

PŘÍSPĚVEK KE STUDIU MĚSTSKÉHO KLIMATU V BRNĚ

Tomáš Litschmann¹, Jaroslav Rožnovský²

¹ AMET, Žižkovská 1230, Velké Bílovice, ČR

² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67, Brno, ČR

Tel.: 00 420 541 421 020, e-mail: roznovsky@chmi.cz

Abstract:

Contribution to the study of town climate in Brno. In the article, there are quoted the possibilities of new technical means for measurement of meteorological elements in town agglomerations with the transmission of data in real time according to the needs of the user. Significant differences between the city and its environs are above all for maximum air temperatures, and in certain circumstances they can exceed up to 4°C. The number of summer and tropical days greatly increases, which can play a basic role e.g. in quantification of hot waves, whose frequency will probably in future increase. With respect to the evaluation of one vegetation period, it cannot be unambiguously claimed that the results are representative. On the other hand, some properties have manifested themselves, that are characteristic of the difference in weather between the town and its surroundings.

KEY WORDS: measurement, air temperatures, air humidity, urban heat island,

Abstrakt:

V článku je jsou uvedeny možnosti nových technických prostředků při měření meteorologických prvků v městských aglomeracích s přenosem údajů v reálném čase podle potřeb uživatele. Výrazné rozdíly mezi městem a jeho okolím jsou především u maximálních teplot vzduchu, za určitých situací mohou přesáhnout až 4 °C. Výrazně se tak zvyšuje počet letních a tropických dnů, což může hrát podstatnou roli např. při kvantifikaci horkých vln, jejichž četnost se bude pravděpodobně v budoucnosti zvyšovat. S ohledem na hodnocení za jedno vegetační období nelze jednoznačně tvrdit, že výsledky jsou reprezentativní. Na druhé straně se však projeví některé vlastnosti, charakteristické pro rozdíl povětrnosti mezi městem a jeho okolím.

KLÍČOVÁ SLOVA: měření, teploty vzduchu, vlhkost vzduchu, klima města

Úvod

Velikost jednotlivých členů rovnice energetické bilance v zastavěném území a jejich vzájemný poměr se do určité míry odlišuje od okolní venkovské krajiny, což se projevuje v poněkud rozdílném chodu a velikosti jednotlivých meteorologických prvků. Pro tuto modifikaci, projevující se především v teplotě vzduchu, se v literatuře vžilo označení „tepelný ostrov města“ (urban heat island, UHI). Předpokládá se, že teplota směrem k centru měst se zvyšuje v závislosti na tom, jak se zvyšuje hustota zástavby. Příčiny, proč se tak děje, shrnuje např. Voogt (2002) a patří k nim především:

- 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 vedou k 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.

Studiu tepelného ostrova měst, popřípadě komplexnějšího působení městského prostředí na jednotlivé meteorologické prvky včetně znečištění ovzduší, se věnovala zvýšená pozornost především v období od 50. let minulého století, kdy s rozvojem industrializace začaly nabývat tyto projevy na závažnosti. K problematice zjišťování rozlohy a intenzity tepelného ostrova města lze přistupovat v zásadě dvěma způsoby. Poměrně rychlé výsledky mohou poskytovat tzv. měřící jízdy, jejichž tradici započal ve Vídni v roce 1927 W. Schmidt, při nichž se zpočátku používalo k měření teploty staničního teploměru upevněného na čelním skle auta. Teprve však až s rozvojem elektrických teploměrů s menší setrvačností bylo možno tuto metodu využít k získání praktických výsledků. U nás tuto metodu používal při mezoklimatickém výzkumu měst (m.j. i Brna) a volné krajiny E. Quitt (viz např. Quitt, 1972, 1956), ze zahraničních pramenů přibližně ze stejného období lze citovat práci J. Kopce (1970). Tato měření lze provádět za vybraných povětrnostních situací, při nichž se tepelný ostrov města projevuje nejvýrazněji, tj. nejlépe při radiačním režimu počasí s nízkými rychlostmi větru a jasnou oblohou. V současnosti mohou být vhodným pomocníkem při tomto způsobu výzkumu infračervené letecké snímky, znázorňující povrchovou teplotu jednotlivých objektů, jak dokládá např. práce Estec et al. (1999).

Druhou z možností, jak získat relevantní informace o vlivu městské zástavby na modifikaci vybraných meteorologických prvků, je zřízení účelové sítě stanic na vybraných místech zkoumané lokality, popřípadě v jejím okolí. V 80-tých letech XX. století prováděla Katedra geografie UJEP měření v malých meteorologických budkách vybavených termografem, hygrografem a Augustovým psychrometrem na několika místech brněnské aglomerace. Na obr. 1 je archivní snímek jedné ze sítě těchto stanic umístěné v botanické zahradě Přírodovědecké fakulty na Kotlářské ulici. Ukázkou zpracování relativně rozsáhlé sítě monitorovacích bodů lze nalézt v práci Hinkela a kol. (2003), v níž



Obr. 1 – odečet údajů ze stanice v botanické zahradě Přírodovědecké fakulty v roce 1981

jsou zpracovány výsledky z 54 stanovišť vybavených registrátory HOBO rozmístěných v lokalitě Barrow na Aljašce během zimní sezóny 2001/2002.

Pro poznání podrobnějších zákonitostí vytváření a projevu tepelného ostrova města je výhodnější druhá metoda, umožňující dlouhodobější monitorování za rozdílných povětrnostních situací. Právě rozdílné synoptické situace a jejich vliv na intenzitu tepelného ostrova Prahy na základě měření v Klementinu a na stanicích ve volné krajině jsou zpracovány v práci Beranové a Hutha (2003) Je zde rovněž konstatováno, že průměrná intenzita tepelného ostrova Prahy se zvyšuje v průměru o 1,2 °C za 100 let.

