



Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Tepelný ostrov města

(Urban heat island)

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Diplomant: Bc. Anna Durdíková

Konzultant: Ing. Jana Soukupová

RNDr. Tomáš Litschmann

Akademický rok: 2012/2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Durdíková Anna

Krajinné inženýrství

Název práce

Tepelný ostrov města

Anglický název

Urban Heat Island

Cíle práce

Popsat a zhodnotit tepelný ostrov města Prahy v různých souvislostech, popsat snižování tepelného ostrova města. Pomocí dat získaných z ČHMÚ propočítat velikost tepelného ostrova v centru města v kontrastu s okolím. Vyhodnotit data a utvořit závěr z těchto výpočtů.

Metodika

Úvod

Tepelný ostrov města

Způsoby zjišťování tepelného ostrova města

Metody snižování tepelného ostrova města

Historický vývoj města v souvislosti se změnou jeho klimatu

Vlastní porovnávání dat

Závěr

Harmonogram zpracování

letní semestr 2012: zadání práce a sběr dat a podkladů

11/2012 první kontrola práce (rešeršní část) a upřesnění metodiky zpracování

konec 1/2013 druhá kontrola výsledků práce

2/2013 - 3/2013 kompletování práce a vytváření příloh, kontrola výpočtů

4/2013 odevzdání práce

Rozsah textové části

cca 40 str

Klíčová slova

tepelný ostrov města, změna klimatu

Doporučené zdroje informací

SOBÍŠEK B. ET AL., 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia. Praha, 594 s.
HOUGHTON J. T. ET AL., 1995: IPCC: Climate Changes 1995, The Science of Climate Changes, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 s.
SVOBODA J., 2003: Velká kniha o klimatu zemí koruny české. Regia. Praha, 655 s.
VOOGT J. A., 2002: Urban heat island – Causes and consequences of global environmental change. Encyclopedia of Global Environmental Change. John Wiley & sons, Ltd. Chichester, str. 660 – 666
Články: Meteorologické zprávy a další

Vedoucí práce

Pech Pavel, prof. Ing., CSc.



prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 21.1.2013

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s vyznačením všech použitých pramenů a spoluautorství uvedených v seznamu literatury na konci této práce. Souhlasím se zveřejněním diplomové práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů.

.....
V Praze dne

.....
Podpis

Poděkování

Mé díky patří především prof. Ing. Pavlu Pechovi, CSc., Ing. Janě Soukupové a RNDr. Tomáši Litschmannovi za rady, připomínky, pomoc a nesmírnou trpělivost při vzniku této práce.

Dále bych ráda poděkovala pracovnícím knihovny ČHMÚ Praha za ochotu a pomoc při vyhledávání materiálů.

.....

V Praze dne

.....

Podpis

Anotace

Práce se zabývá problematikou tepelného ostrova města. Tento jev je způsobený odstraněním původní vegetace ve městech a jejím nahrazením komunikacemi a budovami. Jedná se tedy o jev způsobený zvýšením teploty účinkem klimatu.

Práce nejprve podává charakteristiku daného jevu a jeho měření, dále uvádí historický vývoj klimatu v Praze.

Pro konkrétní studium velikosti a růstu tepelného ostrova města v Praze bylo jako vzorek vybráno šest meteorologických stanic. Z nich jsou dvě stanice situovány v centru města – Klementinum a Karlov a zbylé čtyři reprezentují příměstskou oblast – Ruzyně, Kbely, Uhřetěves a Doksany. Grafické a matematické vyhodnocení naměřených dat potvrzuje předpoklad zvyšování tepelného ostrova města.

Klíčová slova: tepelný ostrov města, změna klimatu, teplotní řady

Abstract

The thesis focuses on the problem of the urban heat island. This phenomenon is caused by the removal of vegetation in cities, which is substituted by roads and buildings. Therefore it is a phenomenon caused by rising temperature caused by the climate.

The thesis first introduces characteristics of the phenomenon and its measuring, then tracks the historical development of climate in Prague.

Six weather stations were selected as a sample for researching the size and growth of the urban heat island in Prague. Two of the stations, Klementinum and Karlov, are situated in centre of the city, the remaining four stations, Ruzyně, Kbely, Uhřetěves, and Doksany, represent rural areas. Graphic and mathematical assessment of the measured data confirms the hypothesis of the increase of the urban heat island.

Keywords: urban heat island, climate changes, temperature range

Obsah

1. ÚVOD	8
2. CÍLE PRÁCE	9
3. METODIKA	10
4. REŠERŠNÍ ČÁST	11
4.1 Úvod	11
4.2 Tepelný ostrov města	11
4.2.1 Úvod.....	11
4.2.2 Definice.....	11
4.2.3 Vznik tepelného ostrova.....	12
4.2.3.1 Druhy tepelného ostrova.....	15
4.3 Způsoby zjišťování tepelného ostrova města	17
4.3.1 Úvod.....	17
4.3.2 Měření.....	17
4.3.2.1 Meteorologické stanice staniční sítě ČHMÚ.....	17
4.3.2.2 Meteorologické stanice účelové sítě.....	19
4.3.2.2.1 Účelová měřicí síť v Brně.....	20
4.3.2.2.2 Účelová měřicí síť v Olomouci.....	20
4.3.2.3 Meteorologické družice.....	21
4.3.2.4 Metody hodnocení tepelného ostrova města.....	22
4.3.2.4.1 Horké vlny.....	25
4.3.3 Modelování.....	27
4.3.3.1 Neuronové sítě.....	29
4.4 Metody snižování tepelného ostrova	34
4.4.1 Úvod.....	34
4.4.2 Příčiny zvyšování hodnot tepelného ostrova.....	34
4.4.3 Metody snižování hodnot tepelného ostrova.....	35
4.5 Historický vývoj města v souvislosti se změnou jeho klimatu	37
4.5.1 Úvod.....	37
4.5.2 Vývoj do konce 19. století.....	37
4.5.3 Vývoj od počátku 20. století.....	39

5. PRAKTICKÁ ČÁST	43
5.1 Úvod	43
5.2 Vyhodnocení průměrných měsíčních teplot vzduchu v Praze a okolí .	43
5.2.1 Úvod.....	43
5.2.2 Popis problematiky	43
5.2.3 Materiál a metody	45
5.2.4 Vybrané stanice.....	45
5.2.4.1 Klementinum – Praha	45
5.2.4.2 Karlov – Praha	46
5.2.4.3 Uhřetěves – Praha	47
5.2.4.4 Ruzyně – Praha	48
5.2.4.5 Kbely – Praha.....	48
5.2.4.6 Observatoř Doksany.....	49
5.2.5 Porovnání dat - zpracování naměřených údajů.....	50
5.2.5.1 Zhodnocení desetiletých období	53
5.2.5.2 Zhodnocení průměrných teplot dle ročních období.....	57
5.2.5.3 Zhodnocení průměrných měsíčních teplot.....	61
5.2.5.4 Zhodnocení závislosti spotřeby elektrické energie na teplotě	65
6. DISKUZE.....	67
7. ZÁVĚR.....	68
8. POUŽITÁ LITERATURA.....	69
9. PŘÍLOHY	75

1. Úvod

Tepelný ostrov města v posledních desetiletích patří v klimatologii k frekventovaným tématům vědeckých prací jak v České republice, tak v zahraničí. Ve světě se každoročně pořádají specializované konference, které se zabývají výhradně tepelným ostrovem města. O problematice městského klimatu a o jeho vlivu na život obyvatel bylo napsáno již mnoho článků, jejichž výběr tvoří soupis literatury. Tepelný ostrov města není problémem, na který by se vědecký svět zaměřil až v posledních letech. Již v dobových zprávách (viz kapitola 4.5) je možné nalézt záznamy, které hovoří o zvýšené teplotě ve městech či zmínky o rozdílnosti klimatu ve městech a jejich okolí.

Změna aktivního povrchu ve městě, oproti rurální oblasti, vede ke specifickému městskému klimatu ovlivněním energetické bilance města. Městské klima má charakteristický režim většiny meteorologických prvků. Tento režim se odlišuje od poměrů ve volné krajině a v případě teploty vzduchu může být příčinou formování tzv. tepelného ostrova města. S vyšší teplotou ve městech mohou souviset vlny horka, které se ve městech vyskytují s větší pravděpodobností než v okolí měst (Dobrovolný, Krahula, 2012).

V souvislosti s tepelným ostrovem města je zkoumána celá řada otázek, od jeho vzniku a vývoje v jednotlivých územích, přes měření a modelování chování mikroklimatu města a jeho vztahu k obyvatelstvu, až po modely a návrhy na snížení negativního působení zvýšených teplot ve městech (Litschmann, v tisku).

2. Cíle práce

Cílem práce je sledovat problematiku tepelného ostrova města, sumarizovat vědomosti o něm, popsat jeho historický vývoj v Praze, jeho vliv na klima města a okolí nebo na lidské zdraví. Dále popsat reálné možnosti zmírnění následků tepelného ostrova ve městech.

Na základě získaných dat z ČHMÚ ze šesti vybraných stanic, které leží v Praze či v blízkém okolí Prahy, propočítat velikost tepelného ostrova v centru města v kontrastu s jeho okolím. Vyhodnotit data a utvořit závěr z těchto výpočtů.

Na základě dat distribuované elektřiny v Praze, které poskytla společnost PRE, zjistit závislost spotřeby elektrické energie na teplotě ve městě.

3. Metodika

Jako začátek studie této mnohostranně uchopitelné problematiky přistupuji nejprve k archivní rešerši. V rámci této rešerše jsem se snažila, kromě vyhledávání informací a článků, kontaktovat i přední vědecké odborníky, kteří se zabývají touto problematikou.

Pro vyhledávání materiálů byla využita knihovna Českého hydrometeorologického ústavu v Praze, Web of Science a doporučení kontaktovaných českých vědců, zejména RNDr. Tomáše Litschmanna.

Po dokončení rešerše jsem přistoupila k praktickému studiu velikosti tepelného ostrova města v okolí Prahy. K tomuto účelu bylo vybráno šest reprezentativních meteorologických stanic, ze kterých mi ČHMÚ Ústí nad Labem, na základě smluvní dohody, poskytl potřebná data. Jednalo se o průměrné měsíční teploty za období 1961 – 2011.

K vyhodnocení získaných dat jsem využila program Microsoft Excel. Získaná data byla nejprve zkoumána z pohledu nutnosti homogenizace dat, která je nutná z hlediska práce s dlouhými řadami. Poté byla data převedena na stejnou nadmořskou výšku 200 m n.m., což umožnilo lepší porovnávání teplot.

Z průměrných měsíčních teplot převedených na nadmořskou výšku 200 m n.m. byly vytvořeny grafické výstupy pro jednotlivá desetiletí, dále grafické výstupy průměrných teplot dle jednotlivých ročních období, grafické znázornění průměrných měsíčních teplot a porovnání nárůstu teploty na stanici Klementinum vůči spotřebě elektrické energie.

Všechny grafické výstupy byly proloženy lineární regresí a doplněny o rovnice regrese a příslušnou hodnotu spolehlivosti.

4. Rešeršní část

4.1 Úvod

V rešeršní části práce je definován tepelný ostrov (str. 11-16) z hlediska jeho vzniku, dále jsou zde popsány metody zjišťování přítomnosti tepelného ostrova ve městech (str. 17 – 33) a metody snižování hodnot tepelného ostrova města (str. 34 – 36). Rešeršní část se zabývá i historickým vývojem města v souvislosti se změnou jeho klimatu (str. 37 – 42).

4.2 Tepelný ostrov města

4.2.1 Úvod

Tato kapitola je věnována definici tepelného ostrova města (str. 11), dále popisu vzniku tepelného ostrova města (str. 12 –15) a charakteristice druhů tepelného ostrova města (str. 15 – 16).

4.2.2 Definice

Tepelný ostrov města je v literatuře obecně definován jako oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a rovněž v přízemní vrstvě atmosféry nad městem či průmyslovou aglomerací ve srovnání s rurálním okolím. Intenzita tepelného ostrova vyjadřuje rozdíl průměrných a maximálních teplot vzduchu v dané výšce nad středem města a okolím, kde se nachází přirozený povrch. Intenzita tepelného ostrova má většinou úměrnou velikost vůči městu a jeho průmyslové činnosti (Sobíšek a kol., 1993).

Městské klima lze definovat několika způsoby. Dle světové meteorologické organizace (WMO) je městské klima definováno jako klima vytvářené a ovlivňované výstavbou měst, a to včetně antropogenního tepla a znečištění vzduchu. Podle Mezinárodní asociace městského klimatu (IAUC) se obor klimatologie měst zabývá problematikou velkých měst a průmyslových aglomerací, meteorologií a klimatologií zastavěných oblastí, městskou zelení, interakcí mezi městským povrchem a mezní vrstvou atmosféry (Dobrovolný et al., 2010).

Hlavními faktory, které ovlivňují specifické klima měst jsou změny charakteru aktivního povrchu zástavbou, znečištění ovzduší a produkce odpadního tepla (Oke, 1997).

Problematika klimatu měst patří v současné klimatologii k velmi frekventovaným tématům. Je to dáno především rostoucím počtem městského obyvatelstva a jeho zranitelností. S tím souvisí vzrůstající riziko ztrát na lidských životech a velkých materiálních škod v případě extrémních projevů počasí (Dobrovolný et al., 2010).

Extremita počasí v rámci tepelného ostrova města se nejvíce projevuje tzv. „horkými vlnami“, viz. Kap. 4.3.2.4.1.

Znečištění ovzduší je chápáno jako proměnný faktor vyvolaný lidskou aktivitou a je jí plně ovlivňován v kladném i záporném smyslu (Procházka et al., 1980).

4.2.3 Vznik tepelného ostrova

Tepelný ostrov města se stal jedním z nejvíce studovaných a možná i nejznámějších fenoménů městského klimatu od roku 1833, kdy byl tento jev popsán Lukem Howardem v Londýně (García-Cueto et al., 2007).

Práce Luka Howarda a jeho současníků se soustředila především na popis městského klimatu a byly zde již i první snahy o definování tepelného ostrova města. Od šedesátých let dvacátého století se výzkum začal zaměřovat spíše na příčiny odlišného klimatu města od okolního prostředí (Sulovská et al., 2010).

Jednou z hlavních příčin vzniku tepelného ostrova je překrytí původní plochy vegetace pozemními komunikacemi a budovami. Asfaltové a betonové plochy nemají, na rozdíl od vyšších rostlin, schopnost dopadající sluneční záření přeměnit na chemickou či jinou energii. Tmavá barva umělých povrchů přispívá i k větší absorpci světelného a tepelného záření, které je schopné umělé povrchy doslova rozžhavit (Pokladníková et al., 2009).

V dnešní době se v urbánní klimatologii využívají k popisu klimatu města modely, které jsou založeny na složitých počítačových programech a v posledních desetiletích lze využít meteorologické družice pro přímá měření teploty nad celými městy (Sulovská et al., 2010).

Tepelný ostrov města získal svůj název podle tvaru izotermy, která na mapě znázorňuje jakýsi pomyslný ostrov. U okrajů se nachází izotermy s nižší teplotou a směrem ke středu teplota pozvolna narůstá, jako jakési pohoří na skutečném ostrově. Tvar a velikost ostrova samozřejmě závisí na rozložení urbanizované oblasti. Svou

nezastupitelnou roli zde hraje i povrchové rozložení zeleně, jako například parky, vodní útvary a rozdíl v hustotě zástavby, obecný reliéf krajiny (Voogt, 2002).

Také hraje roli nižší rychlost větru ve městech než v přilehlém extravilánu. Dále nižší vlhkost vzduchu, snížení viditelnosti a podstatně vyšší emise škodlivin, které unikají do ovzduší (Sulovská et al., 2010).

Kromě vyšších teplot ve městech než v rurální oblasti se tepelný ostrov města projevuje také snížením intenzity slunečního záření, dále vyššími srážkovými úhrny a nižší rychlostí větru. Vyšší srážkové úhrny se zde vyskytují z důvodu zvýšeného počtu kondenzačních jader v městské atmosféře, častým jevem jsou termické konvekce nad tepelným ostrovem města. Zvýšení poměrné vlhkosti způsobené emisemi vodní páry má za důsledek výskyt převážně kupovité oblačnosti. Kupovitá oblačnost může být příčinou bouřkových jevů s vydatnějšími přeháňkovými srážkami, které jsou pozorovatelné zejména nad centry měst a průmyslovými zónami (Vysoudil, 2006).

Povrchy v městských aglomeracích lze zjednodušeně rozdělit na dvě skupiny - povrchy s vegetací a bez vegetace. Oba povrchy mají schopnost absorpce záření, která vede k jeho ohřívání. Díky kondukcí je ohřívána vrstva vzduchu přilehlá k povrchu a pomocí konvekce a turbulence se teplo dále přenáší do vyšších vrstev atmosféry. Mimo to se energie nepřetržitě vyzářuje ve formě dlouhovlnné radiace a tím dochází k ochlazení povrchu. Zchlazující účinky lze pozorovat i u transformace energie do formy latentního tepla při výparu a evapotranspiraci (Sulovská et al., 2010).

V dnešní době ve velkých městech žije cca 50 % světové populace a ve vyspělých státech světa dokonce 75 % (Lambin, Geist, 2006).

Ovšem i v rozvojových zemích výše uvedená procenta stále rostou. Zvýšená míra urbanizace a v jistém slova smyslu extremita městského klimatu v kombinaci s vysokou hustotou zalidnění městských oblastí již nyní hraje a v budoucnu jistě bude hrát důležitou úlohu v otázkách kvality života. Města jsou prostorem s možným výskytem mnohých místních povětrnostních efektů vázaných na termické a termodynamické procesy (Tomáš, 2012).

Obecně lze říci, že tepelný ostrov je nejvíce rozvinut v nočních hodinách, naproti tomu během dne se téměř nevyskytuje. Dalším faktorem jsou podmínky počasí, v zimních měsících je tepelný ostrov daleko zřetelnější než v měsících letních. Zimní měsíce jsou topnou sezonou, proto se v klimatu města kumuluje více tepla a emisí než v měsících letních, což přispívá ke zvyšování hodnot tepelného ostrova. Jedná se o tzv. extrémní tepelný ostrov, který je podmíněn topnou sezonou. Extrémní tepelný ostrov je

v zimních měsících zvýšen o 8,5 % oproti letnímu tepelnému ostrovu (Beranová, Huth, 2003).

V důsledku slabého všeobecného proudění vzduchu dochází v důsledku tepelného ostrova k vytvoření vlastní cirkulační buňky mezi rurální oblastí a městem s vertikální cirkulací podobnou přirozené termice a připomínající brízovou cirkulaci (Sobíšek a kol., 1993).

