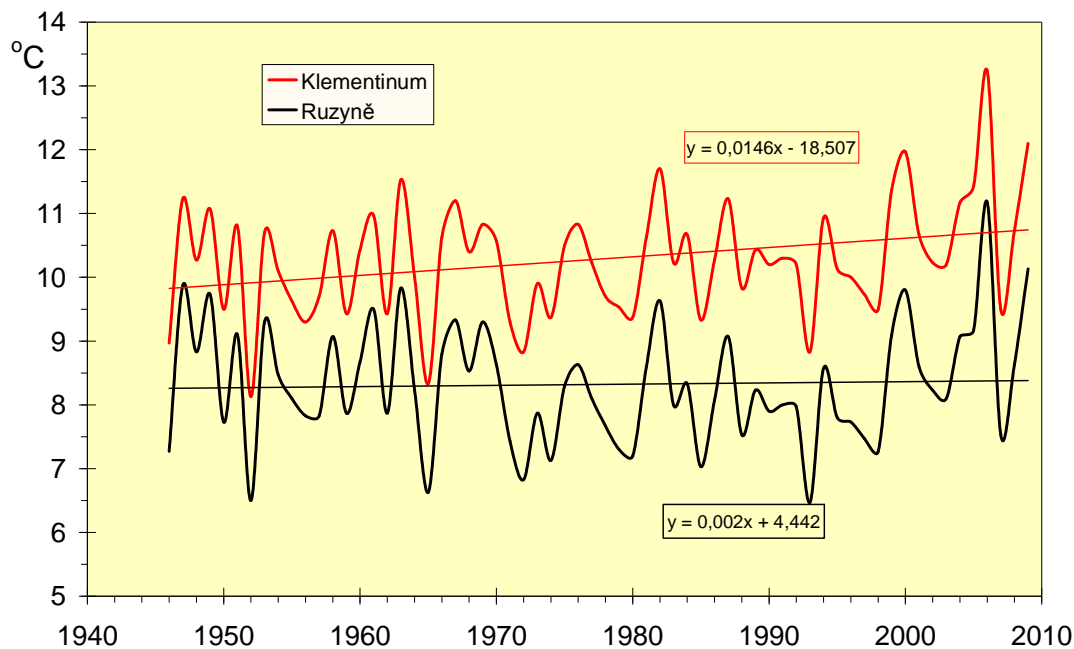
Obr. 3: Průběh průměrných jarních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letišti v Ruzyni v letech 1946-2009, dokresleny jsou regresní přímkami.



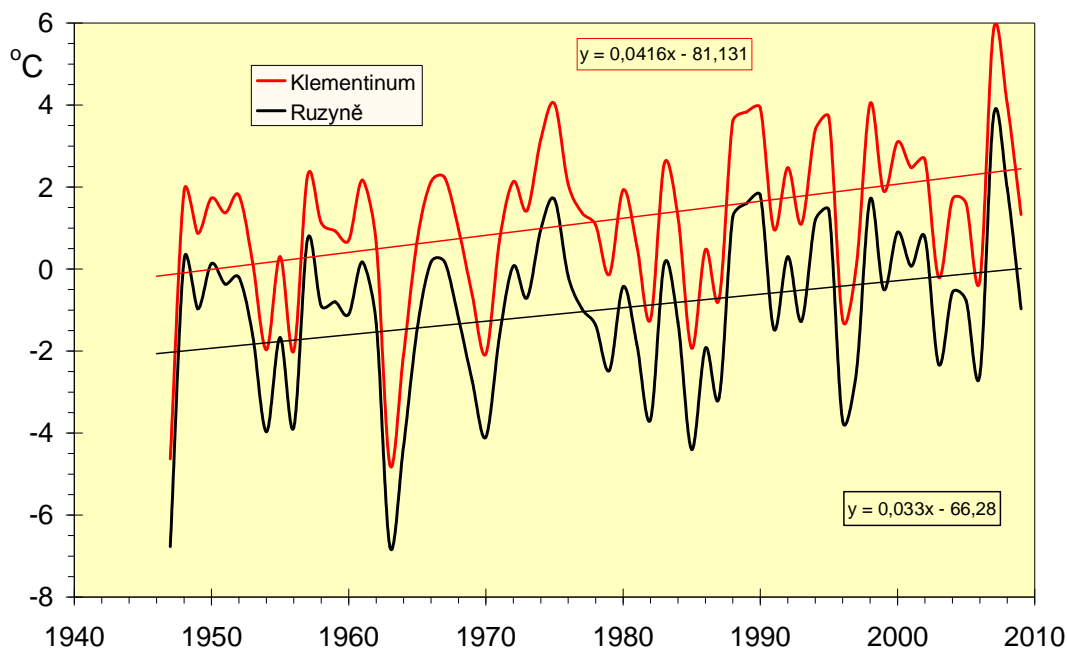
Obr. 4: Průběh průměrných letních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letišti v Ruzyni v letech 1946-2009, dokresleny jsou regresní přímkami.