Z hlediska této práce a jejích historických souvztažností stojí za zaznamenání poznámka,

uváděná v práci Kršky a Šamaje (2001), že již v roce 1863 referoval G.J. Mendel v práci *Bemerkungen zu der graphisch-tabellarischen Uebersicht der meteorologischen Verhältnisse von Brünn* o experimentálně zjištěném faktu, že v centru města je teplota vzduchu vyšší než na jeho okraji. Problému městského ostrova tepla si tak Mendel všiml jako první vědec rakouské monarchie, a to téměř čtvrt století před Juliem von Hannem,

Cíl práce:

V rámci zachování reprezentativnosti časových řad meteorologických prvků z hlediska makroklimatu docházelo v minulosti postupně k přesunu klimatologických stanic z centrálních částí měst na jejich periferie, popřípadě úplně mimo městskou zástavbu. Z brněnských stanic tak ukončila činnost stanice Brno – Květná již v roce 1972, stanice Brno – Kraví hora v roce 1984. Prakticky celá profesionální síť stanic ČHMÚ, předávající povětrnostní informace v pravidelných časových intervalech a dodávající podkladové informace pro sdělovací prostředky, se nachází ve volné krajině, na letištích anebo na pobočkách ústavu v okrajových čtvrtích. Jak se pokusíme ukázat, údaje z těchto lokalit se mohou značně odlišovat od poměrů panujících ve městech, v nichž však žije a pracuje značná část našeho obyvatelstva.

Jako první krok, směřující k obnovení výzkumu sledování meteorologických podmínek v centru města Brna, navázání na tradici meteorologických pozorování přerušovaných úmrtím G.J. Mendela a současně jako propagace meteorologie byla v březnu roku 2005 vybudována meteorologická stanice v areálu Opatství sv. Tomáše na Mendlově náměstí v Brně. Má zároveň návštěvníkům Mendel Centra sídlícího tamtéž připomenout, že G.J. Mendel nebyl jenom „zakladatelem genetiky“, jak je většina odborné i laické veřejnosti přesvědčena, nýbrž současně i pečlivým pozorovatelem meteorologických prvků a počasí vůbec, o čemž svědčí jeho bohatá publikační činnost na toto téma.

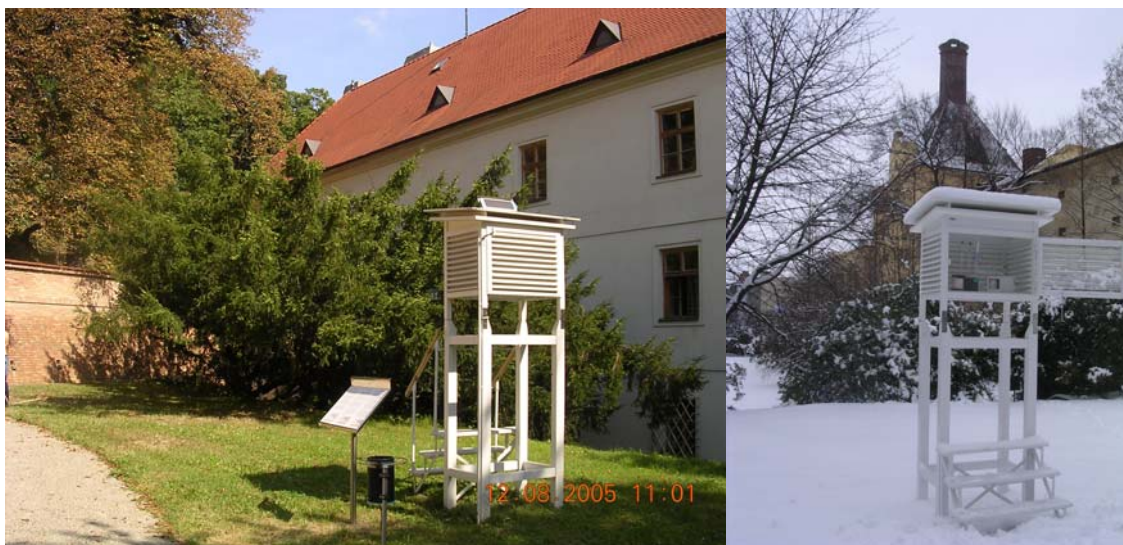
Cílem předložené práce je porovnání charakteristik průběhu teploty a vlhkosti vzduchu a atmosférických srážek za vegetační období roku 2005 na této stanici umístěné v centru města s profesionálními stanicemi ČHMÚ umístěnými na letišti v Tuřanech a na pobočce sídlící na Kroftově ulici.

Popis meteorologické stanice v areálu opatství

Nově vybudovaná meteorologická stanice má přístroje umístěny v meteorologické žaluziové budce, jediný rozdíl oproti „klasické“ budce spočívá v tom, že žaluzie na dvířkách jsou zhotoveny z průhledného plexiskla, aby si návštěvník mohl prohlédnout vnitřní vybavení. To se skládá jednak ze standardních přístrojů (termograf, hygrograf, Augustův psychrometr, vlasový vlhkoměr, maximální a minimální teploměr) běžně používaných ve staniční síti, jednak z automatické části, která ve čtvrt hodinových intervalech měří a zaznamenává údaje o teplotě a vlhkosti vzduchu, množství srážek a vlhkosti půdy. Celé zařízení je koncipováno tak, že umožňuje prostřednictvím sítě GSM předávat naměřené údaje na libovolné místo několika způsoby:

- přes mobilní telefon vybavený modemem a připojený k počítači – nejnákladnější řešení, poplatky platí příjemce dat jako běžný telefonní hovor. Vhodný způsob k ovládnutí stanice „on-line“, umožňující nastavování jednotlivých parametrů měření, synchronizaci času apod.
- prostřednictvím E-mailu – po zaslání E-mailu na adresu stanice s vhodnou posloupností klíčových slov stanice pošle na E-mailovou adresu odesílatele údaje za stanovené období. Náklady jsou na účet SIM karty umístěné ve stanici, tazatel platí pouze případný poplatek za odeslání a přijetí E-mailu.
- pomocí zpráv SMS – zašleme-li stanici SMS v určitém tvaru, odpoví nám rovněž SMS zprávou obsahující aktuální hodnoty naměřených veličin. Náklady hradí jak odesílatel SMS zprávy, současně je odečtena určitá částka ze SIM karty stanice za běžnou textovou zprávu. Tento způsob přenosu je vhodný zejména při porovnávání údajů ze stanice s klasickými přístroji, kdy pozorovatel při příchodu ke stanici si může odečíst hodnoty na teploměru a vlhkoměru a porovnat s tím, co naměřila automatická stanice.
- pravidelná aktualizace (např. po každém měření, v hodinových intervalech, po dnech apod.) údajů na webovém serveru. Lze tak mít na internetu k dispozici aktuální údaje o daných meteorologických veličinách prakticky okamžitě po jejich naměření. Hradí se jak časté odesílání zpráv ze stanice, tak i případně provoz webového serveru.

- stanice může být rovněž trvale připojena do sítě Internetu pod pevnou IP adresou a uživatel může mít tak s ní nepřetržitý kontakt, jedná se však o nejnákladnější řešení, kdy je zapotřebí v současné době hradit tarifní poplatek, poplatek za pevnou IP adresu a za přenesená data.



Obr. 2 – pohled na umístění meteorologické stanice v areálu opatství

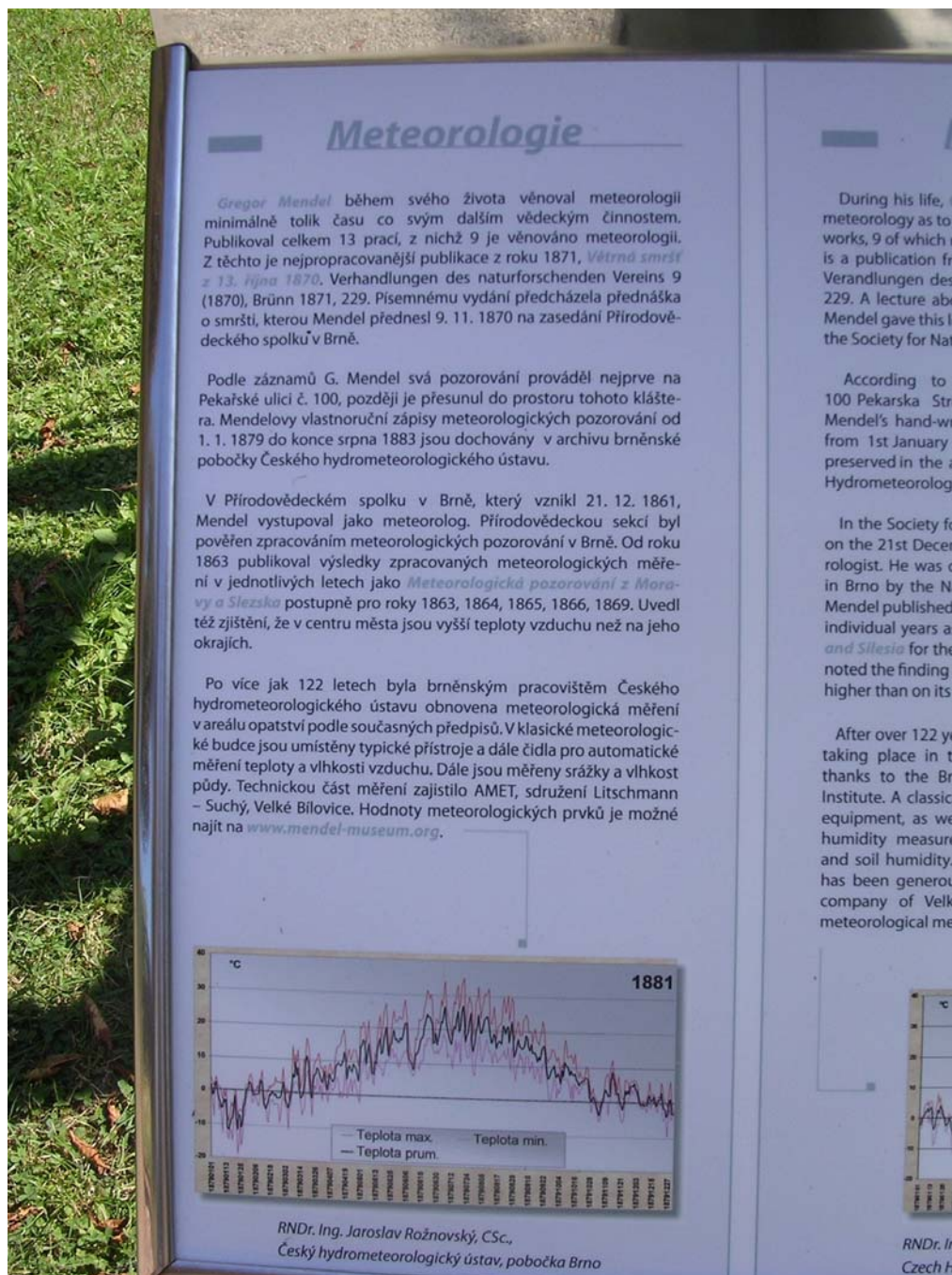
Lze tak mít k dispozici některým z výše uvedených způsobů informace o průběhu meteorologických prvků v potřebném okamžiku na potřebném místě bez ohledu na vzájemné poloze pozorovatele a stanice.