Dalším faktorem je vnitřní uspořádání města. Jedná se zejména o změnu geometrie aktivního povrchu, tzn. zvětšení velikosti a převahy vertikálních povrchů, což vede ke zvýšení množství pohlceného slunečního záření a k jeho odrazům. Uzavřené prostory mezi budovami vedou k omezení dlouhovlnného vyzařování v nočních hodinách a tím dochází ke snižování ztrát tepla (Litschmann, Rožnovský, 2005).

Intenzitu městského tepelného ostrova lze definovat jako rozdíl mezi teplotou uvnitř města a teplotou okolních rurálních oblastí. Pro výpočet intenzity tepelného ostrova se používají nejčastěji denní minimální teploty, jež se vyskytují záhy po východu Slunce, kdy je tepelný ostrov rozvinut. Často se také využívají průměrné teploty měsíční, a to ke zjišťování rozvoje tepelného ostrova v dlouhých řadách (Beranová, Huth, 2003).

Intenzita tepelného ostrova je významně závislá na cyklonalitě i směru proudění daného cirkulačního typu. Největší intenzita tepelného ostrova nastává za anticyklonální situace (Beranová, Huth, 2003).

Tepelný ostrov města se vyvíjí i v rámci jednoho dne. V létě je patrný výrazný denní chod teplotní difference mezi městskými a příměstskými stanicemi. V poledních hodinách tento rozdíl přesahuje 2°C, zatímco v ranních hodinách, tedy mezi 7 – 8 hodinou ráno, je minimální. Obdobně je tomu na jaře a na podzim. V podvečerních hodinách, tedy mezi 17 – 19 hodinou, zaznamenávají naopak příměstské stanice v létě teploty asi o 1°C vyšší (Dobrovolný et al., 2010).

Postupný nárůst teploty vzduchu je v případě městských stanic strmější a maximálních teplot vzduchu je dosaženo ve všech ročních obdobích dříve, než u stanic umístěných v rurální oblasti. V létě tedy mohou mít stanice ve městě maximum teploty vzduchu o 1,5 – 2°C vyšší než stanice příměstské (Dobrovolný et al., 2010).

Vyšší hodnoty tepelného ostrova v letních měsících lze vysvětlit rozlohou města a materiály, ze kterých je město vystavěno. Mezi příčiny vzniku tepelného ostrova patří zvýšená absorpce krátkovlnné radiace vyvolaná účinkem geometrického uspořádání města na změnu celkového albeda. Celkově větší plocha může absorbovat více

slunečního záření a díky schopnostem městských materiálů dobře uchovávat teplo. To znamená, že čím více slunečního záření dopadne přes den na městský povrch, tím více se v městských materiálech akumuluje tepla. Toto teplo je ze stavebních materiálů uvolňováno v nočních hodinách, ohřívá okolní vzduch a tím dochází k zvýšenému rozvoji tepelného ostrova (Beranová, Huth, 2003).

Na základě výše uvedených faktů lze říci, že tepelný ostrov má dvojitý roční chod s hlavním maximem v letních měsících (červenec) a vedlejším maximem v zimních měsících (leden). Minima tepelného ostrova potom jsou v březnu a listopadu. Výsledky analýz také ukazují, že trend průměrné roční intenzity tepelného ostrova středně velkého města je $1,6^{\circ}\text{C}/100\text{let}$ (Beranová, Huth, 2003).

Tepelné ostrovy města ale nejsou zodpovědné za globální oteplování. Jejich plocha zabírá jen zlomek zemského povrchu. Městské klima má lokální klimatický účinek, který je patrný pouze v okolí měst. Komplikují ovšem mapování globálních změn klimatu, protože mnoho měřících stanic je situováno do měst či do jejich blízkého okolí. Naměřená data jsou tedy ovlivněna tepelným ostrovem města (Voogt, 2002).

Tepelný ostrov města je jakýmsi mezoklimatickým fenoménem městských oblastí. Jeho intenzita je závislá na městské zástavbě, ale odráží se v něm nepřímo i globální změny klimatu, které přidávají další tepelné zatížení do městských oblastí. Díky tomu bude docházet k navýšení hodnot tepelného ostrova (Kožnarová et al., 2012).

V současné době se objevují projekty, které se snaží vzrůst tepelného ostrova zastavit či zmírnit. Jedná se především o ozeleňování střech, využívání světlých krytin střech místo plechů a tašek, výsadbu stromů do ulic atd. (Durdíková, 2010).

4.2.3.1 Druhy tepelného ostrova

Městská zástavba a s ní spojené různé druhy lidské činnosti ve městech vytvářejí hierarchicky uspořádaný systém, který je možné studovat na několika úrovních. Od mikroměřítko, např. jednotlivé budovy, až po regionální úroveň. To platí i pro studium časové a prostorové variability základních meteorologických prvků v prostředí městské zástavby (Dobrovolný et al., 2010).

V závislosti na výše zmíněné struktuře městské zástavby a s přihlédnutím k vrstvě atmosféry ovlivněné tepelným ostrovem města je možné definovat tři druhy tepelného ostrova města (Dobrovolný et al., 2010).

Jedná se o:

1. Mezní vrstvu atmosféry (Boundary layer)
2. Přízemní vrstvu atmosféry (Canopy layer)
3. Tepelný ostrov aktivních povrchů (Surface heat island).

V případě mezní vrstvy atmosféry a přízemní vrstvy atmosféry se tedy jedná přibližně o vrstvy vzduchu, které jsou uzavřené v prostoru městské zástavby. Pro studium těchto druhů tepelného ostrova města je možné použít standardní či účelová měření teploty vzduchu (Dobrovolný et al., 2010).

Režim teploty vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry, která se nachází přibližně v rozmezí zemského povrchu a průměrné výšky budov, podstatně formují specifické vlastnosti aktivních povrchů, včetně jejich vertikálního členění a jejich uspořádání v prostoru (Dobrovolný, Krahula, 2012).

Stavební materiály mají velkou schopnost akumulovat teplo v důsledku své velké tepelné vodivosti a kapacity. Zvýšená akumulace tepla je také zapříčiněna geometrií aktivního povrchu a snížením efektivního povrchového albeda mnohonásobným odrazem slunečního záření (Dobrovolný, Krahula, 2012).

Tepelný ostrov aktivních povrchů je většinou popisován jako kladná teplotní anomálie aktivních povrchů v prostoru městské zástavby vůči přirozeným povrchům venkovské krajiny (Dobrovolný et al., 2010).

Díky velkému podílu nepropustných povrchů, např. asfaltové či dlážděné plochy, je odtok srážkové vody poměrně rychlý a tím vzniká omezení ochlazování povrchu výparem (Dobrovolný, Krahula, 2012).

Z výše uvedeného vyplývá, že teploty aktivních povrchů přímo ovlivňují teplotní poměry přízemní i mezní vrstvy atmosféry, tedy že všechny druhy tepelného ostrova města spolu souvisí (Dobrovolný et al., 2010).

Právě oblast zvýšené teploty v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem či průmyslovou aglomerací určuje velikost hodnot tepelného ostrova města (Sulovská et al., 2010).

4.3 Způsoby zjišťování tepelného ostrova města

4.3.1 Úvod

Tato kapitola se věnuje způsobům zjišťování velikosti tepelného ostrova města. Popisuje metody měření (str. 17 – 27) a modelování tepelného ostrova města (str. 27 – 33).

K měření hodnot tepelného ostrova města lze přistupovat několika způsoby. Lze ho posuzovat na základě dlouholetých řad teplot či lze vytvořit počítačový model, který simuluje chování klimatu (Saitoh et al., 1996). Ve své práci jsem použila metodu dlouholetých řad teplot.

Pro zjišťování chování a vývoje tepelného ostrova města se nemusí vycházet pouze z naměřené teploty. Mohou se zohledňovat i srážky, oblačnost, vlhkost vzduchu atd.

4.3.2 Měření

Měření meteorologických hodnot se zabývají jak dobrovolníci tak profesionálové od nepaměti. S nástupem nových objevů a technologií dochází k úpravám měřících sestav a zpřesňování měření. Díky moderním technologiím je možné umísťovat měřící stanice i do dříve nepřístupných míst (Meteocentrum, nedatováno).

V rámci studia městského klimatu se využívají především:

- meteorologické stanice staniční sítě národní meteorologické služby – v České republice toto měření zajišťuje Český hydrometeorologický ústav
- meteorologické stanice účelové sítě vytvořené za účelem studia městského klimatu
- meteorologické družice

4.3.2.1 Meteorologické stanice staniční sítě ČHMÚ

V České republice staniční síť spadá pod ČHMÚ a v několika posledních letech prochází rozsáhlou automatizací. Stále ještě převládají manuální klimatologické a srážkoměrné stanice v dobrovolnické staniční síti, kterých je v dnešní době na území

České republiky více než 600, ale i zde dochází k pozvolné automatizaci. K dnešnímu dni je v provozu 29 automatizovaných stanic s profesionální obsluhou. Součástí automatizované stanice je i komunikační část zajišťující přenos naměřených údajů do centrálních informačních systémů ČHMÚ (Fryč, 2009).

V 90. letech 20. století bylo pro přenos dat z nově vybudovaných automatických stanic využíváno tzv. vytáčené telefonické spojení mezi dvěma modemy na pevné lince. Jednalo se sice o spolehlivou metodu, ale finančně velmi nákladnou, takže se takto přenášela data pouze z profesionálních stanic typu SYNOP, METAR a BOUŘE. Interval přenosu byl každé tři hodiny a přenášená data obsahovala pouze základní datovou sadu (Fryč, 2009).

Velkou revolucí, na přelomu dvacátého a jednadvacátého století, bylo spuštění sítě GPRS. Byl umožněn rychlejší přenos dat a přenášená data mohla obsahovat více parametrů než jen základní datovou sadu (Fryč, 2009).

Vývoj automatizovaných stanic probíhá od roku 1997, ale přenos dat byl započat později. Součástí každé stanice je mikropočítač, který je schopen uchovávat naměřená data po dobu tří měsíců. Proti výpadku proudu je stanice chráněna vestavěnou baterií, která umožní práci stanice na další tři dny (Fryč, 2009).

Od roku 2004 prochází automatizací i dobrovolnická síť. Opět se k přenosu dat využívá technologie GPRS. Data z čidel se vyhodnocují každých 15 minut a ihned se automaticky přenášejí na příslušnou pobočku ČHMÚ, kde se replikují do centrální databáze (Fryč, 2009).

Automatizované stanice se dělí na tři typy:

1. klimatologické (AKS)
2. meteorologické (AMS)
3. srážkoměrné (ASS).

Automatizované klimatologické stanice (AKS) jsou součástí dobrovolnické staniční sítě a měří sedm základních meteorologických prvků – teplotu vzduchu, teplotu půdy, poměrnou vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, dobu trvání slunečního svitu a srážky (Fryč, 2009).

Automatizované meteorologické stanice (AMS) měří kromě základních meteorologických prvků, které jsou uvedeny výše, ještě např. tlak vzduchu, globální sluneční záření, dohlednost, oblačnost, stav počasí (Fryč, 2009).

Automatických srážkoměrných stanic (ASS) je nyní v provozu téměř 100 a právě tato síť se v posledních letech rozrůstá nejrychleji. Jen za rok 2008 bylo např. automatizováno 22 manuálních srážkoměrných stanic. Všechny srážkoměry jsou samozřejmě přes technologii GPRS připojeny on-line do počítačové sítě ČHMÚ. Oproti stanicím AMS a AKS, u kterých se postupně přechází na modernější, ale výrazně složitější a dražší váhové srážkoměry, se u prostých srážkoměrných stanic stále používají klasické člunkové srážkoměry s překlápěcím mechanismem. Srážkoměr má záchytnou plochu 500 cm² a je zkonstruován tak, že jedno překlopení měřícího mechanismu představuje 0,1 mm srážek. I zde se ovšem objevují provozní problémy. Kromě obvyklých problémů s ucpáním srážkoměrů listím či jehlicemi, které většinou vyřeší pozorovatel, v místě stanice občas nastávají problémy s počasím, hlavně v zimním období, kdy se automaticky spouští mechanismus vyhřívání srážkoměru. Srážkoměr musí být zahříván tak, aby stačil rozpustit sněhové vločky, ale aby nedocházelo k odparu a musí být dostatečně výkonný, aby nedocházelo k jeho zamrznutí (Fryč, 2009).

V extrémních stanovištích, například na odlehlých místech Šumavy a Jizerských hor, se nově instalují malé stanice měřící teplotu a srážky na bateriový provoz. Baterie je dobíjena solárním panelem a data jsou pomocí technologie GPRS přenášena na příslušné pobočky ČHMÚ. Zatím jsou v provozu čtyři takovéto stanice. Tyto srážkoměry jsou ale přes zimní měsíce nefunkční, protože k vyhřívání srážkoměru neposkytuje solární panel dostatek energie. Novinkou u těchto stanic je automatické měření výšky a vodní hodnoty sněhu na sněhoměrných polštářích a sněhových vahách (Fryč, 2009).

4.3.2.2 Meteorologické stanice účelové sítě

Meteorologické stanice účelové sítě vytvořené za účelem studia městského klimatu se nachází např. v Brně a Olomouci.

Meteorologické účelové staniční sítě byly budovány, díky grantovým projektům, od roku 2000. Tyto staniční sítě budované a provozované jinými organizacemi jsou asi jediným způsobem, jakým je možné studovat městské klima a vytvořit podrobnější klimatologické charakteristiky městských aglomerací, jelikož ČHMÚ nemá prostředky na vybudování a udržování podobných sítí (Řepka et al., 2012).

4.3.2.2.1 Účelová měřicí síť v Brně

Účelové měřicí sítě vznikají v Brně postupně od r. 2005, kdy zahájila provoz automatická meteorologická stanice umístěná v areálu Augustiniánského opatství na Starém Brně, v němž prováděl svá meteorologická měření i Johan Gregor Mendel. Od roku 2009 byl jejich počet postupně zvyšován v rámci projektu GA ČR (205/09/1297), který byl řešen Geografickým ústavem PřF MU ve spolupráci s pobočkou ČHMÚ v Brně. Celkem se tak na území Brna nachází 13 automatických meteorologických stanic, z nichž většina předává naměřené údaje pomocí GPRS na internet. Jedná se o stanice typu MeteoUni (AMET Velké Bílovice / Litschmann, Rožnovský, 2012/).

Měřicí interval účelové měřicí sítě je 15 minut (resp. 10 minut od března 2009), většina z těchto stanic pracuje i po ukončení projektu (Dobrovolný et al., 2010).

4.3.2.2.2 Účelová měřicí síť v Olomouci

V Olomouci a jeho okolí je vytvořena síť 40 meteorologických stanic, které byly zřízeny Českým hydrometeorologickým ústavem nebo některou z předchozích historických organizací (Řepka et al., 2012).

Mezi lety 2009 – 2010 byla v Olomouci a jeho okolí zřízena Metropolitní staniční síť Olomouc (MESSO), která vznikla díky společnému projektu Přírodovědné fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a Přírodovědné fakulty Masarykovy Univerzity v Brně. Jedná se o projekt „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst“ (Řepka et al., 2012).

Účelovou síť MESSO tvoří 8 automatických meteorologických stanic firmy Fiedler-Mágr. Na všech stanicích je měřena teplota a vlhkost vzduchu 1,5 m nad aktivním povrchem z důvodu přesnějšího zjištění vlivu aktivního povrchu na teplotní režim v přízemní vrstvě atmosféry. Dále je zde měřena teplota půdy v hloubce 0,2 m pod povrchem a srážky 1 m nad aktivním povrchem (Řepka et al., 2012).

Doplňkově je na síti MESSO měřena teplota a vlhkost vzduchu ve výšce 1,5 m na cca 15 místech v Olomouci a okolí (Řepka et al., 2012).

Naměřená data ze stanic MESSO jsou primárně určena k analýze městského a příměstského klimatu města Olomouce a jeho okolí. Tomu odpovídá i rozložení stanic a geografické poměry jejich nejbližšího okolí, zejména potom charakter aktivního povrchu (Řepka et al., 2012).

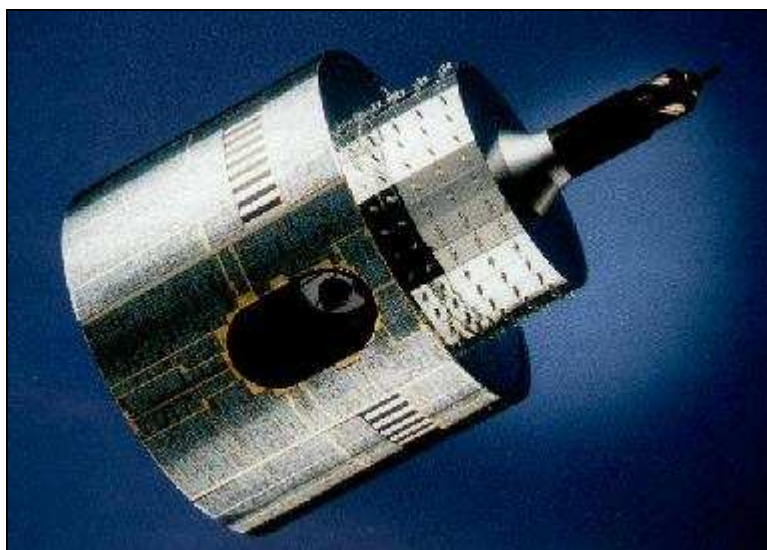
4.3.2.3 Meteorologické družice

Meteorologické družice jsou specializovanou kategorií jak aerologických stanic, tak umělých družic Země. Jsou zaměřeny na monitorování zemské atmosféry, především její oblačnosti. Jejich hlavním přínosem je zlepšování analýzy aktuálního počasí a jeho předpovědí, a to jak formou „obrázků“, které jsou využívány meteorology subjektivně, tak formou vstupu do numerických modelů počasí (Řezáčová et al., 2007).

Meteorologické družice se využívají již něco přes půl století. První myšlenky na využití umělých družic Země pro monitorování oblačnosti výrazně předběhly možnosti své realizace. Objevovaly se již ve dvacátých letech 20. století. V roce 1945 formuloval Arthur C. Clarke explicitní myšlenky na využití geostacionární dráhy Země pro umístění telekomunikačních družic a jako možnost jejich dalšího využití navrhoval právě nepřetržité sledování počasí (Řezáčová et al., 2007).

Roku 1960 byla vypuštěna první experimentální meteorologická družice TIROS-1 (USA), která byla umístěna na nízkou polární dráhu. Evropa svou první družici Meteosat-1 vypustila roku 1977, obr. č. 1 (Řezáčová et al., 2007).

Meteosat-1 obíhal ve výšce cca 36 000 km v rovině zemského rovníku jednou za 24 hodin. Družice byla „zavěšena“ nad Guinejským zálivem, tudíž byla schopna zobrazit celou Evropu, Afriku, západní Asii, většinu Atlantského oceánu a část Jižní Ameriky. Hmotnost družice byla cca 320 kg, při startu obsahovala ještě 4 kg paliva. Její rozměry byly 2 x 3 metry. Orientace v prostoru byla zajištěna rotací o rychlosti 100 otáček za minutu (ČHMÚ, 2006).