V létě (obr. 4) je pozorován růst teploty vzduchu o něco pomalejší než pro celoroční průměr. Vše ostatní je stejné jako na jaře.

Na podzim (obr. 5) rostla teplota vzduchu mnohem pomaleji než v ostatních ročních obdobích. Nicméně rozdíly mezi Klementinem a Ruzyní jsou opět stejné jako na jaře a v létě.



Obr. 5: Průběh průměrných podzimních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letišti v Ruzyni v letech 1946-2009, dokresleny jsou regresní přímky.



Obr. 6: Průběh průměrných zimních teplot vzduchu v pražském Klementinu a na letišti v Ruzyni v letech 1946-2009, dokresleny jsou regresní přímky.

V zimě (obr. 6) je situace zcela jiná. Kromě již zmíněného většího kolísání je pozorován mnohem rychlejší růst teploty vzduchu na obou stanicích. Rozdíl mezi teplotami v Klementinu a v Ruzyni byl na počátku období větší, na konci období menší než pro celoroční průměry. I tak ovšem roste teplota vzduchu v Klementinu rychleji než v Ruzyni, ale tento rozdíl je menší než v jiných ročních dobách. Teplota vzduchu v Ruzyni jako by se snažila dohonit růst teploty v Klementinu. To je dáno právě produkcí tepla uvnitř města a v menší míře i v jeho okolí, která je jistě v zimě mnohem větší než v jiném období. Totéž platí i pro skleníkotvorné plyny, kde navíc ke zvýšení jejich koncentrace ve městě a v nejbližším okolí přispívají horší rozptylové podmínky v zimě. Jak město v průběhu desetiletí roste (především co do rozsahu území), zvyšuje se rychle tato produkce a oteplení zasahuje stále více i do vzdálenějších předměstí a blízkého okolí. V teplejších ročních obdobích je tento efekt mnohem slabší. Toto vše pak přispívá k tomu, že rozdíl mezi teplotou v Klementinu (v centru města) a v Ruzyni (na okraji města) roste v zimě pomaleji než v ostatních ročních obdobích, tedy že městský tepelný ostrov je v zimě větší. Sezonních změn efektu městského tepelného ostrova si všimá poměrně málo autorů, všichni uvádějí silnější vliv na růst teploty vzduchu právě v zimě (Brázdil and Budíková, 1999, Hua et al., 2008)

V následující tabulce (tab. 1) jsou přehledně vypsány průměrné teploty v letech 1946 a 2009 (podle začátků a konců regresních přímk), rozdíly mezi oběma stanicemi a vzrůst teplot za sledované období. Uvedené číselné hodnoty poukazují na některé malé rozdíly, které nemusí být na obrázcích viditelné. V tabulce není roční hodnota rovna průměru za uvedená čtyři roční období, to je proto, že roční hodnota je spočtena za kalendářní rok, ale zimní platí pro leden+únor+prosinec loňského roku.

Tab. 1. Přehled průměrných ročních a sezonních teplot vzduchu v Klementinu a v Ruzyni a vzrůst teplot za posledních 65 let.