Napájení stanice je prostřednictvím solárního panelu (výkon cca 2 W), který nabíjí akumulátor s kapacitou 7 Ah. Tím je zajištěna nezávislost na přítomnosti elektrické sítě, neumožňuje to však zajištění vyhřívání srážkoměru a registraci tuhých srážek.

Nedílnou součástí meteorologické stanice v areálu opatství je i informační panel (viz. obr. 3), seznamující návštěvníka ať už v rámci organizované prohlídky anebo při individuální návštěvě s významem G.J. Mendela pro moravskou meteorologii.

Referenční stanice

K porovnání údajů naměřených stanicí na Mendlově náměstí jsme použili dvojici profesionálních stanic, přičemž stanice Brno – Tuřany (nadm. výška 241 m), nalézající se na brněnském letišti (obr. 4), reprezentuje volnou rovinatou krajinu a stanice Brno – Žabovřesky (Kroftova ul.) s nadm. výškou 235 m reprezentuje okrajovou zástavbu metropole s převážně přízemními až jednopatrovými rodinnými domky. Obě stanice jsou vybaveny automatickými měřicími systémy, umožňující zaznamenávat údaje několikrát za hodinu. Na letišti se jedná o systém firmy Vaisala, v Brně – Žabovřeskách je to výrobek firmy Meteoservis.



Obr. 3 – informační panel umístěný u meteorologické stanice v areálu opatství



Obr. 4 – Pohled na meteorologickou stanici na letišti v Brně – Tuřanech, automatická část stanice je za VPD.

Výsledky zpracování

Teplotní poměry

Vliv městské zástavby na teplotní poměry byl studován pomocí těchto charakteristik:

- průměrná denní teplota vzduchu
- minimální denní teplota vzduchu
- maximální denní teplota vzduchu
- suma aktivních teplot nad 5 a 10 °C
- počet letních dnů
- počet tropických dnů

Průměrná denní teplota vzduchu:

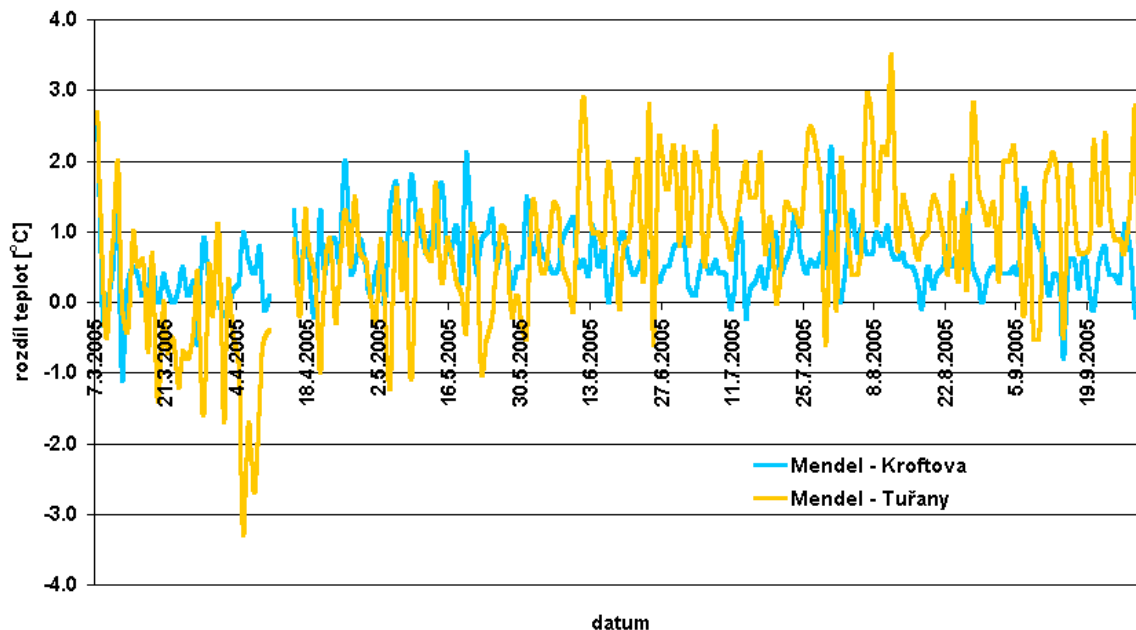
Rozdíly v průměrných denních teplotách vzduchu mezi stanicí na Mendlově náměstí a referenčními stanicemi lze pozorovat na obr. 5. Jak lze předpokládat, menší rozdíly jsou mezi „městskými“ stanicemi, kde je průměrná odchylka za období IV - IX pouze 0,4 °C, kdy teplejší je stanice na Mendlově náměstí, zatímco mezi touto stanicí a Tuřany je již rozdíl 1,3 °C. Velikost tohoto rozdílu se mění v závislosti na povětrnostních podmínkách a roční době, v letních měsících jsou tyto rozdíly výraznější. Jen v několika dnech na konci března a začátku dubna byla průměrná denní teplota na letišti vyšší než ve městě. Společnou charakteristikou těchto dní byla poměrně nízká hodnota relativní vlhkosti vzduchu, která se v průměru pohybovala okolo 40 %, minimální hodnoty se však pohybovaly od 24 do 28 % na Mendlově náměstí, v Žabovřeskách dokonce jenom od 14 do 22 %. Ztráta tepla efektivním vyzařováním tak byla zřejmě vyšší v zastavěném prostoru než na volném prostranství, což se projevilo i v minimálních teplotách (viz. níže).