Obr. č. 1: Meteosat-1 (ČHMÚ, 2006).

Družicová měření představují alternativní zdroj dat o teplotních poměrech ve městě. K jejich studiu jsou zapotřebí speciální účelová měření v husté síti měřících bodů (Dobrovolný, 2011).

Množství emitovaného záření v termální části elektromagnetického spektra (vlnové délky 8 – 12 mikrometrů) je nositelem informací o teplotních poměrech studovaného území. Tyto teplotní poměry jsou ale v případě metod dálkové detekce charakterizovány odlišnými veličinami, než je tomu v případě měření teploty vzduchu. Z družicových měření lze mimo jiné určit i tzv. teplotu aktivních povrchů (Dobrovolný, 2011).

V současné době již existuje několik družicových systémů, které jsou schopné poskytovat termální snímky. Tyto systémy se díky odlišnostem ve využití družic liší především v počtu snímaných termálních pásem a dále prostorovou a časovou rozlišovací schopností (Dobrovolný, 2011).

Pro studování městského klimatu jsou vhodné především snímky z družic Landsat či z radiometru ASTER, který je umístěn např. na družicích Terra (Dobrovolný, 2011).

V současné době existuje řada algoritmů, které se využívají pro výpočet povrchové teploty z družicových měření. Konkrétní postupy lze dělit podle počtu termálních snímků, ze kterých se vychází. Metody se dělí na tzv. mono-window, kdy je k dispozici jen jeden snímek. Toto poskytuje právě družice Landsat. Ve druhém případě se jedná o tzv. split-window algoritmy, které využívají dvou snímků (Dobrovolný, 2011).

4.3.2.4 Metody hodnocení tepelného ostrova města

Tepelný ostrov města se vyhodnocuje převážně tzv. indexy. Těchto indexů existují řádově stovky typů, které ukazují komplexní vliv vzrůstající teploty, vlhkosti a proudění vzduchu na člověka. Mnohé z těchto ukazatelů jsou založeny na empirickém výzkumu, tzn. že využívají projevů diskomfortu lidí spolu s naměřenými či pozorovatelnými meteorologickými charakteristikami. Projevem diskomfortu je např. míra nemocnosti, úmrtnost či subjektivní hodnocení rozsáhlého vzorku cílové skupiny obyvatel (Litschmann, v tisku).

Pro výpočet hodnot indexů lze využít ekvivalentní teploty k popisu rozdílů mezi jednotlivými částmi města, a to k popisu bioklimatologického hlediska. Podobně jako ekvivalentní teplota (do výpočtu vstupuje vlhkost a teplota vzduchu) je

zkonstruována celá řada podobných indexů. Mezi nejvíce používané se řadí HUMIDEX, teplotně-vlhkostní index THI (Temperature Humidity Index), tepelný index HI (Heat Index) a další (Litschmann, Rožnovský, 2012).

THI neboli teplotně-vlhkostní index byl vyvinut pro stanovení nestresové teploty na pracovištích. THI využívají i vliv různé vegetace či umělých povrchů, které mohou teplotu ovlivňovat. Bylo zjištěno, že optimální podmínky pro lidský organismus se nachází v rozmezí 15 – 20 °C (Litschmann, Rožnovský, 2009).

K výpočtu THI se používá vzorec:

$$THI(^{\circ}C) = T - (0,55 - 0,0055RH) \cdot (T - 14,5)$$

kde: T – teplota vzduchu (°C)

RH – relativní vlhkost vzduchu (%)

(Litschmann, Rožnovský, 2009).

HI neboli tepelný index vyjadřuje kombinaci teploty vzduchu a vlhkosti. Odráží tedy schopnost lidského těla disipovat teplo (Kyselý, Huth, 2004).

Index HI byl definován roku 1979 R. G. Steadmanem a většinou je využíván v USA jako tzv. „Zdánlivá teplota (AT)“. Index HI se vyčísluje pouze pro teploty přesahující 20°C. Vypočítaná hodnota indexu vyjadřuje míru zdravotního rizika pro ohrožené skupiny obyvatel (Litschmann, Rožnovský, 2009).

Index HI lze vypočítat podle níže uvedeného vzorce:

$$HI(^{\circ}F) = -42,38 + 2,049 * T + 10,143 * RH - 0,2248 * T * RH - 0,0068378 * T_2 - 0,05482 * RH_2 + 0,001229 * T_2 * RH + 0,0008529 * T * RH_2 - 0,00000199 * T_2 RH_2$$

kde: T – teplota vzduchu (°F)

RH – relativní vlhkost vzduchu (%)

(Litschmann, Rožnovský, 2009).

HUMIDEX index neboli teplotně-vlhkostní index se využívá poměrně běžně. Slouží k popisu vlivu meteorologických podmínek na tepelnou pohodu lidí, kteří se nachází ve sledovaném prostoru. Využívá se i při stanovování tzv. horkých vln (viz

Kap. 4.3.2.4.1). Tepelný ostrov města je s tepelnou pohodou lidí úzce spojen, jak je již zmíněno dříve (Litschmann, Rožnovský, 2012).

Index HUMIDEX je obdobou ekvivalentní teploty, jejíž užití na českém a slovenském území je již tradicí. Dříve ho využíval např. na území Slovenska v roce 1979 kolektiv kolem Dr. Čabajové. V roce 2012 byl tento index využit také při hodnocení podmínek měst Olomouce a Brna (Litschmann, Rožnovský, 2012).

Pro použití indexu HUMIDEX jsou třeba data o hodinových hodnotách teplot a vlhkosti na sledovaném území (Tomáš, 2012).

Index HUMIDEX se potom spočítá dle vztahu:

$$H_{umidex} = T + (0,5555) \times \left\{ \left[610,78 \times \exp\left(\frac{t}{t + 238,3}\right) + 17,2694 \times rh10^{-2} \right] - 10 \right\}$$

kde: T = teplota vzduchu [°C]

rh = relativní vlhkost vzduchu [%]

(Tomáš, 2012).

Vyhodnocení indexu HUMIDEX na tepelnou pohodu lidí je jasně patrný z tab. č. 1.

Tab. č. 1: Zhodnocení jednotlivých hodnot indexu Humidex (Litschmann, Rožnovský, 2012).

Hodnota indexu Humidex	Vliv na obyvatelstvo
30 – 39	Mírné tepelné nepohodlí, diskomfort se může objevit u citlivých osob
40 – 45	Zvýšené nepohodlí, je zapotřebí se vyvarovat tělesné námraze, značný diskomfort
>45	Nebezpečí
>54	Nebezpečí úpalu

Dalším z velmi populárních výpočtů indexů je model ukazující lidskou energetickou rovnováhu. Jedná se o tzv. Fangersiho rovnici pro venkovní klima, která vznikla roku 1972. Tato rovnice bilancuje tepelný pocit lidí (PMV – Predicted Mean Vote), hodnocení indexu PMV ukazuje tab. č. 2. PMV se vyjadřuje pro aktuální situaci a uvažuje se zde i o odporu oděvu (Mayer, Matzarakis, 1998).

Tab. č. 2: Godnocení indexu PMV a PET (Physiological Equivalent Temperature – fyziologická ekvivalentní teplota), který vyjadřuje lidské vnímání tepelného stresu; index zahrnuje vnitřní produkci tepla: 80 W a tepelný odpor oděvu: 0,9 clo (Mayer, Matzarakis, 1998 in Durdíková, 2010).

PMV	PET	lidské pocity	míra teplotního stresu
-3,5	4°C	velká zima	extrémní chladový stres
		zima	silný chladový stres
-2,5	8°C	chladno	mírný chladový stres
		mírně chladno	lehký chladový stres
-1,5	13°C		
-0,5	18°C		
		příjemně	žádný teplotní stres
0,5	23°C		
1,5	29°C	mírně teplo	lehký tepelný stres
		teplo	mírný tepelný stres
2,5	35°C		
3,5	41°C	horko	silný tepelný stres
		velké horko	extrémní tepelný stres

4.3.2.4.1 Horké vlny

Do mikroklimatologie městských ekosystémů spadá i vliv městského klimatu na člověka a jeho pocity tepelné pohody (Sulovská et al., 2010).

Výzkumem změn městského klimatu v kontextu s měnícím se životním prostorem a antropogenní činností člověka se zabývá mnoho vědních oborů, od urbání klimatologie přes bioklimatologii až po lékařské vědy. Nejčastěji jsou ovšem předmětem výzkumu projevy a důsledky horkých vln, u nichž se poukazuje na zvýšenou míru úmrtnosti obyvatelstva (Tomáš, 2012).

Horká vlna je pojem značně relativní vzhledem ke klimatickým podmínkám konkrétní lokality. Teploty, které jsou pro obyvatele a ostatní organismy v teplejších oblastech považovány za normální, jsou v chladnějších oblastech považovány za abnormální či dokonce ohrožující zdraví obyvatel (Pokladníková et al., 2009).

Definice horkých vln je několik, níže jsou uvedené některé z nich:

WMO doporučuje horkou vlnu definovat jako období, během kterého maximální teplota vzduchu v pěti po sobě následujících dnech byla minimálně o 5°C vyšší, než je průměrné denní normálové maximum pro dané období (Pokladníková et al., 2009).

Meteorologický slovník definuje tzv. horkou vlnu jako vícedenní období veder, během kterého dosahují maximální denní teploty vzduchu 30°C a více (Sobíšek et al., 1993).

Kyselý a Kalvová (1998) definují horké vlny jako souvislé období výrazného tepla, které splňuje tři podmínky:

1. alespoň tři dny s maximální denní teplotou větší nebo rovnou 30°C
2. průměrná maximální denní teplota je větší či rovna 30°C
3. maximální denní teplota po všechny dny horké vlny je větší či rovna 25°C.

Ve střední Evropě bývá existence horkých vln podmíněna advekcí tropického vzduchu nad pevninu či intenzivním radiačním ohříváním polárního vzduchu, který setrvává nad přehřátou pevninou za anticyklonální situace (Pokladníková et al., 2009).

Dny, kdy maximální teplota přesáhne 30°C, se nazývají tropické. Celkově se tropické dny nevyskytují často a jejich počet během roku velmi kolísá, stejně jako je tomu v případě horkých vln (Střeščík, 2004).

Období největších veder se zejména ve střední a jižní Evropě označuje lidově jako tzv. „psí dny“. Příchod veder je totiž dáván do souvislosti s východem hvězdy Sirius (Psí hvězdy), která se mezi 22.7. až 23.8. nachází v blízkosti Slunce a je zřetelně pozorovatelná ze Země. Označení „psí dny“ se již stalo používaným odborným termínem (Pokladníková et al., 2009).

K vyhodnocení horkých vln se používají běžné statistické metody, které jsou prezentovány formou tzv. „indexů“. Velmi frekventovaným indexem je již výše vysvětlený index HUMIDEX, či se využívá charakteristika PET (tab. č. 2), která vystihuje termální působení prostředí na teplotní rovnováhu každého jedince (Tomáš, 2012).

Horké vlny s sebou nesou zvýšenou úmrtnost obyvatelstva jako důsledek stresu způsobeného horkem. Jedná se o jednu z hlavních oblastí dopadů klimatických změn ve městech na společnost (Kyselý, Huth, 2004).

Nelze ovšem stanovit obecně prahovou teplotu, při které začíná docházet k nepříznivým vlivům na lidské zdraví. Tato prahová teplota je podmíněna různým životním stylem lidí, odlišnou mírou adaptability (Kyselý, Huth, 2004).

Největší počet úmrtí souvisejících s horkem je soustředěn do velkoměst mírných a subtropických oblastí. Ohroženými skupinami obyvatel jsou zejména lidé starší 65 let, malé děti a dlouhodobě nemocní lidé (Kyselý, Huth, 2004).

Horké vlny mohou mít mírnější průběh, či mohou být doslova devastující. Např. v roce 2003 nastala horká vlna, která zasáhla skoro celé území Evropy (Keatinge, 2003).

V Británii si teploty vyžádaly během jednoho týdne 1000 lidských životů, ve Francii si tato horká vlna vyžádala dokonce 10 000 životů. Tento rozdíl je dán i zeměpisnou polohou uvedených států. Ve Francii, která leží blíže rovníku než Británie, byly hodnoty „horké vlny“ vyšší než v Británii (Keatinge, 2003).

Za horkých vln jsou města ohrožována i působením částic prachu a koncentrací ozónu v přízemní vrstvě atmosféry. V městských oblastech přispívá ke zvýšenému výskytu horkých vln i tepelný ostrov města (Pokladníková et al., 2009).

4.3.3 Modelování

Předpovědní modely dnes bezesporu patří k základním podkladům pro tvorbu kvalitní meteorologické předpovědi. I když se produkty těchto modelů neustále zlepšují a modely vytváří stále specializovanější výstupy, je ještě v nedohlednu situace, kdy by stav předpovídaný modelem odpovídal skutečnosti. Nepřesnost modelů je způsobena celou řadou příčin. Mezi ně patří např. nedostatek kvalitních a dostatečně hustých vstupních dat, omezení dané vlivem konečného rozlišení modelu či z důvodu nedostatečné možnosti popsání simulovaného jevu. V takovém případě se model uchyluje k přibližné parametrizaci takovýchto jevů, či pouze na jejich statistický popis (Huthová, Váňa, 2000).

Způsobů, kterými je možné modely vyhodnotit, je celá řada, nicméně nejvěrohodnější údaje poskytují metody objektivních verifikací. Jedná se tedy o metody založené na statistickém vyhodnocování modelových výstupů (Huthová, Váňa, 2000).

Tepelný ostrov města se často vyhodnocuje z přízemní teploty vzduchu. Předpověď přízemních prvků numerickými předpovědními modely je velmi obtížný úkol.

Z hlediska modelů se totiž jedná o údaje z okraje výpočetní oblasti, kterou je atmosféra či její část. Z toho důvodu se při předpovědi přízemní teploty provádí pouze extrapolace atmosférické teploty z nejnižší modelové hladiny s využitím povrchových parametrů z parametrizace povrchových a půdních dějů (Huthová, Váňa, 2000).

Přízemní veličiny spadají do skupiny tzv. diagnostických veličin, jejichž hodnoty jsou stanovovány díky hodnotám prognostických veličin či jiných diagnostických veličin modelu. Z toho vyplývá, že přízemní teplota je závislá na hodnotách jiných polí, sama však žádná další pole neovlivňuje. Jednotlivé faktory, které vstupují do procesu výpočtu, lze rozdělit do čtyř skupin a pro každou tuto skupinu kvantifikovat chybu, která přispívá ke konečné chybě, se kterou je tato hodnota veličiny stanovena. Takovými modely se např. zabývá předpovědní model Aladin (Huthová, Váňa, 2000).

Ovšem proto, aby mohl být využit např. uvedený model Aladin, je nutné mít vstupní řadu naměřených hodnot s úplným pozorováním, tzn. bez chybějících údajů. Proto se u dlouhých řad měření požaduje tzv. homogenizace řad, což je klíčový požavadek zejména při modelování kolísání klimatu či modely mikroklimatických poměrů (Květon, Žák, 2004).

Nehomogenity naměřených řad jsou takové změny v pozorovaných řadách, které nesouvisí se změnami počasí a podnebí. Vznikají především změnami polohy stanice a jejího okolí. Změnami lze chápat změnu zástavby či vegetačního pokryvu. Dále změnami použitých přístrojů, jejich instalací či kalibrací, změnami pozorovacích termínů, změnami pozorovatele a pečlivosti jeho měření, změnami způsobu výpočtu denních průměrů (Květon, Žák, 2004).

Pro homogenizaci časových řad se používá celá škála metod. Jedná se například o software vytvořený Petrem Štěpánkem – AntClim, který je volně dostupný na internetu, či např. software MASH, který je určen pro srážkové a teplotní řady měsíční, sezonní a roční (Květon, Žák, 2004).

Je třeba uvést, že jakkoli jsou výsledky testů statisticky exaktní, má jejich praktická aplikace nádech subjektivity. Mimo zcela jasných případů nehomogenit podpořených metadaty zůstává celá řada zlomů, jejichž příčina není zcela jasná. Rovněž tak mohou být řešení nalezená homogenizačními programy variantní po stránce časového určení a vlastní velikosti zlomu. Toto je společný problém všech homogenizačních metod (Květon, Žák, 2004).

V řadě případů je dobré pracovat s tzv. technickými řadami. Pokud je k dispozici úplná homogenní řada, jsou tyto řady shodné s naměřenými řadami. U ostatních

případů se jedná o řady, které jsou doplněné odhadem chybějících pozorování a dle potřeby jsou homogenizované. Může se jednat o řady, které obsahují úseky skutečných měření, doplněné dopočítanými hodnotami či o řady plně fiktivní, které byly uměle vytvořené pro dané místo na základě měření v bližším či vzdálenějším okolí apod. (Květon, Žák, 2004).

Z výše uvedeného vyplývá, že metoda MASH je relativní test homogenity, kdy testovaná řada je srovnávána s hodnotami tzv. referenční řady (Květon, Žák, 2004).

Modely lze obecně rozdělit do dvou skupin – mechanický model a model energetické bilance. Mechanický model zdůrazňuje viskozitu a model energetické bilance je založený na rozdílu mezi energií městské a příměstské oblasti (Saitoh et al., 1996).

4.3.3.1 Neuronové sítě

Kromě již zmíněných modelů se v současnosti využívá i neuronových sítí, které jsou schopné simulovat vývoj klimatu a vytvářet složité klimatické modely. Teorie neuronových sítí je velice rozsáhlá. V dnešní době již existuje celá řada typů neuronových sítí. Některé typy jsou vhodné pro řešení regresních typů úloh, jiné pro klasifikační úlohy (Metelka, 2000).

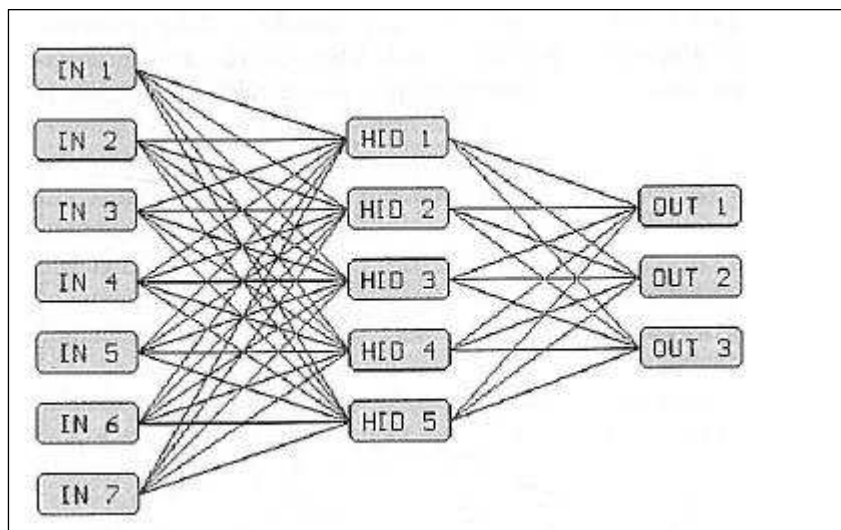
Neuronové sítě slouží především k sestavování statistických modelů ve značně komplexních systémech, u kterých není možné dostatečně spolehlivě odhalit charakter vazeb uvnitř systému. Jedná se také o tzv. nedeklarativní systémy v tom smyslu, že kromě dat není třeba do modelu zadávat žádné další informace o předpokládaném tvaru závislosti mezi nezávisle či závisle proměnnými (Metelka, 1999).