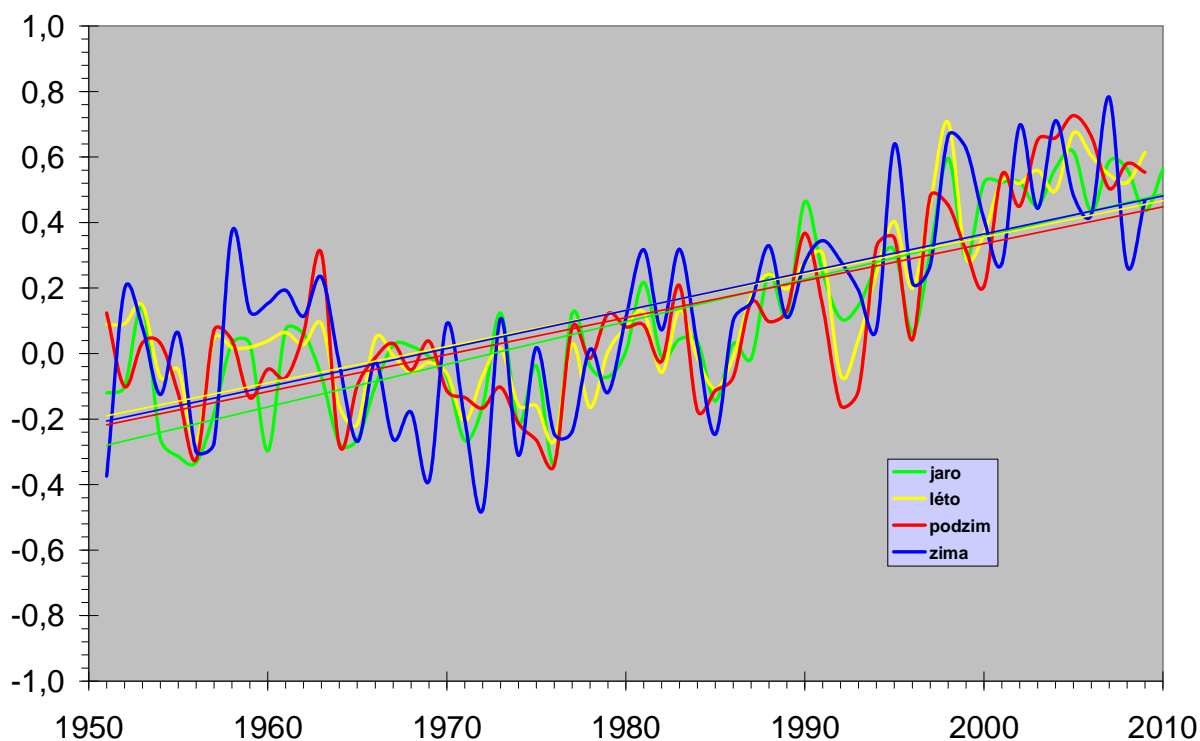
	Teplota 1946			Teplota 2009			Vzrůst teploty		
	Klem	Ruz	Kle-Ruz	Klem	Ruz	Kle-Ruz	Klem	Ruz	Kle-Ruz
Rok	9,50	7,72	1,78	11,22	8,67	2,55	1,72	0,95	0,77
Jaro	9,23	7,54	1,68	11,16	8,58	2,58	1,93	1,03	0,89
Léto	18,52	16,85	1,67	20,08	17,53	2,55	1,56	0,68	0,88
Podzim	9,90	8,33	1,57	10,82	8,46	2,36	0,92	0,13	0,79
Zima	-0,18	-2,06	1,88	2,44	0,02	2,43	2,62	2,08	0,54

Tab. 2. Přehled průměrných ročních a sezonních teplot vzduchu v Tuřanech a v Mošnově a vzrůst teplot za posledních 60 let.

	Teplota 1951		Teplota 2009		Vzrůst teploty	
	Tuřany	Mošnov	Tuřany	Mošnov	Tuřany	Mošnov
Rok	8,34	7,80	9,74	9,18	1,40	1,38
Jaro	8,14	7,23	10,13	9,22	1,99	1,99
Léto	17,38	16,68	19,17	18,44	1,79	1,76
Podzim	8,93	8,51	9,48	9,05	0,55	0,54
Zima	-1,61	-1,71	-0,21	-0,19	1,40	1,38

V další tabulce (tab. 2) jsou uvedeny obdobné hodnoty pro stanice Tuřany a Mošnov s tím, že počátek období je v roce 1951. Rozdíly mezi těmito stanicemi jsou i přes poměrně velkou vzdálenost nepatrné. Rozdíly mezi ročními obdobími jsou podobné jako pro stanice pražské. V zimě je však růst teploty značně pomalejší než v Ruzyni a nepřesahuje celoroční průměr. To proto, že k těmto stanicím nedosahuje zimní rozšíření městského tepelného ostrova, jako je tomu v Ruzyni. Nejbližší město je mnohem menší a stanice je od něho dále.