Minimální denní teplota vzduchu:

V případě denních minimálních teplot vzduchu (obr. 6) se projevuje větší rozkolísanost jejich rozdílu mezi letištěm a Mendlovým náměstím, zejména pak v jarním období se často vyskytují případy, kdy minimální teplota na letišti je vyšší než ve městě. Je to způsobeno nižšími rychlostmi větru v zastavěném území, kdy v nočních hodinách převažuje ztráta tepla efektivním vyzařováním, zatímco v případě otevřenější polohy na letišti je částečně nahrazována turbulentními toky. Opět lze poukázat na situaci z počátku dubna, kdy za nízkých vlhkostí vzduchu rozdíl v minimálních teplotách činil až 3 °C. V letním období, kdy již akumulace tepla v budovách v průběhu dne v důsledku insolace zmírňuje noční vyzařování, se rovněž prohlubují i rozdíly v minimálních teplotách a střed města se stává

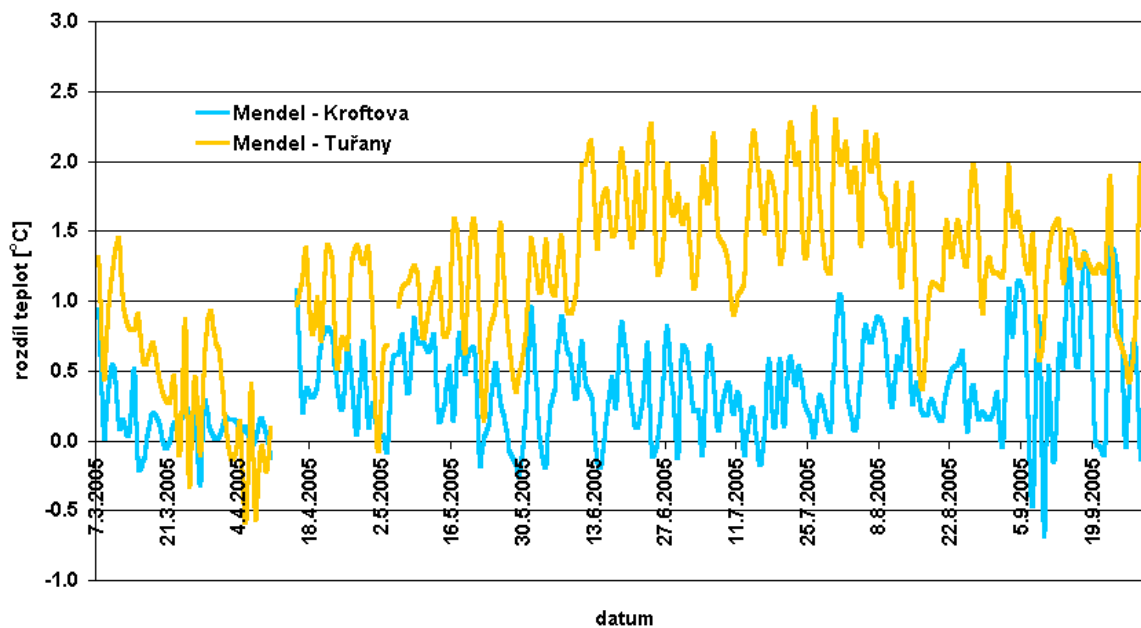
teplejším. V důsledku popsaných jevů jsou průměrné hodnoty odchylek poměrně nízké, mezi Mendlovým náměstím a Žabovřeskami činí 0,6 °C, mezi Mendlovým nám. a Tuřany je to hodnota velmi blízká, 0,9 °C. Nepotvrdilo se tak tvrzení, uváděné v práci Beranové a Rutha (2003), že vliv tepelného ostrova města se projevuje především v rozdílu minimálních teplot mezi městem a jeho okolím.

Rozdíl minimálních denních teplot



Obr. 5

Rozdíl průměrných denních teplot



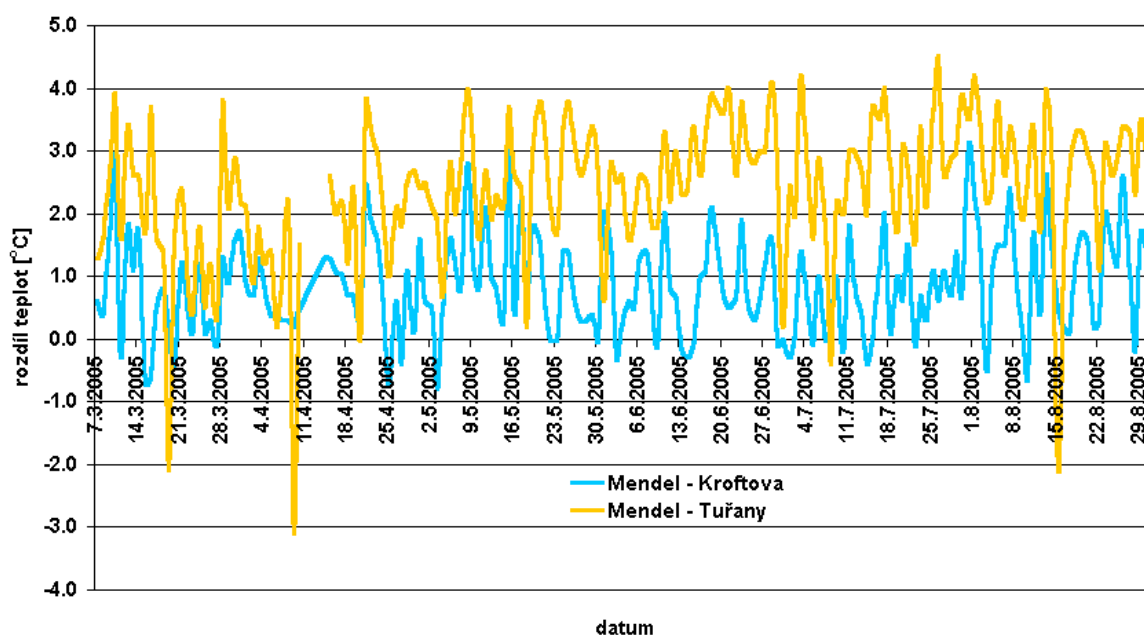
Obr. 6

Maximální denní teplota vzduchu:

Daleko výrazněji než u minimálních teplot se projevují rozdíly v maximálních teplotách, kdy, jak ukazuje obr. 7, je prakticky po celé sledované období Mendlovo náměstí teplejší než letiště, o něco nižší jsou rozdíly oproti stanici v Žabovřeskách. V průměru za období IV – IX 2005 je to 0,9 °C mezi Mendlovým náměstím a Žabovřeskami, oproti letišti je to 2,5 °C. Za povšimnutí stojí několik výrazných špiček na křivce rozdílů mezi Mendlovým náměstím a Tuřany, kdy maximální teplota na letišti je vyšší než v centru města. Lze to pravděpodobně přičíst skutečnosti, že automatická meteorologická stanice na letišti je umístěna v těsné blízkosti plochy, na níž se letadla otáčejí před odbavovací halou a stanice Vaisala je schopna zaznamenat i krátkodobé zvýšení teploty vzduchu a pokud přirozený průběh počasí v daném dni nepřinese vyšší teplotu, označí ji jako maximum.

Ukazuje se, že v období s výskytem maximálních teplot vzduchu se tepelný ostrov centra města projevuje nejvýrazněji, výraznější jsou rovněž rozdíly mezi centrem a stanicí v Žabovřeskách než u jiných zpracovaných teplotních charakteristik. Příčinu lze pravděpodobně hledat ve zvýšených hodnotách radiačních toků energie během insolace, a to jak u krátkovlnného záření, tak i u dlouhovlnných toků vyvolaných rozehrátými budovami. Oprávněně lze předpokládat, že ze stejných příčin se bude zvyšovat četnost a prodlužovat délka trvání horkých vln v letním období, jejich hodnocení na základě údajů ze stanic „makroklimaticky reprezentativních“ tak může být dosti zkreslené. Jelikož se vysoké teploty projevují na zdravotním stavu obyvatelstva, je důležité provádět měření teplot přímo v těch místech, kde se vyskytuje jeho zvýšená hustota.

Rozdíl maximálních denních teplot



Obr. 7

Počet letních a tropických dnů:

Výše uvedené předpoklady potvrzuje i zvýšená četnost letních a tropických dnů, znázorněných na obr. 8 a 9. Jejich nejvyšší absolutní počet za celé období se podle očekávání vyskytuje v centru města (76 a 16), o něco nižší je v Žabovřeskách (65 a 12) a nejnižší je na volné ploše letiště (35 a 4). Z těchto údajů je zřejmé, že přestože všechny stanice leží ve stejné makroklimatické oblasti a přibližně ve stejné nadmořské výšce, počty uvedených dnů s charakteristickými teplotami se liší dosti podstatně. U letních dnů je rozdíl mezi letištem a Mendlovým náměstím více než dvojnásobný, u tropických dnů

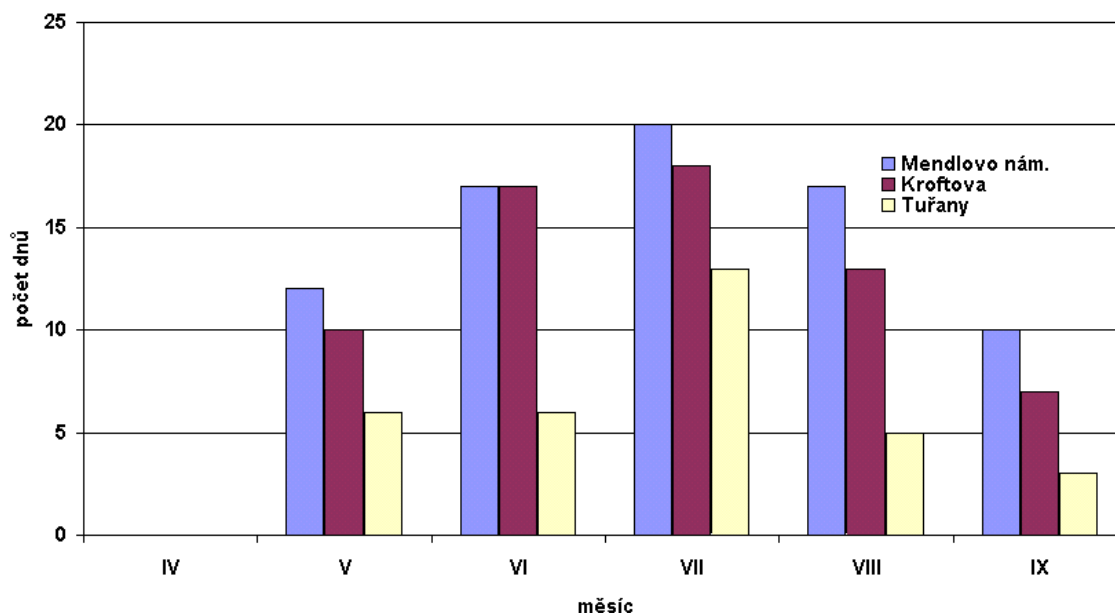
čtyřnásobný. Nejnižší rozdíl je v červenci, ve zbývajících měsících se zvyšuje. Pozoruhodný je především výskyt čtyř tropických dnů v srpnu pouze na stanici na Mendlově náměstí, u zbývajících dvou stanic se nevyskytl žádný. Je to však částečně způsobeno skutečností, že při stanovování dnů s charakteristickými teplotami může v některých případech i malý rozdíl maximálních teplot rozhodnout o přesunutí do jiné kategorie.

Suma aktivních teplot nad 5 a 10 °C:

Tepelný ostrov města se nutně musí projevit i v sumě efektivních teplot. Pro naše zpracování jsme použili sumu aktivních teplot nad 5 (viz obr. 10) a 10 °C. Jak potvrzují fenologická sledování, v centrech měst dochází všeobecně k časnějšímu nástupu ranných fenofází (rašení, kvetení), takže je zřejmé, že musí docházet k rozdílům v teplotních sumách i nad nižšími prahovými teplotami.