Inteligencí je u neuronových sítí myšlena schopnost modelu zachytit a vhodným způsobem kvantifikovat obecné vlastnosti dat a vztahů mezi nimi a naopak potlačit vazby, které se zde vyskytují zřídka či nejsou dostatečně spolehlivé a pevné (Metelka, 1999).

Výše uvedená kvantifikace neuronových sítí vychází pouze z vlastností samotných zadaných dat. Jeden z nejdůležitějších rysů neuronových sítí je jejich schopnost „učit se“ jak z charakteru samotných dat, tak i z vlastních chyb, které vznikají při snaze zachytit vztah mezi nezávisle či závisle proměnnými (Metelka, 1999).

Princip neuronových sítí vychází z funkce skutečných neuronů v biologických nervových systémech a i terminologie je výrazně ovlivněna touto skutečností. Umělé

neuronové sítě jsou konstruovány z řady elementů (neuronů), které jsou vzájemně propojeny tzv. synapsemi, podobně jako biologické neurony. Umělé neuronové sítě se vyznačují tím, že jejich elementy (neurony) jsou organizovány v tzv. vrstvách, obr. č. 2. Synapse potom zajišťují tok signálu mezi elementy. Každá synapse, která se nachází v umělých neuronových sítích, má právě jeden vlastní parametr, tzv. váhu synapse (Metelka, 1999).



Obr. č. 2: Znárodnění umělé neuronové sítě. IN – neurony vstupní vrstvy, HID – neurony skryté vrstvy, OUT – neurony výstupní vrstvy.

Neuron, který tvoří základní prvek neuronové sítě, plní tři základní úkoly. Jsou jimi: agregace vstupních signálů, prahování a nelineární transformace (Metelka, 1999).

1. Agregace signálu

- soustředování signálů, které vstupují do neuronu a jejich převod na skalární veličinu (Metelka, 2000).
- V praxi je toto zrealizováno pomocí váženého průměru výstupních signálů z neuronů předchozí vrstvy (Metelka, 1999).

2. Prahování

- porovnání agregovaného skalárního signálu s vnitřním parametrem neuronu (Metelka, 2000).

- V praxi se v tomto kroku operace odečte od skalárního signálu prahová hodnota neuronu (Metelka, 1999).

3. Nelineární transformace

- převod prahového skalárního signálu na výstupní signál z neuronu (Metelka, 2000).

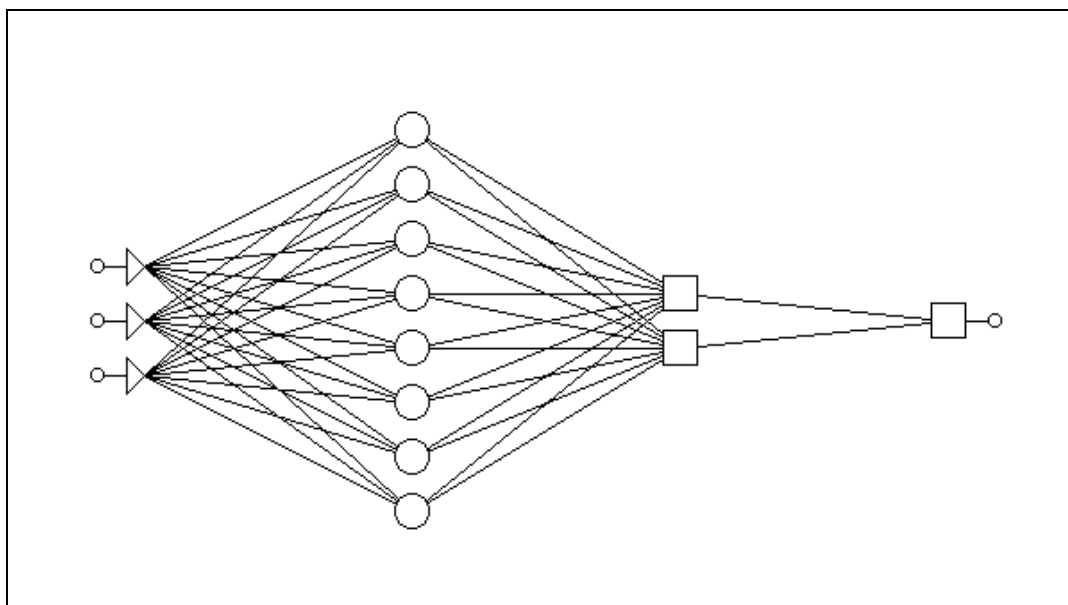
Umělý neuron lze tedy chápat jako matematický procesor, do kterého vstupuje n -rozměrný vektor vstupních signálů a z něhož vystupuje jediný signál výstupní (Metelka, 1999).

Neurony, které transformují signál výše uvedeným způsobem, se nazývají perceptrony a sítě, které jsou z nich sestavené potom perceptronové neuronové sítě. Tato síť je také organizována ve vrstvách. První vrstvou je vrstva tzv. vstupních neuronů, která musí být vždy definována. Následuje jedna či několik vrstev tzv. skrytých neuronů a na konci řetězce se nachází vrstva tzv. výstupních neuronů (Metelka, 1999).

Existují samozřejmě i další sítě pro řešení úloh. Výběr optimálního typu sítě je velice důležitý z hlediska kvality výsledků. Nejvhodnějším typem sítě pro řešení regresních úloh je tzv. zobecněná regresní síť (GRNN – Generalized Regression Neural Network /Metelka, 2000/).

Zobecněná neuronová regresní síť je speciálním typem vícevrstevné neuronové sítě, schéma znázorňuje obr. č. 3. Tato síť je vždy rozčleněna do čtyř vrstev (Metelka, 2000).

- Vstupní vrstva – počet neuronů v této vrstvě je vždy roven rozměru vektoru nezávisle proměnných
- Vrstva tzv. radiálních neuronů – zde je počet neuronů roven nejvýše počtu zpracovávaných dat
- Vrstva lineárních neuronů – počet neuronů je o jeden větší, než je rozměr vektoru závisle proměnných
- Výstupní vrstva – počet neuronů je stejný jako rozměr vektoru závisle proměnných



Obr. č. 3: Schéma zobecněné regresní neuronové sítě. Vstupní neurony jsou schematicky označeny trojúhelníky, neurony lineárního typu čtverci a neurony radiálního typu kroužky (Metelka, 2000).

Tato síť je vždy orientována, tedy má jednoznačně daný směr postupu signálu od vstupní vrstvy k výstupní vrstvě. Je také plně propojena, tzn. že každý neuron radiální i lineární vrstvy je propojen synapsemi se všemi neurony předchozí i následující vrstvy (Metelka, 2000).

Jediným parametrem výše popsané zobecněné regresní sítě, který je třeba určit před začátkem modelování, je tzv. shlazovací faktor (Metelka, 2000).

Je ovšem třeba poznamenat, že není jednoduché dělat klimatické modely pro malé území České republiky. Pro globální klimatické modely, neboli GCM (Global Climate Models) je složité vykreslit lokální rysy klimatu v malém a tak orograficky složitém terénu, jako je tomu v případě České republiky (Kalvová et al., 2009).

Globálních modelů, které by byly vhodné pro tvorbu modelů v malých oblastech o rozloze České republiky, není mnoho. Modely se potýkají z řadou překážek a problémů. Hlavním problémem je velký význam fyzikálních procesů subgridového měřítka pro klima malých oblastí. Řada měřených klimatických prvků (atmosférické srážky, výpar, denní minimální teplota) je do značné míry ovlivněna charakterem zemského povrchu v okolí měřícího stanoviště. Výše vyjmenované veličiny jsou v členitém terénu prostorově proměnné. Oproti tomu výstupy z GCM jsou z pohledu regionálního velmi shlazené (Kalvová et al., 2009).

Lepší shodu u globálních modelů lze najít u teploty vzduchu než u atmosférických srážek. Od globálních modelů nelze očekávat zachycení vlivu složité orografie České republiky na atmosférické srážky či teplotu vzduchu (Kalvová et al., 2009).

4.4 Metody snižování tepelného ostrova

4.4.1 Úvod

Snižování hodnot tepelného ostrova města je v dnešní době velmi frekventovaným tématem. Tato kapitola sumarizuje příčiny zvyšování hodnot tepelného ostrova města (str. 34 – 35) a uvádí metody, kterými je možné tyto hodnoty snížit (str. 35 – 36).

4.4.2 Příčiny zvyšování hodnot tepelného ostrova

Okolností, které způsobují změnu charakteru klimatu a vznik tepelného ostrova města, je několik. Např. lidská aktivita, která v mnoha směrech velmi výrazně odchyluje klima od normálu. Tato variabilita se projevuje jak v makroměřítku, tak v mikroměřítku, např. v oblasti města. Proměnlivost krajiny a antropogenní činnost vyvolává klimatické změny s určitým topoklimatem (Vysoudil, 2009).

Pojem topoklima je synonymem pro místní klima. Místní klima je klima, které je vytvářené pod bezprostředním vlivem georeliéfu, jeho sklonu, orientace a nadmořské výšky (Oke, 1987).

V souvislosti s topoklimatem se často spojují tzv. místní klimatické efekty. Místní klimatické efekty jsou projevem těsné vazby mezi morfologií aktivního povrchu a charakterem jeho pokryvu. Zvláště důležité jsou rozdíly v tepelné kapacitě nehomogenních aktivních povrchů, které ovlivňují místní klima (Vysoudil, 2009).

Antropogenní činnost bývá spojována se vznikem, projevy a zesílením místních klimatických efektů a právě antropogenní faktory velmi často vyvolávají spolu s místními klimatickými efekty synergický efekt (Vysoudil, 2009).

Proces urbanizace podstatným způsobem mění přirozené vlastnosti zemského povrchu. Nahrazování vegetace ve městech zástavbou a komunikacemi vede v porovnání s nezastavěným okolím k větší akumulaci tepla a tím k nárůstu teploty vzduchu. S rostoucí teplotou vzduchu následně roste i zvýšená energie na chlazení budov, automobilů a používáním klimatizace tak vzniká další odpadní teplo (Sulovská et al., 2010).

Důsledkem rychlého rozvoje industrializace a urbanizace je i zatížení ekonomického růstu a sociálních funkcí městských oblastí. Tento rychlý růst byl pozorovatelný zejména během tří desetiletí po konci druhé světové války. Toto období výrazně zatížilo i životní prostředí, prudce rostla spotřeba energie a koncentrace emisí a imisí v ovzduší kolem měst. Došlo k výraznému nárůstu koncentrací NO_x a SO_x v ovzduší a zároveň ke snížení relativní vlhkosti vzduchu, což přispívá ke zvyšování teploty (Saitoh, Hisada, 1991).

Pro život ve městech je třeba stále většího množství energie, to vyvolává nutnost její vyšší produkce. S tím jsou spojené výstavby nových energetických zařízení. Vzhledem k obvykle nízké účinnosti se podílí na tzv. tepelném znečištění atmosféry a tak výrazně přispívají k nárůstu tepelného ostrova města (Vysoudil, 2009).

4.4.3 Metody snižování hodnot tepelného ostrova

Většina měst je vystavěna z materiálů, které kumulují teplo a přispívají tak k nárůstu tepelného ostrova města. Jednou z prozatím nejvíce diskutovaných metod snížení hodnot UHI ve městech je ozeleňování střech (Kumar, Kaushik, 2005).

Po celém světě se provádí studie a praktické testy. Všechny studie ale naráží na stejný problém, kterým je závlaha ozeleněných střech. Některá města se potýkají s chronickým nedostatkem vody, tudíž je pro ně nemožné vyčlenit potřebné množství vody na závlahu ozeleněných střech. Částečně by mohlo pomoci vyřešit nedostatek zavlažovací vody svádění dešťové vody do nádrží a její postupné uvolňování pro závlahu střech. Toto řešení ovšem naráží na problém pH dešťové vody a její znečištění, hlavně se jedná o biologické znečištění a s tím spojený jeho rozklad v nádržích. Měřením bylo prokázáno, že dešťová voda může dosahovat pH až 2,4, což pro flóru není příznivé. V České republice se ovšem pH dešťové vody pohybuje v rámci neutrálních hodnot. Toto řešení naráží, kromě výše zmíněných úskalí, ještě na ekonomické problémy. Výstavba mnoha nádrží a vytváření rozvodů pro závlahu střech by bylo velmi nákladné (Durdíková, 2010).

Z praktických testů provedených v Indii bylo zjištěno, že kombinace zelené střechy a solárního odstínění střech sníží teplotu v budově až o 5,1°C oproti průměrné teplotě v budově s běžnou střešní krytinou. Takovéto ochlazení je dostačující pro vypnutí klimatizací v budově, čímž se ušetří až 3,02 kWh za den. Jedná se tedy o velmi efektivní řešení, které není ani tolik finančně nákladné na výstavbu. Jediným dosud

nevyřešeným problémem je zajištění dostatečné závlahy ozeleněných střech (Kumar, Kaushik, 2005).

Ozeleňování střech se již nyní ve zvýšené míře využívá v tropických a subtropických oblastech (Durdíková, 2010).

Další studie byla provedena například v Mexiko City. Tato studie se primárně zaměřila na výsadbu živých plotů, které pomohou v rozložení tepelných toků vzduchu a tím zabrání tvorbě nehybných vzduchových vrstev u země. Ovšem i zde se vyskytl problém dostatečné závlahy, protože ve většině měst je hlavním stavebním prvkem beton, který vodu zadržuje a nepropouští, tudíž jí přirozenou cestou není dostatek a rostliny tím trpí. Dalším problémem se ukázalo snížení evapotranspirace, jejímž následkem je zhoršené prospívání stromů a vytváření mikroklimatu v okolí stromů, keřů či živých plotů. Výsadba živých plotů se ukazuje jako dobrá metoda v boji proti tepelnému ostrovu, ale je třeba vyřešit problém s již tolikrát zmiňovanou závlahou (Barradas, 2000).

Objevují se i studie zabývající se srovnáním stavebních materiálů. Ukazuje se, že k částečnému snížení tepelného ostrova by stačilo nahrazení tmavých krytin na střechách krytinami světlými, které tolik neakumulují teplo (Takebayashi, Moriyama, 2007).

4.5 Historický vývoj města v souvislosti se změnou jeho klimatu

4.5.1 Úvod

Následující kapitola popisuje historický vývoj města Prahy v souvislosti s tepelným ostrovem města (str. 37 – 42).

Praha je město se staletou historií utvářené na rozmanitém terénním reliéfu vltavské kotliny. Svou strukturou a organizací se vždy přizpůsobovalo konfiguraci terénu a jednotlivé sídelní struktury vznikaly v jasně vymezeném prostoru, který je i v dnešní době určující pro obraz města. Postupné plošné rozrůstání a rozšiřování města v nových správních hranicích se projevilo nejen změnou charakteru struktury města, ale také zvýšením nároků na jeho infrastrukturu (UAP, 2012).

4.5.2 Vývoj do konce 19. století

Historické zprávy, které by dokumentovaly postupné znehodnocování životního prostředí českých zemí, popř. Prahy, se do počátku 19. století vyskytují pouze sporadicky. Zmínky jsou například zaznamenány v odborných časopisech lékařských, denících, dobových knižních publikacích atd. (Munzar, 1995).

Poměrně podrobným dokladem z období před počátkem 19. století je pasáž v ročence Mannheimské meteorologické společnosti o umístění meteorologických přístrojů v pražském Klementinu z roku 1781. Autorem je A. Strnad, ředitel Královské hvězdárny a první český meteorolog v dnešním pojetí (Munzar, 1995).

„Dne 24. července 1781 byly ve 4. patře královské observatoře umístěny přístroje: teploměr a vlhkoměr, které byly vystrčeny přímo na severní straně v dřevěné budce prořezané ze všech stran několika sty otvory, které brání průniku deště a slunečních paprsků při jeho největším rozkvyvu na východ a na západ. Cílem je, aby vzduch co nejsvobodněji pronikal kolem měřidel...

Naše observatoř je však umístěna na velmi nízkém místě a obklopena především na severní a východní straně židovskými domy. Ačkoliv jsou všechny domy nižší, i tak

je jisté, že kouř opakovaně i když zřídka bude ovlivňovat měřenou teplotu...“ (Munzar, 1995).

Tento dokument A. Strnada o antropogenním ovlivnění teploty vzduchu ve městě ve srovnání s rurální oblastí je o bezmála padesát let starší než práce L. Howarda, která pojednává o tomtéž problému podnebí Londýna (Munzar, 1995).

L. Howard roku 1833 jako první popsal jev, který se nyní nazývá tepelný ostrov města. Až roku 1982 T. R. Oke popsal dva hlavní předpokládané důvody existence tepelného ostrova města. Jsou jimi geometrie povrchu a povrchové tepelné vlastnosti, druhým důvodem je potom tepelná vodivost materiálů měst (García-Cueto et al., 2007).

Až do poloviny 19. století lze označit ovzduší v Praze za poměrně čisté, protože jeho kvalita dovozovala pěstovat i uvnitř města tak náročnou zemědělskou plodinu, jakou bezesporu je vinná réva. Je ovšem důležité zmínit, že v tomto období byla Praha chápána jinak než dnes, měla rozlohu jen 8,05 km² (Munzar, 1995).

Nejstarší osídlení Prahy je v archeologických nálezech doloženo z území Dejvic, Vokovic, Michle a Libně. Románská Praha se utvářela v prostoru Starého Města, Malé Strany, Hradčan a Vyšehradu. Maximální rozvoj středověkého města nastal při založení Nového Města pražského r. 1348 a s tím spojené rozšíření hradeb města až k Vyšehradu. Základ pražského osídlení v moderním pojetí města, tedy města se samosprávou a městskými právy, tvořila čtyři samostatná města – Staré Město, Nové Město, Malá Strana a Hradčany. Proběhlo několik pokusů o spojení jednotlivých měst, ale až do 16. století neúspěšných. Ke spojení do jednoho městského sídla došlo až v r. 1784, kdy vzniklo statutární město Praha se 70 000 obyvateli a územní rozlohou, již zmíněnou výše, 8,05 km² (UAP, 2012).