Na posledním obrázku (obr. 7) je pro porovnání uveden průběh průměrné teploty pro celou severní polokouli v jednotlivých ročních obdobích 1951-2009. Všechny teploty jsou přepočteny vzhledem k normálu 1961-1990, takže průměr za těchto 30 let je roven nule. Ukazuje se, že nejsou téměř žádné rozdíly mezi jednotlivými ročními dobami. Krátkodobé nepravidelné kolísání je sice v každé roční době jiné, avšak v dlouhodobém měřítku roste teplota vzduchu stále stejně bez ohledu na roční dobu. Průměr je počítán ze stanic, které nejsou ovlivněny městským mikroklimatem a tudíž rychlejší růst teploty vzduchu v zimě, jaký je nápadný v Klementinu, se zde nepozoruje.



Obr. 7: Průběh průměrných sezonních teplot vzduchu pro severní polokouli v letech 1951-2009, dokresleny jsou regresní přímky.

Závěr

Města v naší zemi včetně Prahy nerostou zdaleka tak rychle jako mnohá města v rozvojových zemích, alespoň co se týče počtu obyvatel. Jistý vzrůst za posledních 64 let je však přesto patrný. Více než samotný vzrůst počtu obyvatel však podstatně vzrostla zastavěná plocha, města se stále rozšiřují a zabírají pozemky ve svém okolí. Mimo to se změnil způsob života obyvatel – v současnosti se spotřebovává více energie a produkuje více skleníkovatelných plynů, než tomu bylo při stejném počtu obyvatel před 64 lety. Toto vše přitom na větší ploše, tedy včetně bývalých malých obcí v okolí města. Ty se tak stávají součástí města se všim všudy. Především na jejich území je produkováno více tepla

a skleníkotvorných plynů než před jejich zastavením a plocha městského tepelného ostrova se tak dále rozšiřuje. Důsledkem toho všeho je rychlejší růst průměrné teploty vzduchu ve městě, rychlejší než by odpovídalo vzrůstu způsobenému globálním oteplením. Tento rozdíl se projevuje více v zimě, kdy je produkce tepla a skleníkotvorných plynů větší. Navíc v zimě je rychlejší růst pozorován i v blízkém okolí, což znamená, že městský tepelný ostrov je v tomto období plošně větší. Do budoucna je třeba počítat s rostoucím rozdílem mezi klimatem ve městě a ve venkovské krajině, což bude dáno rostoucím počtem obyvatel ve městě (byť jen o málo), rozšířením zastavěné plochy a zvýšením spotřeby energie, a to vše bude mít nepříznivé důsledky na život ve městě. Tento nežádoucí vývoj lze omezit snížením spotřeby energie a rozšířením zelených a vodních ploch ve městě, které účinky vyšší teploty zmírňují.

Použitá literatura

- Brázdil, R., Budíková, M. (1999): An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech Republic. *Atmospheric Environment* 33, 4211-4217.
- Fujibe, F. (2009): Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan. *International Journal of Climatology* 29, 1811-1822.
- Gams I., Krevs M. (1997): Mestská klima na Slovenskem. *Geografski Obzor* 44, 20-23.
- Hua, L.J., Ma, Z.G., Guo, W.D. (2008): The impact of urbanization on air temperature across China. *Theoretical and Applied Climatology* 93, 179-194.
- Járuegi E. (2005): Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmosfera* 18 (4), 249-252.
- Jones, P.D., Lister, D.H., Li, Q. (2008): Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis on China. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres* 113 (16), art. No D16122.
- Kataoka, K., Matsumoto, F., Ichinose, T., Taniguchi, M. (2009): Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. *Science of the Total Environment* 407, 3112-3119.
- Lin X.-C., Yu, S.-Q. (2005): Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. *Chinese Journal of Geophysics (Acta Geophysica Sinica)* 48 (1), 39-45.
- Stone Jr., B. (2007): Urban and rural temperature trends in proximity to large US cities: 1951-2000. *International Journal of Climatology* 27, 1801-1807.

Zdroje dat:

Údaje o teplotách vzduchu na stanicích v ČR: <http://www.chmi.cz> → informace pro vás → historická data → ČHMÚ data v databázi CRU → datový soubor (otevřít v Excelu)
Teplota na severní polokouli: <http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/index.html> → Northern hemisphere (otevřít ve WordPad)

Kontaktní adresa:

RNDr. Jaroslav Střeštík, CSc., Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4, e-mail: jstr@ig.cas.cz .