Ke konci vegetačního období je suma aktivních teplot nad 5 i 10 °C o cca 9-10 % vyšší ve městě než v jeho okolí, v časovém posunu dělá tento rozdíl přibližně 2 týdny. Lze předpokládat, že přibližně o stejný časový úsek se posune nástup fenofází některých kultur v tomto období.

Počet letních dnů v jednotlivých měsících roku 2005

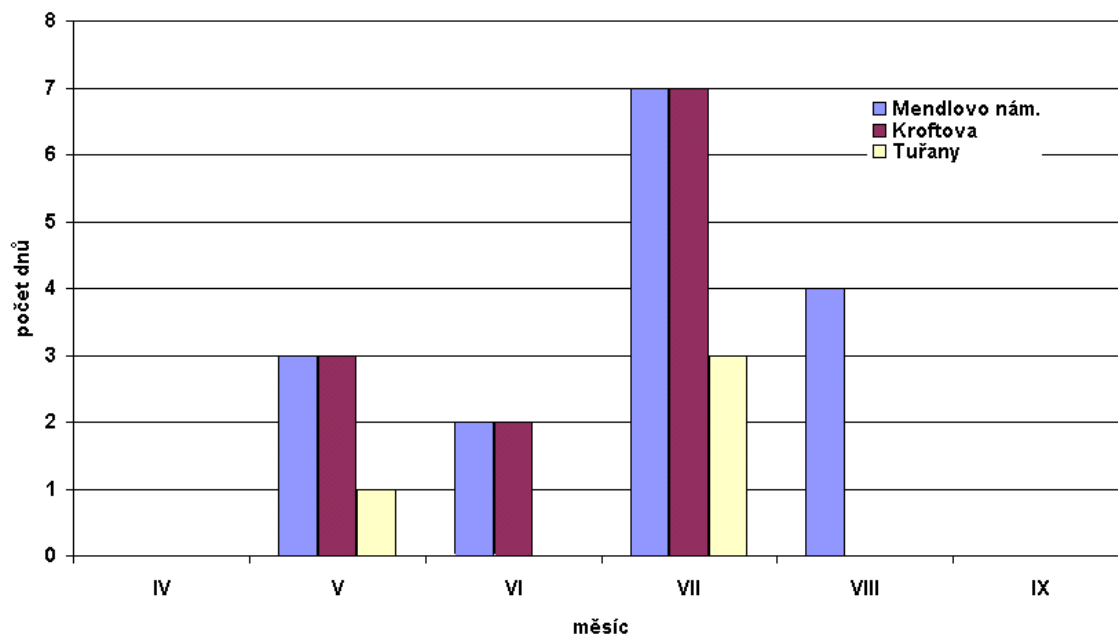


Obr. 8

Vlhkostní poměry

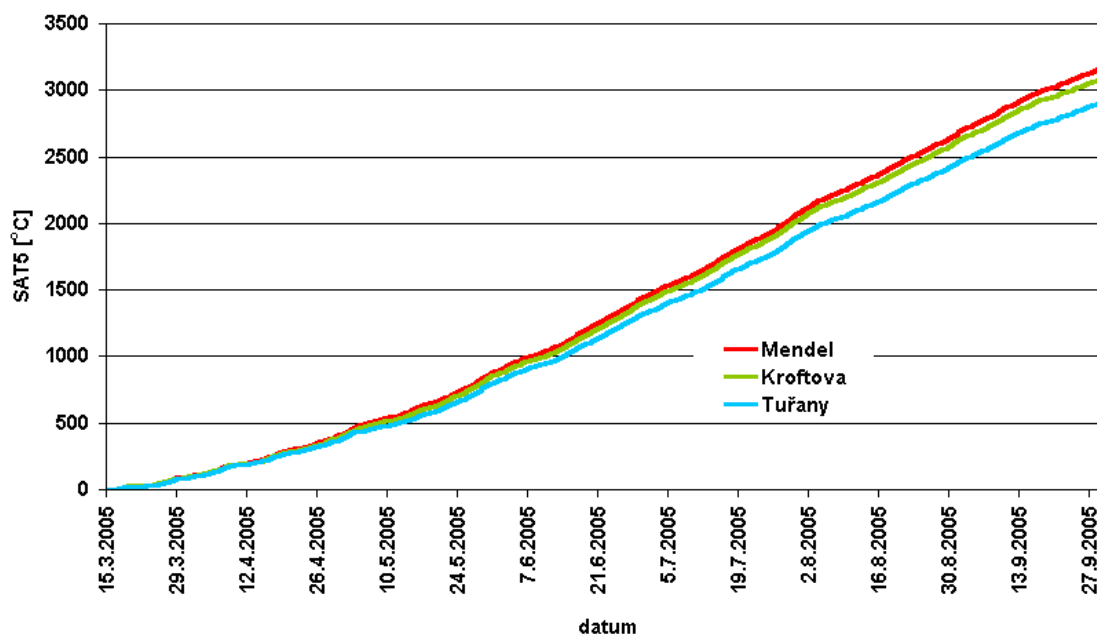
Rozdíly v průměrných denních hodnotách relativní vlhkosti vzduchu, měřených na jednotlivých stanicích, jsou znázorněny na obr. 11. Jejich velikost je opět poměrně malá mezi stanicemi v intravilánu města, Tuřany jsou oproti centru města ve většině případů vlhčí, zejména v jarním a letním období až do července, v srpnu a září se rozdíly snižují. V průměru za zpracované vegetační období roku 2005 činila odchylka mezi Mendlovým náměstím a Žabovřeskami pouhých -0,4 %, mezi Mendlovým nám. a Tuřany to bylo již -3,2 %. Ukazuje se tudíž, že v centru města se vyskytují nižší relativní vlhkosti vzduchu, souvisí to však s vyššími teplotami v této lokalitě. Při porovnání hodnot absolutní vlhkosti se neukázaly výraznější rozdíly, lze proto předpokládat, že obsah vodní páry je ve městě i jeho okolí přibližně stejný.