Roku 1850 byl k Praze připojen Josefov. V této době se v Praze nevyskytovaly ani větší průmyslové podniky, protože pro vysokou zastavěnost zde pro ně nebylo dost místa. Nové průmyslové oblasti se tedy vytvářely za hradbami, na Smíchově a v Karlíně (Munzar, 1995).

Roku 1823 byla v Libni vybudována první strojírna a za ní následovaly v rychlém sledu další průmyslové objekty, takže v roce 1847 bylo v Praze a jejím blízkém okolí již vybudováno jedenáct strojíren. Tento prudký nárůst průmyslových objektů s sebou nesl i prudký nárůst emisí a imisí, které se z jejich komínů dostávaly do ovzduší. Proto již roku 1801 městská rada zamítla žádost o povolení výstavby továrny v centru Prahy, protože spalování velkého množství uhlí by spolu

s nepříznivými klimatickými podmínkami ve městě mohlo způsobit mlhy i v centru města (Munzar, 1995).

V roce 1843 místní správa zmiňuje zvýšené množství nehod v pražské dopravě, které jsou důsledkem populačního růstu. Zvyšující se počet obyvatel a zvyšování nároků na pražskou dopravu také způsobují zvyšování průměrných teplot ve městě, kde je převážně málo cirkulující vzduch (Munzar, 1995).

Roku 1883 se k území Prahy připojil Vyšehrad, o rok později i Holešovice-Bubny a v roce 1901 i průmyslová Libeň (Smíchov a Karlín se k Praze připojily až po roce 1922 / Munzar, 1995/).

V 50. letech 19. století se stále rozvíjel průmysl i stavební ruch. Pro jejich potřeby se zakládaly další vápenky a cihelny, což mělo z následků velký počet komínů. Komíny produkovaly velké množství spalin, které způsobovaly mlhy a ohrožovaly zdraví obyvatel, ale v neposlední řadě přispívaly ke zvyšování průměrné teploty ve městě. Proto byly stanoveny zásady pro výstavbu města, jejichž základ byl položen už v roce 1875. Ulice musely být zakládány s ohledem na převládající směry větrů, výška domů se musela řídit šířkou ulice, velikost domů musela odpovídat velikosti zastavěné plochy, nesmělo být narušeno přirozené větrné proudění. Dále bylo ustanoveno, že průmyslové závody nesmí ovlivňovat klima města a je třeba je stavět daleko od obytných městských částí (Munzar, 1995).

Roku 1895 byl otištěn článek prof. Augustina, který hodnotil průměrné teploty v Praze a porovnával je s meteorologickou stanicí na Petříně, která byla umístěna na vrcholu Petřínské rozhledny. Bylo zjištěno, že teplota v centru Prahy je o 0,5°C vyšší, v zimě se tato hodnota zvedá ještě o 0,7°C. Prof. Augustin v článku také zdůrazňuje, že v centru Prahy je nejen vyšší teplota, ale je zde pozorována i pomalejší výměna vzduchu, která udržování vyšší teploty podporuje (Munzar, 1995).

4.5.3 Vývoj od počátku 20. století

S rozvojem průmyslové výroby a založením sítě železnic město vystoupilo z hradeb a postupně se rozvíjelo do podoby souvisle urbanizovaného území. V r. 1922 bylo město rozšířeno o dalších 37 obcí a vznikla tzv. Velká Praha, jejíž rozloha činila 171,6 km². K poslední administrativní změně hranic Prahy došlo r. 1974, kdy bylo k městu připojeno dalších 30 obcí. Praha tím získala rozlohu 496,1 km², obr. č. 4. (UAP, 2012).

odsíření komínů, lepší filtry v průmyslových komínech, používání bezolovnatého benzínu atd., se ve městech České republiky v posledních desetiletích výrazně zlepšila kvalita ovzduší. V Praze od počátku 90. let 20. století byl pozorován rychle klesající trend koncentrací většiny znečišťujících látek. Nebezpečně vysoké koncentrace SO₂, působící smogové epizody, se v současné době v Praze prakticky nevyskytují. V letech 1999 – 2007 nebyla smogová situace v Praze zaznamenána ani jedna. Snižování emisí je spojeno s využíváním bezolovnatého benzínu, s lepšími komínovými filtry v průmyslových oblastech atd. (Knozová et al., 2009).

Obecně se předpokládá, že díky výraznému oteplování atmosféry se bude zvyšovat extrémnost počasí, kdy se sucho a horké vlny budou střídát s nárazovými a prudkými dešti a povodněmi. Předpokládá se tedy, že s rostoucím ohříváním zemského povrchu bude docházet ke zvýšení evapo-transpirace a tím ke zvětšování objemu vodních par v atmosféře (Hladný, 2003).

Díky vzrůstu průměrné teploty ve 20. století se mohou vyvinout z jednodenní výrazné srážky rozsáhlé povodně (Svoboda, 2003).

Velké povodně zasáhly území ČR ve 20. století několikrát, mezi největší patřily povodně roku 1903, 1997 a povodně z roku 2002. Právě povodně roku 2002 zbořily mýtus, že stoleté a větší povodně za sebou následují po delším období klidu. Povodně roku 2002 byly opravdu zdrcující, ale svou velikostí nebyly oproti minulosti ničím výjimečným. I přes několik mohutných povodňových vln bylo 20. století a zejména jeho druhá polovina na výskyt enormě velkých povodní chudší než předcházející odpovídající údobí v 19. století (Hladný, 2003).

Naproti tomu přibývá delších období beze srážek, která jsou ohrožována suchem. Jedná se tzv. horké vlny, které do značné míry ovlivňují zemědělství a vodohospodářství. Horké vlny také mají přímý dopad na zdravotní stav obyvatelstva. Vzhledem k tomu, že ve městech je, díky tepelnému ostrovu, vyšší průměrná teplota než v rurálních oblastech, mohou horké vlny město doslova „rozžhavit“. V takovýchto horkých vlnách je ohrožena tepelná pohoda obyvatelstva, což se projevuje i vyšší úmrtností obyvatelstva za těchto horkých vln (Chládková, Kalvová, 2005).

Ve 20. století se vyskytlo hned několik období, které byly teplotně nadprůměrné. Tato období se objevila mezi lety 1943-1952 a 1992-1995, kterým odpovídá i časové rozložení horkých vln a jasně se zde rýsují tři maxima, a to v roce 1940, 1950 a v roce 1990. Naopak velmi nízký výskyt nadprůměrných teplot byl zaznamenán na počátku 20. století a následně kolem roku 1980. Opravdu mimořádná horká vlna zasáhla území

České republiky v červenci a srpnu roku 1994, kdy kumulativní teploty značně přesahovaly 30°C a trvaly několik týdnů (Kyselý, 2002).

Horké vlny samozřejmě zasahují větší území než je území České republiky, ovlivňují atmosférickou cirkulaci nad celou Evropou. Např. výskyt dlouhé a kruté vlny veder v roce 1990 odráží zvýšenou perzistenci atmosférické cirkulace nad Evropou v průběhu letní sezony, protože všechny atmosférické systémy a fronty zaznamenaly zdržení svého pohybu oproti dlouhodobým předpovědím (Kyselý, 2002).

Pokračování procesu globálního oteplování může vést ke zvýšení intenzity, četnosti a trvání vln horka, které budou mít přímé dopady na obyvatelstvo (Dobrovolný et al., 2010).

5. Praktická část

5.1 Úvod

Praktická část mé práce je zaměřena na zhodnocení tepelného ostrova města na základě použitých dat. Jsou zde uvedeny čtyři hypotézy, které mají potvrdit či vyvrátit nárůst hodnot tepelného ostrova města za sledované období (str. 43 – 66).

5.2 Vyhodnocení průměrných měsíčních teplot vzduchu v Praze a okolí

5.2.1 Úvod

Následující kapitola se věnuje popisu získání materiálu pro zpracování hypotéz (str. 43 – 45), dále charakterizuje jednotlivé vybrané meteorologické stanice (str. 45 – 49) a zhodnocení uvedených hypotéz (str. 50 – 66).

5.2.2 Popis problematiky

Ke zjištění změn v hodnotách tepelného ostrova města jsem si zvolila šest meteorologických stanic, které se nachází do 50 km od centra Prahy. Pro účely analýzy vybraných teplotních charakteristik byly zvoleny průměrné měsíční teploty na vybraných stanicích mezi lety 1961 - 2011. Stanice byly voleny tak, že jedna stanice Klementinum – Praha, leží v samém středu Prahy, tudíž je u ní předpoklad zasažení tepelným ostrovem města. Další vybraná stanice Karlov – Praha se taktéž nachází v zastavěné oblasti vnitřní Prahy a tudíž by měla být také výrazně zasažena tepelným ostrovem města. Její poloha již ovšem ukazuje na to, že by tato stanice měla být zasažena antropogenními vlivy méně než je tomu u stanice Klementinum – Praha. Ostatní stanice Ruzyně, Kbely, Uhřetěves a Doksany reprezentují stanice, u nichž by vliv tepelného ostrova neměl být již tak zřejmý.

Z výše vyjmenovaných meteorologických stanic jsem od ČHMÚ Ústí nad Labem získala dlouhé řady průměrných měsíčních teplot mezi lety 1961 – 2011. Stanice Uhřetěves začala svá měření až v roce 1969. Tato skutečnost se projeví v grafických výstupech, ale významně neovlivní výsledek.

Jelikož vycházím z dlouhých řad, je zřejmé, že během dlouhé doby měření došlo na meteorologických stanicích k mnoha změnám. Měnila se jejich poloha (případ Klementina, kde se měnila nadmořská výška), změnilo se okolí stanic, použité přístroje, pozorovatelé, pozorovací termíny i vlastní metodika pozorování (Štěpánek, 2004).

Před statistickou analýzou dlouhých meteorologických časových řad je proto nutné tyto vlivy, které ovlivní výsledek statistických analýz, odstranit. Tyto vlivy nesouvisí s přirozenou variabilitou podnebí a počasí (Štěpánek, 2004).

Protože výše uvedené změny neproběhly na všech vybraných stanicích a ke změnám nedošlo najednou, je možné za pomoci vzájemného porovnávání odpovídajících řad, za použití statistických metod zjistit roky změn, a to včetně jejich velikosti či významnosti. Tato metoda se nazývá testováním relativní homogenity. Po zjištění homogenity sledovaných řad lze tyto vlivy eliminovat, jedná se o tzv. homogenizaci časových řad (Štěpánek, 2004).

Kromě výše uvedených vlivů, které ovlivňují dlouhé řady, se v případě meteorologických stanic, které se nachází ve městech, uplatňuje ještě zesilování tepelného ostrova města. Ve městech dochází k většímu znečištění ovzduší, změně charakteru povrchu v důsledku městské zástavby, k uvolňování odpadního tepla. Toto vše způsobuje, že je město teplejší oproti okolní krajině. Průměrná světová hodnota tepelného ostrova města se uvádí 1,5°C – 3,0°C (Behringer, 2010).

S postupným rozrůstáním plochy měst a nárůstem počtu obyvatel dochází zároveň i k postupnému zesilování tepelného ostrova města, které se oproti rurální oblasti otepluje rychleji (Behringer, 2010).

5.2.3 Materiál a metody

Dlouhé řady průměrných měsíčních teplot vybraných stanic mezi lety 1961 - 2011 byly získány po smluvní dohodě s ČHMÚ Ústí nad Labem.

K práci s těmito daty jsem využila funkce programu Microsoft Excel.

Získaná data byla nejprve zkoumána z hlediska nutnosti homogenizace dat. Poté byla data přepočítána na stejnou nadmořskou výšku 200 m n.m., což umožnilo lepší porovnávání dat.

Z průměrných měsíčních teplot přepočítaných na nadmořskou výšku 200 m n.m. byly vytvořeny grafické výstupy pro jednotlivá desetiletí, dále grafické výstupy průměrných teplot dle jednotlivých ročních období. Všechny grafické výstupy byly proloženy lineární regresí a doplněny o rovnice regrese a příslušnou hodnotu spolehlivosti. V rovnicích lineární regrese proměnná x reprezentuje čas (t) a proměnná y reprezentuje teplotu (T).

5.2.4 Vybrané stanice

5.2.4.1 Klementinum – Praha

Meteorologická stanice Klementinum (zeměpisná šířka $50^{\circ}05'$ sš, zeměpisná délka $14^{\circ}25'$ vd, nadmořská výška 197 m n.m.) obr. č. 5, byla založena v rozlehlém komplexu školy sv. Klementa, která byla vystavěna jezuiti na Starém Městě pražském. Měření teploty zde začalo k 1. lednu 1775, což je nejdelší kontinuální měření meteorologické stanice v Evropě. I díky tomu jsou data z meteorologické stanice Klementinum velmi často využívána k analýzám teplot vzduchu (Brázdil, Budíková, 1999).

Díky své poloze v historickém centru Prahy je stanice ideální pro měření tepelného ostrova města (Brázdil, Budíková, 1999).

Meteorologická stanice Klementinum během doby, po kterou probíhá měření, prošla několika stanovišti. První měření byla prováděna ve výšce 39 m nad zemí, ve čtvrtém patře astronomické věže. Mezi lety 1782 a 1788 byla přesunuta do jihovýchodní části nádvoří. Teploměr se v tuto dobu nacházel ve výšce 11 m nad zemí, ve druhém patře v těsné blízkosti okna, jeho orientace byla na sever. Od 30. 5. 1889

byl teploměr nainstalován v prvním patře domu v blízkosti okna. Jeho výška nad zemí je 6,5 m a jeho orientace je stále na sever. Hlaváč, 1937, uvádí, že na dvoře došlo ke strukturálním změnám v letech 1863, 1924 a 1929. Tyto změny ale nenarušily homogenitu měření, ani nebylo změněno albedo povrchu nádvoří (Brázdil, Budíková, 1999).

Měření teploty vzduchu v Klementinu je samo o sobě ovlivněno na jedné straně lokálními vlivy – uzavřené nádvoří, na druhé straně svým umístěním – zastavěné centrum města. Vzhledem k tomu se mohou místní podmínky měnit jen důsledkem vytváření změn v prostoru nádvoří. Proto je zde dobře vidět zvyšování tepelného ostrova města v závislosti na růstu zástavby a rozšiřování rozlohy Prahy (Brázdil, Budíková, 1999).



Obr. č. 5: Detailní pohled na meteorologickou stanici Klementinum – Praha (foto:Litschmann).

5.2.4.2 *Karlovy – Praha*

Meteorologická stanice Praha – Karlov (zeměpisná šířka $50^{\circ}04' sš$, zeměpisná délka $14^{\circ}25' vd$, nadmořská výška 254 m n.m.) se nachází na budově Fyzikálního ústavu MFF UK v Praze na Karlově, obr. č. 6 (Chalupský, nedatováno).

Měřicí aparatura je situována na střeše budovy ve výšce 34 m nad zemí. Oproti centru města je tedy vyvýšena o 80 m (Brázdil, Budíková, 1999).

Měření zde probíhá nepřetržitě od uvedení stanice do provozu roku 1920. V roce 2002 došlo ke zautomatizování měření (Chalupský, nedatováno).

Na meteorologické stanici Praha – Karlov se kromě teploty vzduchu měří ještě úhrn srážek, sluneční svit, denní teploty, síla větru, výpar vody a velikost srážek (Chalupský, nedatováno).



Obr. č. 6: Letecký pohled na umístění stanice Karlov (mapy.cz).

5.2.4.3 Uhříněves – Praha

Meteorologická stanice Uhříněves se nacházela na pozemku společnosti Pragochema Praha, obr. č. 7, zeměpisná poloha stanice byla 50°2' s.š., 14°35' v.d. Stanice byla zrušena v roce 2011, nyní se nachází na nové lokalitě (Kohoutek, 2013).

Stanice se nachází v nadmořské výšce 287 m n.m. (Meteoskop, nedatováno).



Obr. č. 7: Letecký pohled na místo, kde se nacházela měřící stanice Uhříněves (mapy.cz).

5.2.4.4 Ruzyně – Praha

Při uvedení letiště Praha – Ruzyně (zeměpisná délka 14,25°, zeměpisná šířka, 50,10°, nadmořská výška 374 m n.m.) do provozu roku 1937 bylo na jeho plochu přestěhováno Předpovědní ústředí a Správa letecké povětrnostní služby. Roku 1945 zde bylo zřízeno samostatné aerologické oddělení. První automatický dráhový měřicí systém byl instalován roku 1984 a o šest let později, roku 1990, k němu přibyl první automatizovaný meteorologický informační systém. Roku 1995 byla potom zařízení vyměněna za automatický systém AWOS firmy Vaisala (Krška, 2003).

Poloha meteorologické stanice se v průběhu let měnila, nadmořská výška se mezi lety 1961-2000 zvýšila o deset metrů (Chládková, Kalvová, 2005).

5.2.4.5 Kbely – Praha

Meteorologická služebna Praha – Kbely byla zřízena roku 1924 na ploše letiště Kbely, jako tzv. „vyhláškova kancelář“ (Krška, 2003).

Meteorologická stanice je umístěna na vodárenské věži v areálu letiště, obr. č. 8, věž je vysoká 43 m. Meteorologická stanice se nachází ve výšce 280 m n.m., její souřadnice jsou 50°7′sš a 14°31′vd . Vlastníkem je Ministerstvo obrany ČR a objekt je chráněn jako nemovitá kulturní památka (Památky Praha, nedatováno).



Obr. č. 8: Vodárenská věž Kbely (army.cz).

5.2.4.6 *Observatoř Doksany*

Svou činnost zahájila observatoř Doksany , obr. č. 9, v roce 1950. Observatoř se nachází v Ústeckém kraji, v okrese Litoměřice v nadmořské výšce 158 m n.m. a její zeměpisná poloha je 50°27′s.š. a 14° 10′v.d. (ČHMÚ, 2010).

Observatoř Doksany je specializovaným pracovištěm ČHMÚ, které se zabývá dlouhodobým výzkumem půdního klimatu a měřením výparu na území ČR. Provádí se zde také biometeorologický výzkum, který současně plní funkci profesionální meteorologické a referenční klimatologické stanice. Observatoř Doksany je součástí mezinárodní sítě pro monitoring CO₂, spektroradiometrických měření a fenologických pozorování (ČHMÚ, 2010).

Observatoř se účastní i řady mezinárodních programů, jako např. IPG (Internacional Phenological Gardens), ABBA (Harmonising and Integrating Trace Gas Flux Measurements in Europe) či EUROSPEC (Special Sampling Tools for Vegetation Biophysical Parameters and Flux Measurements in Europe /ČHMÚ, 2010/).

Observatoř se dále zabývá vývojem a provozem modelu hodnotícího nebezpečí požárů v ČR pro Signální a výstražnou službu (SIVS), dále se spolupodílí na monitoringu sucha v ČR (ČHMÚ, 2010).