Počet tropických dnů v jednotlivých měsících roku 2005



Obr. 9

Průběh sum aktivních teplot nad 5 °C v roce 2005



Obr. 10

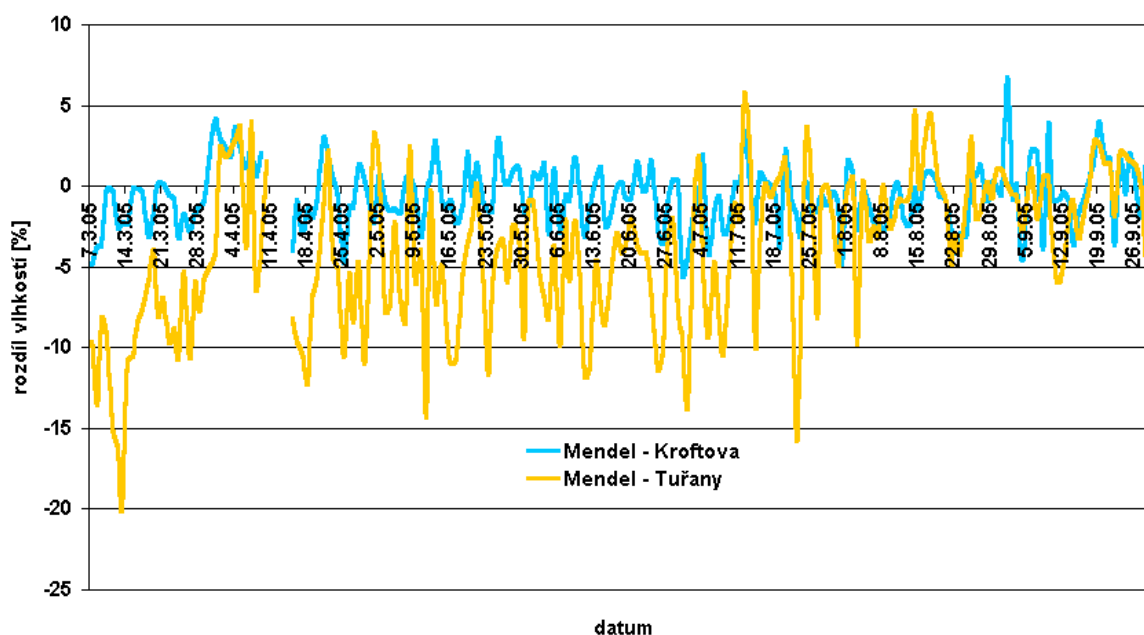
Závěr:

O existenci tepelného ostrova města a případných rozdílech i v jiných meteorologických prvcích věděli již naši předchůdci, s rozvojem aglomerací a v podmínkách probíhající klimatické změny je zapotřebí se věnovat podrobnější kvantifikaci těchto rozdílů. Zejména za situací, kdy meteorologické údaje a podklady mají sloužit pro potřeby informování obyvatelstva, je zapotřebí je získávat z míst, ke se vyskytuje obyvatelstvo ve zvýšené míře, tj. z měst. Jak ukazují výsledky tohoto zpracování, výrazné rozdíly mezi městem a jeho okolím jsou především u maximálních teplot vzduchu, za určitých situací mohou přesáhnout až 4 °C. Výrazně se tak zvyšuje počet letních a tropických dnů, což může hrát podstatnou roli např. při kvantifikaci horkých vln, jejichž četnost se bude pravděpodobně v budoucnosti zvyšovat.

Předložený příspěvek se pokusil nastínit možnosti nových technických prostředků při měření meteorologických prvků v městských aglomeracích s přenosem údajů v reálném čase podle potřeb uživatele. Výsledky za jedno vegetační období si jistě nemohou činit nárok na časovou reprezentativnost, přesto se však projeví některé vlastnosti, charakteristické pro rozdíl povětrnosti mezi městem a jeho okolím.

Aktuální hodnoty naměřených meteorologických prvků a další informace ohledně meteorologické stanice v areálu opatství na Starém Brně lze získat na www.amet.cz/webmendel/meteorologie.htm.

Rozdíl průměrných denních vlhkostí vzduchu



Obr. 11

Poděkování:

Článek vychází z dat získaných při řešení projektu QF 3100 NAZV MZe ČR.

Literatura:

- Beranová, R., Huth, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Meteorologické zprávy, č. 5, s. 137 - 142
- Estec, M.G et al. (1999): The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies. Proceedings for 1999 National Planning Conference Approaching The Millennium

- Hinkel, K. M. et al. (2003): The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. *Int. Journal of Climatology*, 23, s. 1889-1905
- Kopec, R.J. (1970): Further observations of the urban heat island in a small city. *Bulletin American meteorological Society*, Vol. 51, No. 7, s. 602-606
- Krška, K., Šamaj, F. (2001): *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. Univerzita Karlova v Praze, 568 s., ISBN 80-7184-951-0
- Munzar, J. (1994): Gregor Mendel and urban environment. *Moravian geogr. Reports*, 2, č. 2, s. 49-51
- Quitt, E.: (1956): Příspěvek k metodice výzkumů teplotních poměrů měst. *Meteorologické zprávy*, s. 69-74
- Quitt., E. (1972): Měřicí jízdy jako jedna z cest k racionalizaci mezoklimatického výzkumu. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 172-176
- Voogt, J.A. (2002): Urban heat island. In.: *Encyclopedia of global environmental change*, s. 660-666, ISBN 0-471-97796-9