Obr. č. 9: Pohled na meteorologickou stanici Doksany (foto: Litschmann).

5.2.5 Porovnání dat - zpracování naměřených údajů

Jak je již uvedeno výše, měla jsem k dispozici průměrné měsíční hodnoty vybraných stanic mezi lety 1961 – 2011. Tato data byla získána z pobočky ČHMÚ v Ústí nad Labem a lze předpokládat, že se jedná o úřední údaje a tudíž naprosto spolehlivé, proto nebyla prováděna žádná další jejich homogenizace.

Získané meteorologické údaje byly použity k zodpovězení těchto hypotéz:

- zda-li existují rozdíly mezi měsíčními hodnotami venkovských a městských stanic, pokud ano, jaká je jejich velikost
- zda-li se velikost těchto rozdílů mění v průběhu roku
- zda-li se velikost těchto rozdílů mění v průběhu zpracovávaného období
- zda-li závisí spotřeba elektrické energie na teplotě v Praze.

Vzhledem k tomu, že vybrané stanice se nachází v různých nadmořských výškách (tab. č. 3), bylo nutno údaje z jednotlivých stanic přepočítat na jednotnou nadmořskou výšku. S ohledem na nadmořské výšky těchto stanic byla zvolena jako referenční výška 200 m n.m. K přepočtu bylo využito standardního výškového gradientu teploty 0,65°C na 100 m (Litschmann et al., 2011). Tímto postupem jsem eliminovala vliv nadmořské výšky na průměrnou měsíční teplotu vzduchu a dá se předpokládat, že zjištěné rozdíly budou zapříčiněny jinými vlivy, především pak tepelným ostrovem Prahy.

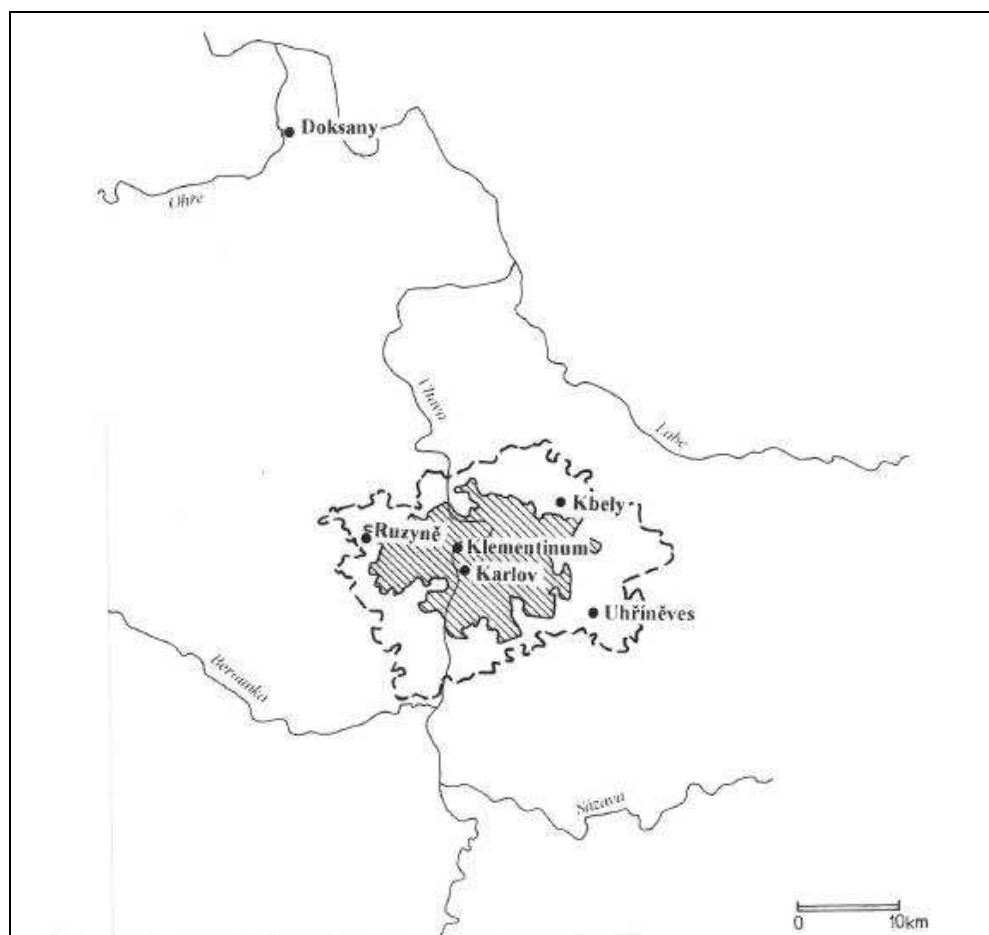
Tab. č. 3: Poloha vybraných meteorologických stanic.

stanice	nadmořská výška (m n.m.)	GPS souřadnice
Klementinum	197	50°05′sš; 14°25′vd
Karlov	254	50°04′sš; 14°25′vd
Uhříněves	187	50°2′sš; 14°35′vd
Ruzyně	374	50°10′sš; 14; 25′vd
Doksany	158	50°27′sš; 14°10′vd
Kbely	280	50°7′sš; 14°31′vd

Vzdálenost vybraných stanic od stanice Klementinum je znázorněna v tab. č. 4 a poloha jednotlivých stanic je znázorněna na obr. č. 10.

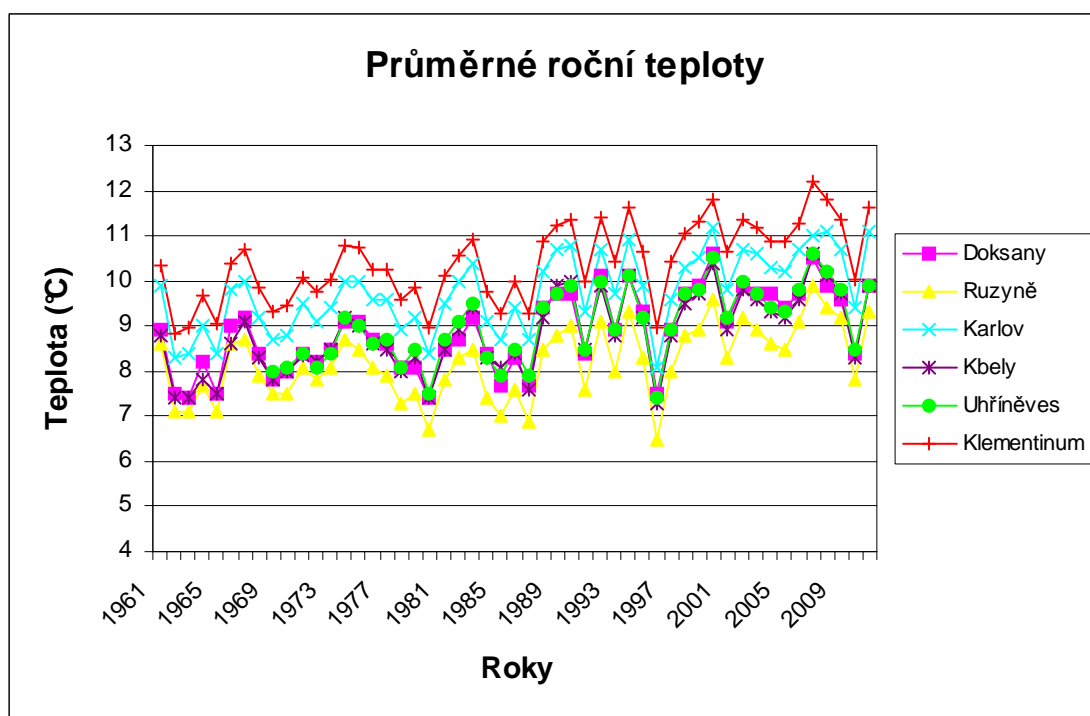
Tab. č. 4: Vzđálenost jednotlivých stanic od stanice Klementinum.

Vzdálenost stanic od Klementina	
Klementinum - Doksany	44,7 km
Klementinum - Karlov	2,146 km
Klementinum - Uhříněves	14,3 km
Klementinum - Kbely	10,88 km
Klementinum - Ruzyně	12,78 km

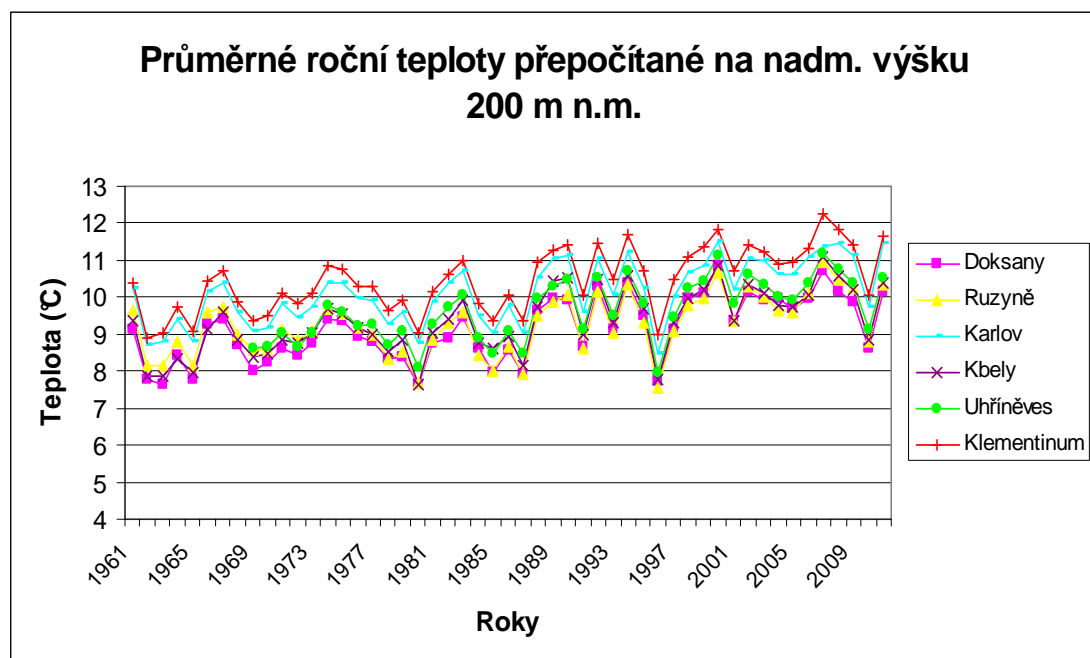


Obr. č. 10: Znázornění polohy jednotlivých vybraných stanic (podle Brázdil, Budíková, 1999).

Pro názornost změny teplot před sjednocením nadmořské výšky a po ní uvádím grafy č. 1 a č. 2 ročních průměrných teplot.



Graf č. 1: Průměrné roční teploty vybraných stanic před homogenizací na stejnou nadmořskou výšku.

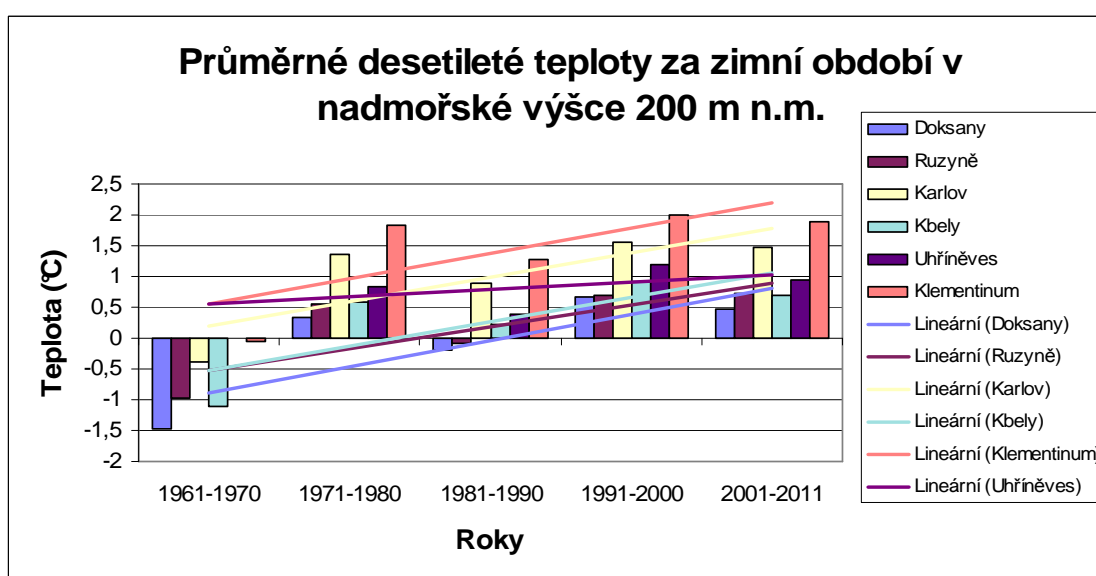


Graf č. 2: Průměrné roční teploty vybraných stanic přepočítané na nadm. výšku 200 m n.m.

5.2.5.1 Zhodnocení desetiletých období

Pro ověření hypotézy vzrůstajícího tepelného ostrova byly vytvořeny desetileté průměry teplot na jednotlivých stanicích, k výpočtu průměrů byly použity teploty přepočítané na nadmořskou výšku 200 m n.m. Tyto grafy byly proloženy lineární regresí.

Výsledky byly zpracovány ve formě grafů a popsány pomocí regresních rovnic, které jsou uvedeny níže. Je nutné podotknout, že regresní křivky a hodnota spolehlivosti stanice Uhřetěves jsou mírně ovlivněny skutečností, že stanice začala měřit až roku 1969. Tato skutečnost ale výrazně neovlivní vyhodnocení grafů.



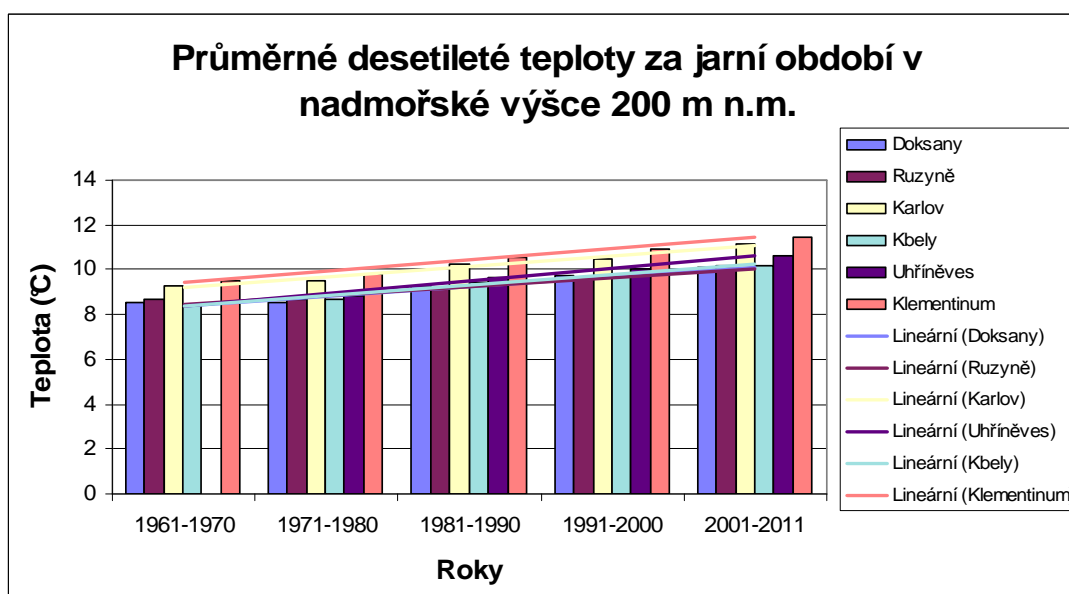
Graf. č. 3: Průměrné desetileté teploty za zimní období v nadmořské výšce 200 m n.m.

Tab. č. 5: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za desetileté zimní období.

ZIMNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,4205t-1,3023$	$R^2=0,5944$
Ruzyně	$T=0,3589t-0,8957$	$R^2=0,6006$
Karlov	$T=0,392t-0,195$	$R^2=0,5853$
Kbely	$T=0,3973t-0,931$	$R^2=0,6014$
Uhřetěves	$T=0,1169t+0,4293$	$R^2=0,1999$
Klementinum	$T=0,4092t+0,1593$	$R^2=0,6014$

Z výše uvedeného grafu č. 3 a tabulky č. 5 pro zimní období je jasně patrné, že teplota narůstá ve všech vybraných stanicích. Pouze v desetiletí 1961 – 1970 byly průměrné teploty za zimní období pod 0°C. V ostatních obdobích byly průměrné

teploty nad 0°C s výjimkou desetiletí 1971 – 1980, kdy se pod hodnotu 0°C dostaly stanice Doksany a Uhříněves. Jak vyplývá z grafického znázornění regresních přímk a jejich sklonu, uvedeného v tabulce, tyto přímky jsou prakticky rovnoběžné, což signalizuje, že na všech stanicích dochází k téměř totožnému zvyšování teploty vzduchu v zimním období a velikost tepelného ostrova města se nezvyšuje ani nesnižuje. Zimní teploty vzrůstají rychlostí přibližně 0,4 °C za desetiletí.

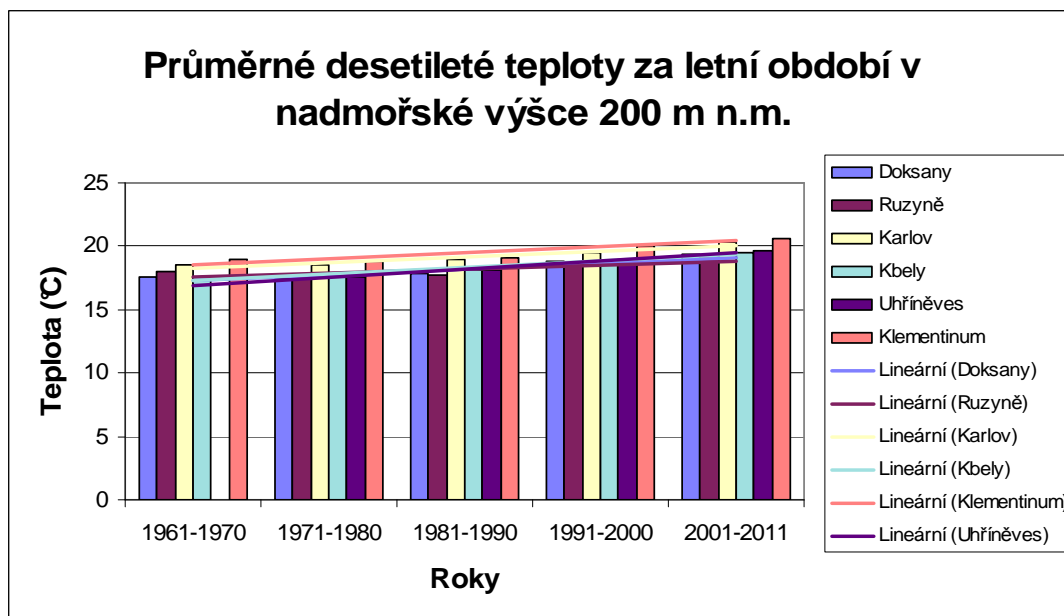


Graf. č. 4: Průměrné desetileté teploty za jarní období v nadmořské výšce 200 m n.m.

Tab. č. 6: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za desetileté jarní období.

JARNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,4402t+7,9247$	$R^2=0,9515$
Ruzyně	$T=0,3827t+8,1005$	$R^2=0,9108$
Karlov	$T=0,4694t+8,7515$	$R^2=0,967$
Kbely	$T=0,4688t+7,8907$	$R^2=0,977$
Uhříněves	$T=0,664t+16,253$	$R^2=0,9969$
Klementinum	$T=0,4692t+18,12$	$R^2=0,8668$

Z výše uvedeného grafu č. 4 a rovnic v tab. č. 6 je patrné, že v jarním období je nejvyšší průměrná teplota na stanicích Klementinum a Ruzyně, jak znázorňuje regresní křivka. Naopak stanice Karlov, Uhříněves, Kbely a Doksany mají skoro stejný trend. Regresní křivky jsou i v jarním období skoro rovnoběžné, což znovu poukazuje na stejný vzrůst teploty za sledované období ve všech vybraných stanicích.

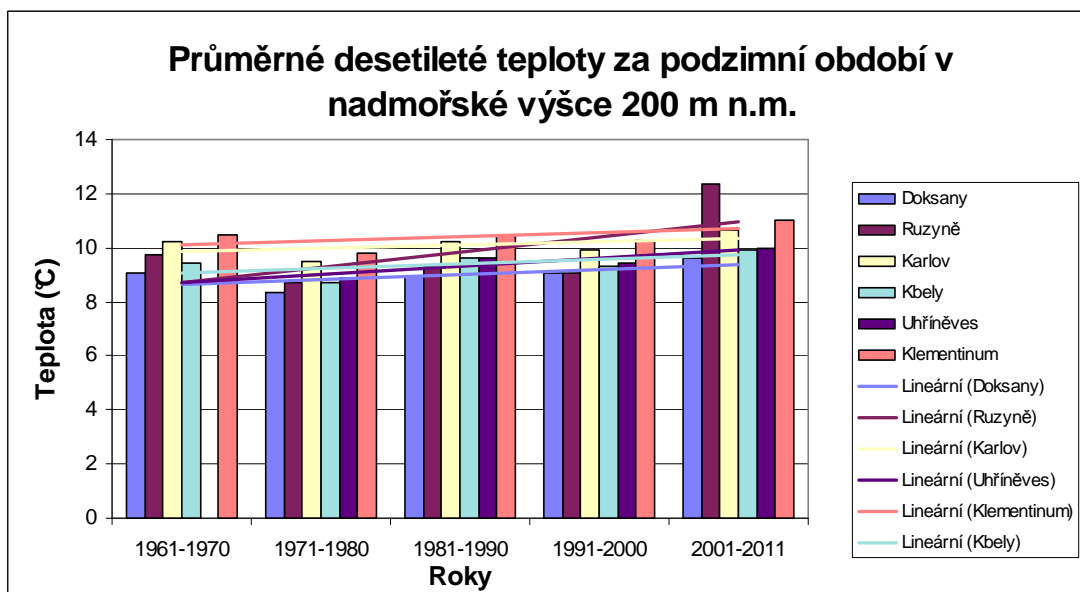


Graf. č. 5: Průměrné desetileté teploty za letní období v nadmořské výšce 200 m n.m.

Tab. č. 7: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za desetileté letní období.

LETNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,1863t+8,449$	$R^2=0,405$
Ruzyně	$T=0,5655t+8,1234$	$R^2=0,3732$
Karlov	$T=0,1294t+9,7215$	$R^2=0,2061$
Kbely	$T=0,1627t+8,9065$	$R^2=0,3167$
Uhřetěves	$T=0,3046t+8,4212$	$R^2=0,7739$
Klementinum	$T=0,1597t+9,9348$	$R^2=0,3259$

Letní teploty jsou nejvíce vyvážené ze všech čtyř ročních období, jak ukazuje graf č. 5 a tab. č. 7. Průměrné teploty stanice Klementinum výrazně nevyčnívají nad ostatními stanicemi. Lze tedy říci, že teploty ve všech sledovaných stanicích nevykazují velké rozdíly mezi zastavěnou a rurální oblastí.



Graf. č. 6: Průměrné desetileté teploty za podzimní období v nadmořské výšce 200 m n.m.

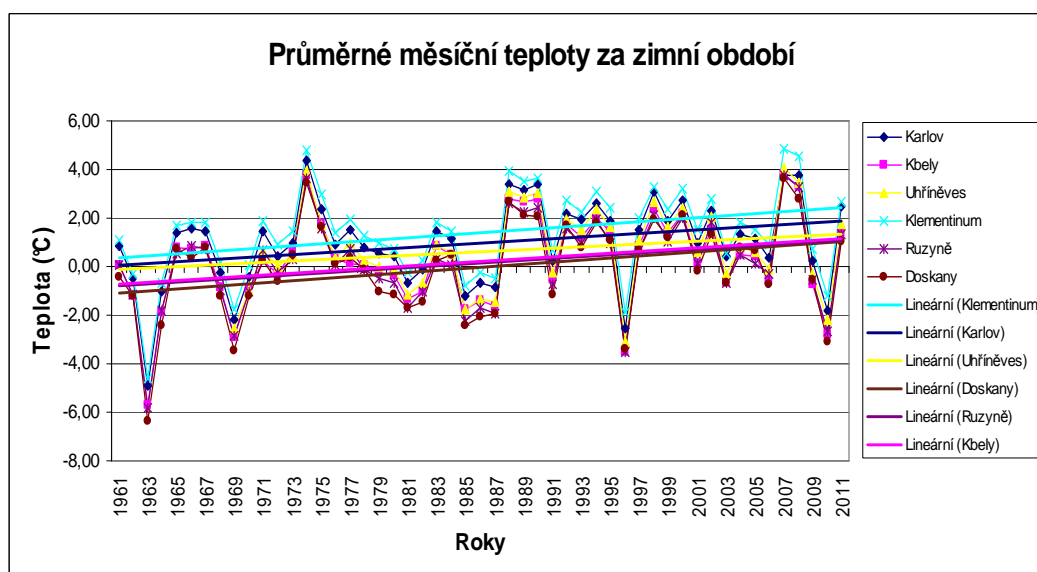
Tab. č. 8: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za desetileté podzimní období.

PODZIMNÍOBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,46t+16,826$	$R^2=0,8408$
Ruzyně	$T=0,3061t+17,331$	$R^2=0,6271$
Karlov	$T=0,4403t+17,882$	$R^2=0,9021$
Kbely	$T=0,4909t+16,878$	$R^2=0,9433$
Uhřetěves	$T=0,664t+16,253$	$R^2=0,9969$
Klementinum	$T=0,4692t+18,12$	$R^2=0,8668$

Podzimní období, graf č. 6 a tab. č.8, se nevyznačuje tak rozkolísanými regresními křivkami jako období jarní, i když v regresních rovnicích lze najít shodu. Jedná se o stanice Klementinum a Uhřetěves, jejichž regresní rovnice se v jarním a podzimním období shodují.

5.2.5.2 Zhodnocení průměrných teplot dle ročních období

Z průměrných měsíčních dat pro příslušné roční období byly vytvořeny průměry teplot z příslušných měsíců. Grafy průměrných teplot pro jednotlivá roční období (které byly proloženy lineární regresí), příslušné regresní rovnice a hodnota spolehlivosti jsou uvedeny níže.

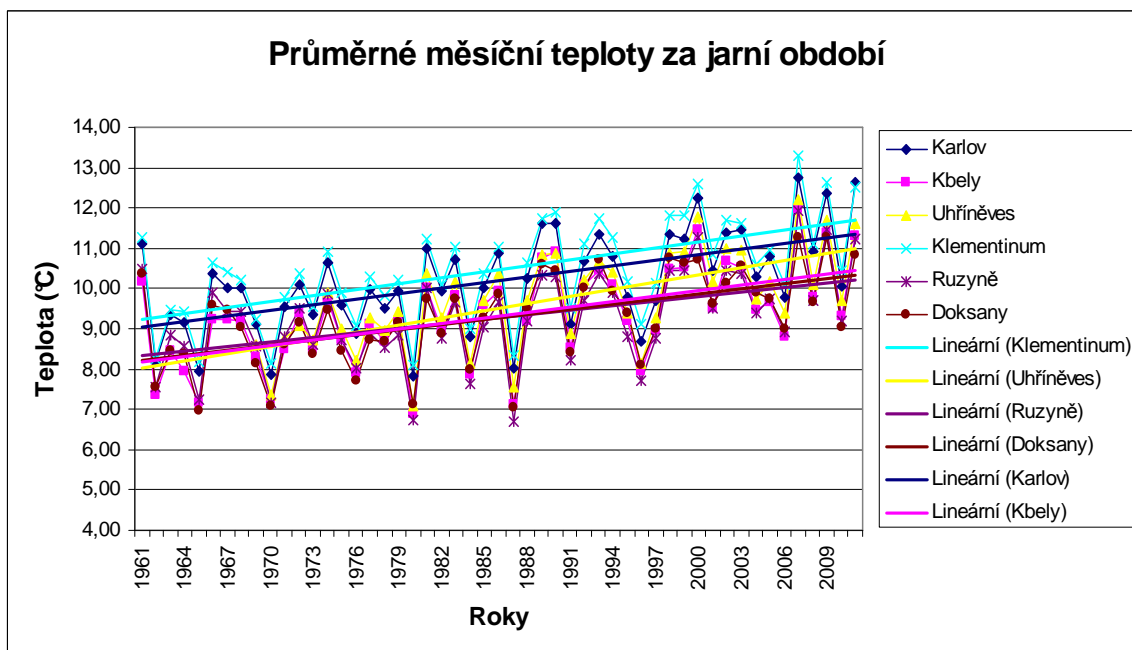


Graf. č. 7: Průměrné měsíční teploty za zimní období mezi lety 1961 – 2011.

Tab. č. 9: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za zimní období mezi lety 1961 – 2011.

ZIMNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0415t-1,1035$	$R^2=0,1035$
Ruzyně	$T=0,0373t-0,8368$	$R^2=0,091$
Karlov	$T=0,0373t-0,004$	$R^2=0,098$
Kbely	$T=0,0376t-0,7368$	$R^2=0,0895$
Uhřetěves	$T=0,0299t-0,1726$	$R^2=0,0475$
Klementinum	$T=0,0413t+0,3259$	$R^2=0,1155$

Z výše uvedeného grafu č. 7 a tab. č. 9 je jasně patrné, že v zimním období je nárůst teplot za celé sledované období přibližně stejný. Nejvyšší teploty jsou zaznamenány u stanice Klementinum, což potvrzuje zasažení centra města tepelným ostrovem.

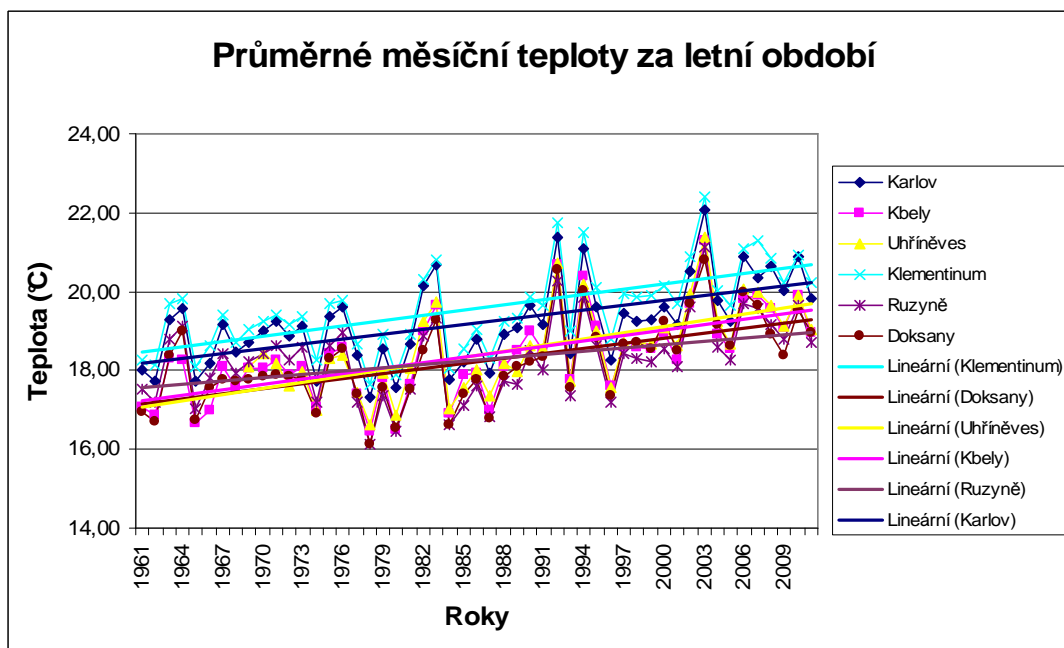


Graf. č. 8: Průměrné měsíční teploty za jarní období mezi lety 1961 – 2011.

Tab. č. 10: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za jarní období mezi lety 1961 – 2011.

JARNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0424t+8,1592$	$R^2=0,3159$
Ruzyně	$T=0,0374t+8,2943$	$R^2=0,2241$
Karlovy	$T=0,0462t+8,9781$	$R^2=0,319$
Kbely	$T=0,0459t+8,1214$	$R^2=0,3241$
Uhříněves	$T=0,0595t+7,9489$	$R^2=0,3899$
Klementinum	$T=0,0485t+9,2026$	$R^2=0,3426$

Tab. č. 10 a graf č. 8 nám ukazuje, že v jarním období je vývoj průměrných teplot značně prudší než tomu bylo u grafu č. 7, který znázorňuje zimní období. Nejprudší nárůst teplot v tomto období je zaznamenán u stanice Uhříněves, jejíž regresní křivka měla v roce 1961 nejnižší hodnotu ze všech sledovaných stanic a v průběhu sledovaného období prudce stoupala, až se v roce 2011 nachází pod regresní křivkou Klementina a Karlova. Byly na ní tudíž naměřeny vyšší teploty než u stanic Ruzyně, Doksany a Kbely. Možné vysvětlení takového nárůstu je pozdní připojení Uhříněvsi k Praze. Po připojení došlo k náhlému nárůstu počtu obyvatel a rozvoji celé oblasti.

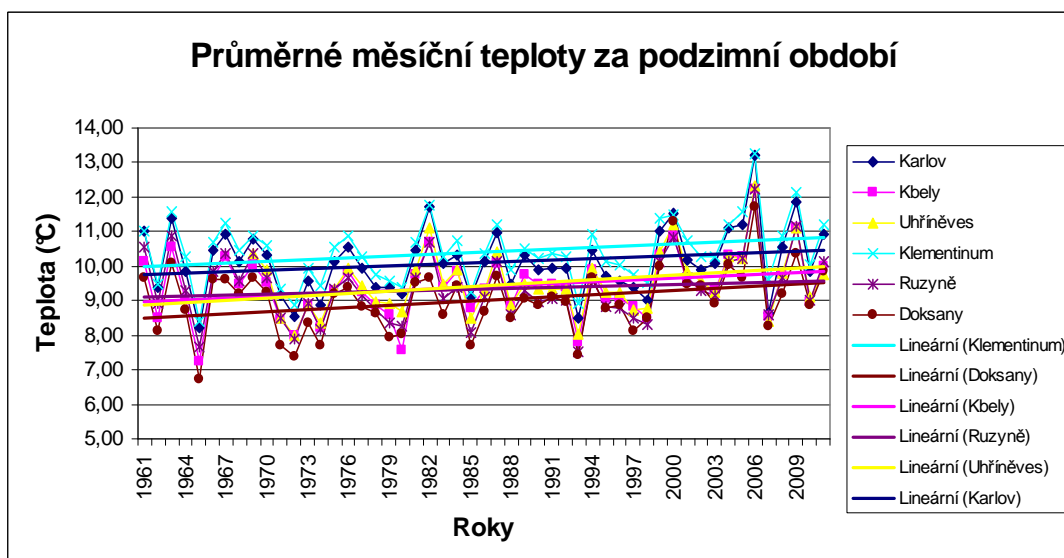


Graf. č. 9: Průměrné měsíční teploty za letní období mezi lety 1961 – 2011.

Tab. č. 11: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za letní období mezi lety 1961 – 2011.

LETNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0427t+17,116$	$R^2=0,3624$
Ruzyně	$T=0,0277t+17,547$	$R^2=0,1645$
Karlov	$T=0,041t+18,158$	$R^2=0,3294$
Kbely	$T=0,0459t+17,179$	$R^2=0,3973$
Uhříněves	$T=0,0523t+17,018$	$R^2=0,3762$
Klementinum	$T=0,0437t+18,439$	$R^2=0,378$

Na grafu č. 9 a z tab. č. 11 je opět jasně zřetelný nárůst teplot na stanici Uhříněves, který byl pozorován již na grafu za jarní období. Opět i na tomto grafu se potvrdil zlom v teplotě kolem roku 1979, kdy teplota v Uhříněvsi začala mít vyšší hodnoty než naměřily stanice Ruzyně, Doksany a Kbely.



Graf. č. 10: Průměrné měsíční teploty za podzimní období mezi lety 1961 – 2011.

Tab. č. 12: Regresní rovnice a hodnota spolehlivosti za podzimní období mezi lety 1961 – 2011.

PODZIMNÍ OBDOBÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,02101t+8,4976$	$R^2=0,101$
Ruzyně	$T=0,0096t+9,0957$	$R^2=0,0228$
Karlov	$T=0,0143t+9,7497$	$R^2=0,0493$
Kbely	$T=0,0169t+8,965$	$R^2=0,075$
Uhříněves	$T=0,0218t+8,8636$	$R^2=0,095$
Klementinum	$T=0,0169t+9,9819$	$R^2=0,0782$

Graf č. 10 a tab. č. 12 znázorňující teplotu na sledovaných stanicích v podzimním období ukazují, že za celé sledované období je teplota na stanici Doksany výrazně nižší než na ostatních sledovaných stanicích. Teplota stanice Doksany se v ostatních obdobích, tedy v jarním, letním a zimním období, držela na přibližně stejné úrovni se stanicemi Ruzyně a Kbely, ale v podzimním období je výrazně nižší. Toto může být způsobeno polohou stanice Doksany, která je situována za vesnicí Doksany, tudíž pokles teploty je zde výraznější díky absenci blízkosti budov, které by produkovaly tepelný smog.

5.2.5.3 Zhodnocení průměrných měsíčních teplot

Grafické výstupy průměrných měsíčních teplot za sledované období mezi lety 1961 – 2011 jsou uvedeny v příloze (příloha 1 – 12). Rovnice příslušných regresních křivek a míra spolehlivosti jsou zobrazeny v tabulkách č. 13-24 níže.

Tab. č. 13: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc leden.

LEDEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0581t-2,5476$	$R^2=0,076$
Ruzyně	$T=0,0473t+2,0035$	$R^2=0,0571$
Karlovy	$T=0,0476t-1,2052$	$R^2=0,0606$
Kbely	$T=0,0468t-1,9366$	$R^2=0,052$
Uhřetěves	$T=0,0351t-1,2047$	$R^2=0,0217$
Klementinum	$T=0,0521t-0,8736$	$R^2=0,0716$

Tab. č. 14: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc únor.

ÚNOR	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0325t-0,3451$	$R^2=0,0301$
Ruzyně	$T=0,031t-0,1964$	$R^2=0,0251$
Karlovy	$T=0,0328t+0,6807$	$R^2=0,0311$
Kbely	$T=0,0349t-0,1885$	$R^2=0,0323$
Uhřetěves	$T=0,0429t-0,1822$	$R^2=0,0364$
Klementinum	$T=0,0367t+0,9684$	$R^2=0,0388$

Tab. č. 15: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc březen.

BŘEZEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0939t+3,2541$	$R^2=0,0829$
Ruzyně	$T=0,0354t+3,4047$	$R^2=0,0608$
Karlovy	$T=0,0402t+4,2372$	$R^2=0,0774$
Kbely	$T=0,0389t+3,4367$	$R^2=0,0713$
Uhřetěves	$T=0,0352t+3,8656$	$R^2=0,0479$
Klementinum	$T=0,0437t+4,4069$	$R^2=0,0946$

Tab. č. 16: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc duben.

DUBEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0399t+8,2866$	$R^2=0,1443$
Ruzyně	$T=0,0379t+8,3206$	$R^2=0,1055$
Karlovy	$T=0,0461t+9,0125$	$R^2=0,1549$
Kbely	$T=0,0445t+8,1989$	$R^2=0,1668$
Uhřetěves	$T=0,0954t+6,7063$	$R^2=0,4699$
Klementinum	$T=0,0473t+9,2292$	$R^2=0,1743$

Tab. č. 17: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc květen.

KVĚTEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,048t+12,937$	$R^2=0,2358$
Ruzyně	$T=0,0388t+13,158$	$R^2=0,1388$
Karlovy	$T=0,0524t+13,685$	$R^2=0,2321$
Kbely	$T=0,0543t+12,729$	$R^2=0,2605$
Uhřetěves	$T=0,0478t+13,275$	$R^2=0,1556$
Klementinum	$T=0,0545t+13,972$	$R^2=0,2437$

Tab. č. 18: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc červen.

ČERVEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0271t+16,673$	$R^2=0,0929$
Ruzyně	$T=0,0162t+16,844$	$R^2=0,0301$
Karlovy	$T=0,0296t+17,48$	$R^2=0,0953$
Kbely	$T=0,0326t+16,546$	$R^2=0,1368$
Uhřetěves	$T=0,0611t+15,67$	$R^2=0,2674$
Klementinum	$T=0,0319t+17,812$	$R^2=0,1168$

Tab. č. 19: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc červenec.

ČERVENEC	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0468t+17,734$	$R^2=0,1732$
Ruzyně	$T=0,0284t+18,226$	$R^2=0,0596$
Karlovy	$T=0,043t+18,835$	$R^2=0,1228$
Kbely	$T=0,048t+17,839$	$R^2=0,1698$
Uhřetěves	$T=0,0483t+17,873$	$R^2=0,1285$
Klementinum	$T=0,0465t+19,113$	$R^2=0,1565$

Tab. č. 20: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc srpen.

SRPEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0543t+16,941$	$R^2=0,3604$
Ruzyně	$T=0,0386t+17,571$	$R^2=0,1882$
Karlovy	$T=0,0504t+18,159$	$R^2=0,2904$
Kbely	$T=0,0572t+17,151$	$R^2=0,3434$
Uhřetěves	$T=0,0474t+17,511$	$R^2=0,2103$
Klementinum	$T=0,0526t+18,393$	$R^2=0,3245$

Tab. č. 21: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc září.

ZÁŘÍ	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0244t+13,45$	$R^2=0,0719$
Ruzyně	$T=0,0078t+14,305$	$R^2=0,0057$
Karlovy	$T=0,0138t+14,919$	$R^2=0,0168$
Kbely	$T=0,0215t+13,99$	$R^2=0,0469$
Uhřetěves	$T=0,0201t+13,926$	$R^2=0,0274$
Klementinum	$T=0,0173t+15,039$	$R^2=0,0307$

Tab. č. 22: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc říjen.

ŘÍJEN	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0198t+8,3811$	$R^2=0,0378$
Ruzyně	$T=0,0068t+9,192$	$R^2=0,0044$
Karlovy	$T=0,0136t+9,7822$	$R^2=0,0178$
Kbely	$T=0,0144t+9,0381$	$R^2=0,0202$
Uhřetěves	$T=0,0305t+8,5256$	$R^2=0,0673$
Klementinum	$T=0,0174t+9,9774$	$R^2=0,0311$

Tab. č. 23: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc listopad.

LISTOPAD	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,016t+3,6619$	$R^2=0,023$
Ruzyně	$T=0,0142t+3,7903$	$R^2=0,0164$
Karlovy	$T=0,0154t+4,5476$	$R^2=0,0192$
Kbely	$T=0,0249t+3,8673$	$R^2=0,0167$
Uhřetěves	$T=0,0149t+4,1391$	$R^2=0,0134$
Klementinum	$T=0,0159t+4,9293$	$R^2=0,0226$

Tab. č. 24: Rovnice regrese a hodnota spolehlivosti pro jednotlivé stanice za měsíc prosinec.

PROSINEC	Rovnice regrese	Hodnota spolehlivosti
Doksany	$T=0,0339t-0,4177$	$R^2=0,0414$
Ruzyně	$T=0,0337t-0,3104$	$R^2=0,0432$
Karlov	$T=0,0316t+0,5125$	$R^2=0,0393$
Kbely	$T=0,0311t-0,0855$	$R^2=0,0344$
Uhřetěves	$T=0,0117t+0,8691$	$R^2=0,0041$
Klementinum	$T=0,0351t+0,8829$	$R^2=0,0492$

Z grafů průměrných měsíčních teplot je zřejmé, že v letních měsících je výrazně vyšší teplota na stanicích Klementinum a Karlov, tedy na stanicích, jejichž poloha je přibližně uprostřed města. Teplota ostatních stanic je v těchto měsících značně nižší a nevyskytují se zde velké odchylky.

V zimních měsících potom rozdíl teplot mezi stanicemi není tak výrazný jako v měsících letních, ale stanice Klementinum a Karlov naměřily také vyšší teplotu než okolní stanice. Toto je potvrzení zasažení Prahy tepelným ostrovem města.

Graf průměrných prosincových teplot v nadmořské výšce 200 m n.m. (příloha č. 12) ukazuje, že regresní křivka stanice Uhřetěves se za sledované období v tomto měsíci příliš nezvýšila, jak je patrné z regresní křivky v grafu. V ostatních měsících je její sklon větší a zřetelnější.

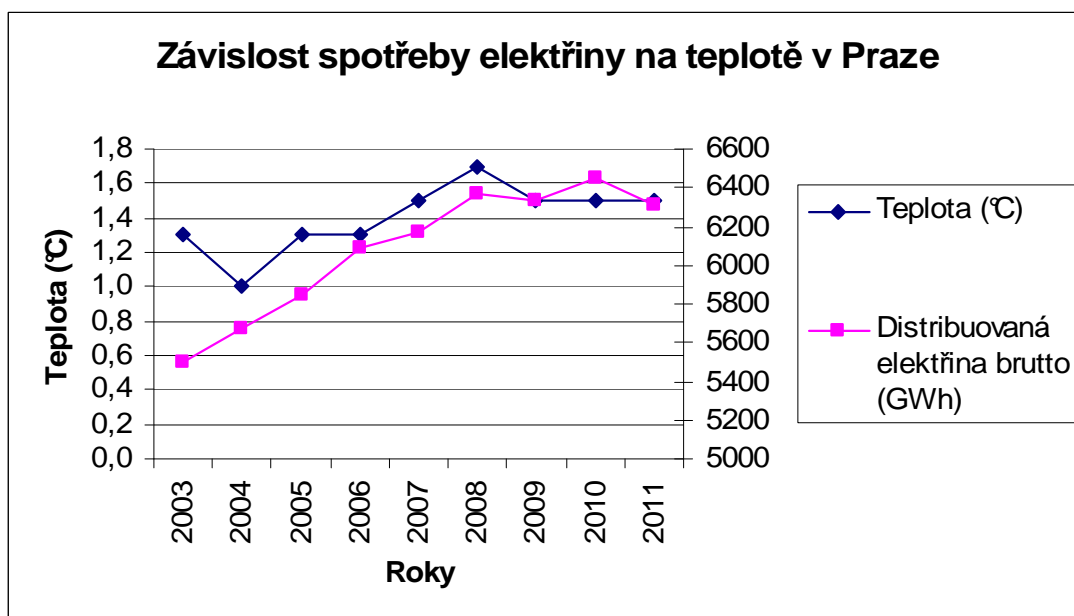
5.2.5.4 Zhodnocení závislosti spotřeby elektrické energie na teplotě

Pro zhodnocení závislosti vzrůstu spotřeby elektrické energie na teplotě byla získána spotřeba energie mezi lety 2003 – 2011 od společnosti PRE. Reprezentativní teplota tepelného ostrova byla pro toto zhodnocení vypočtena jako rozdíl průměrných ročních teplot stanic Klementinum a Doksany. Tyto stanice byly vybrány proto, že stanice Klementinum reprezentuje stanici nacházející se uprostřed města a stanice Doksany reprezentuje stanici nacházející se v rurální oblasti.

Tabulka a graf průměrných ročních teplot na stanici Klementinum mezi lety 2003 – 2011 a spotřeba distribuované elektřiny brutto za příslušné roky je znázorněna níže v tab. č. 25 a v grafu č. 11.

Tab. č. 25 : Průměrná roční hodnota tepelného ostrova (vypočtená jako rozdíl průměrných ročních teplot stanic Klementinum a Doksany /°C/) a distribuovaná elektřina brutto (GWh) – zdroj. PRE.

	Rozdíl teplot Klementinum Doksany	Distribuovaná elektřina brutto
rok	°C	Gwh
2003	1,3	5500
2004	1,0	5667
2005	1,3	5842
2006	1,3	6085
2007	1,5	6172
2008	1,7	6373
2009	1,5	6339
2010	1,5	6450,5
2011	1,5	6310,7



Graf č. 11: Závislost spotřeby elektřiny na teplotě (Klementinum) mezi lety 2003 – 2011.

Z výše uvedeného grafu č. 11 a tab. č. 25 je jasně patrné, že se potvrdila hypotéza závislosti spotřeby elektrické energie na teplotě.

Z grafu je zřejmé, že mezi lety 2004 – 2009 docházelo ke vzrůstu hodnot na obou sledovaných veličinách. Od roku 2009 hodnota tepelného ostrova stagnuje, jak je patrné z tab. č. 25. Hodnota distribuované elektřiny brutto stoupala, (s drobným výkyvem v roce 2009) do roku 2010, kdy poměrně prudce klesla o 139,8 GWh.

6. Diskuze

V praktické části své diplomové práce jsem vyhodnotila průměrné měsíční teploty vzduchu z několika venkovských a městských stanic v oblasti Prahy s ohledem na stanovení případného výskytu a velikosti tepelného ostrova města. Určitě by bylo výhodnější použít denní údaje, a to jak průměrných, tak i extrémních teplot, avšak s ohledem na cenovou politiku ČHMÚ spojenou s jejich získáním, jsem se musela spokojit pouze s vyhodnocením měsíčních průměrných teplot. Přesto toto zpracování ukázalo na některé zajímavé skutečnosti:

- teploty vzduchu v průběhu zpracovaného období vzrůstají ve všech ročních obdobích, výraznější vzestupy jsou pozorovatelné především v jarním a letním období, kdy dosahují velikosti cca 0,4 °C za desetiletí. Nejnižší jsou v podzimním období, kdy se pohybují kolem 0,2 °C. Tyto poznatky dobře korespondují s analýzou obdobných časových řad, u nichž je udáván vzestup teplot průměrně o 0,3 °C za desetiletí.
- rozdíl teplot mezi stanicemi umístěnými ve venkovských oblastech a v Praze ukazuje na téměř konstantní rozdíl cca 1,28 °C, který se v průběhu zpracovaného období příliš neliší.
- porovnání spotřeby energie s teplotou potvrdilo hypotézu, že spotřeba elektrické energie roste se zvyšováním průměrné teploty v Praze

7. Závěr

Z výše uvedeného vyplývá, že:

- tepelný ostrov města není přechodným jevem, jeho vznik je s určitostí podmíněn urbanizací a industrializací zastavovaného území. Proto lze říci, že jeho vznik je vázán na určitý stupeň vývoje městské aglomerace
- ve všech sledovaných stanicích dochází k nárůstu průměrných teplot. I přes to, že se k Praze připojovaly a připojují stále další obce, průměrná teplota roste stále stejným tempem na všech stanicích. Na šesti stanicích porovnávaných v této práci je trend vzrůstání průměrných teplot takřka rovnoběžný.
- pražský tepelný ostrov dosahuje hodnoty cca 1,28 °C, což je ve světovém měřítku podprůměrná hodnota. Jako průměrná celosvětová hodnota tepelného ostrova se uvádí 1,5 – 3 °C.
- s vědomím důležitosti tepelného ostrova města se odborný svět stále více zaměřuje na možnosti zmírnění tepelného ostrova města, které ovšem nezůstávají pouze u teoretických studií, ale stále více přechází do praxe. Jedná se např. o ozelenování střech, zvýšení podílů zeleně v městských ulicích, zřizování i malých parků v centrech měst. Nahrazování plechových či drátěných plotů, oddělujících jednotlivé pozemky, ploty živými. Všechna tato řešení mají ovšem svá úskalí. Jedním z nejpalčivějších problémů je nedostatek vody na zavlažování zatravněných ploch. Řešením by mohlo být svádění dešťové vody do nádrží a její využití na zavlažení potřebných ploch. Toto řešení je ekonomicky velmi náročné a bylo by potřeba kontrolovat pH dešťové vody, protože ne ve všech oblastech se pohybuje v neutrálních hodnotách.
- tepelný ostrov města je fenomén, který ovlivňuje život všech živých organismů ve městech. Ovlivňuje jejich tepelnou pohodu, ve městech díky svým účinkům vytváří mikroklima, které může být značně odlišné od rurální oblasti.

8. Použitá literatura

1. **BARRADAS V., 2000:** Energy balance and transpiration in an urban tree hedgerow in Mexico City. *URBAN ecosystem, Kluwer Academic Publishers. Netherlands: 55-67.*
2. **BEHRINGER W., 2010:** Kulturní změny klimatu – Od doby ledové po globální oteplování. *Paseka, Praha, Litomyšl, 408 str.*
3. **BERANOVÁ R., HUTH R., 2003:** Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy 56/2003. ČHMÚ. Praha: 137 – 142.*
4. **BRÁZDIL R., BUDÍKOVÁ M., 1999:** An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, The Czech Republic. *Atmospheric Environment 33. Elsevier Science Ltd.: 4211 – 4217.*
5. **ČHMÚ, 2006:** Informace o družicích METEOSAT první generace. Online: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_mtst.html, cit: 13.12.2012.
6. **ČHMÚ, 2010:** Observatoř Doksany. Online: <http://old.chmi.cz/meteo/ok/oba/obs/obs.html>, cit: 7.12.2012.
7. **DOBROVOLNÝ P., 2011:** Analýza teploty aktivních povrchů v oblasti Brna. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí, Skalní mlýn 2.-4.2.2011, 8 str.*
8. **DOBROVOLNÝ P., BRÁZDIL R., KRAHULA L., ROŽNOVSKÝ J., 2010:** Multilevel analysis of temperature spatial variability in Brno region. Online: <http://konference.osu.cz/cgsostrava2010.>, cit. 27.12.2012: 177-183.
9. **DOBROVOLNÝ P., KRAHULA L., 2012:** Vliv geometrie zástavby na pole teploty vzduchu a intenzitu tepelného ostrova města na příkladu Brna. *Meteorologické zprávy 65. ČHMÚ, Praha: 51-57.*
10. **DURDÍKOVÁ A., 2010:** Tepelný ostrov města. *Bakalářská práce. ČZU – Praha, 56 str.*

11. **FRYČ T., 2009:** Meteorologická a klimatologická automatizovaná staniční síť Českého Hydrometeorologického Ústavu. *Meteorologické zprávy 62. ČHMÚ – Praha:* 10 – 12.
12. **GARCÍA-CUETO O.R., JAUREGUI-OSTOS E., TOUDERT D., 2007:** Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C., México and its relationship with land use. *Atmosfera Vol. 20/2007. Universidad Nacional Autonoma De Mexico:* 111 – 131.
13. **HLADNÝ J., 2003:** Fakta a mýty o povodních. Grant GAČR – „Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní“. Online: http://floodserv.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/hladny.pdf, cit: 11.1.2013: 24 – 45.
14. **HLAVÁČ V., 1937:** Temperature Pattern of the Capital of Prague (in Czech). *Praha,* 95 str.
15. **HOUGHTON J.T., MEIRO FILHO L.G., CALLANDER B.A., HARRIS N., 1995:** IPCC: Climate Changes 1995, The Science og Climate Changes, *Cambridge University Press. Cambridge, UK,* 572 str.
16. **HUTHOVÁ Z., VÁŇA F., 2000:** Kvalita a použitelnost maximální a minimální přízemní teploty předpovídané modelem Aladin. *Meteorologické zprávy 53. ČHMÚ. Praha:* 46-52.
17. **CHALUPSKÝ A., nedatováno:** Meteorologická stanice Praha-Karlov. Online:<http://old.chmi.cz/meteo/opss/stanice.php?ukazatel=karlov>, cit: 10.12.2012.
18. **CHLÁDKOVÁ Z., KALVOVÁ J., 2005:** Změny vybraných klimatických charakteristik v České republice v období 1961 – 2000. *Meteorologické zprávy 58. ČHMÚ. Praha:* 146-153.
19. **KALVOVÁ J., HOLTANOVÁ E., FARDA A., KLIEGROVÁ S., METELKA L., 2009:** Výběr globálních klimatických modelů pro posouzení neurčitostí v odhadů budoucích změn klimatu v České republice. *Meteorologické zprávy 2009. ČHMÚ. Praha:* 97 – 106.

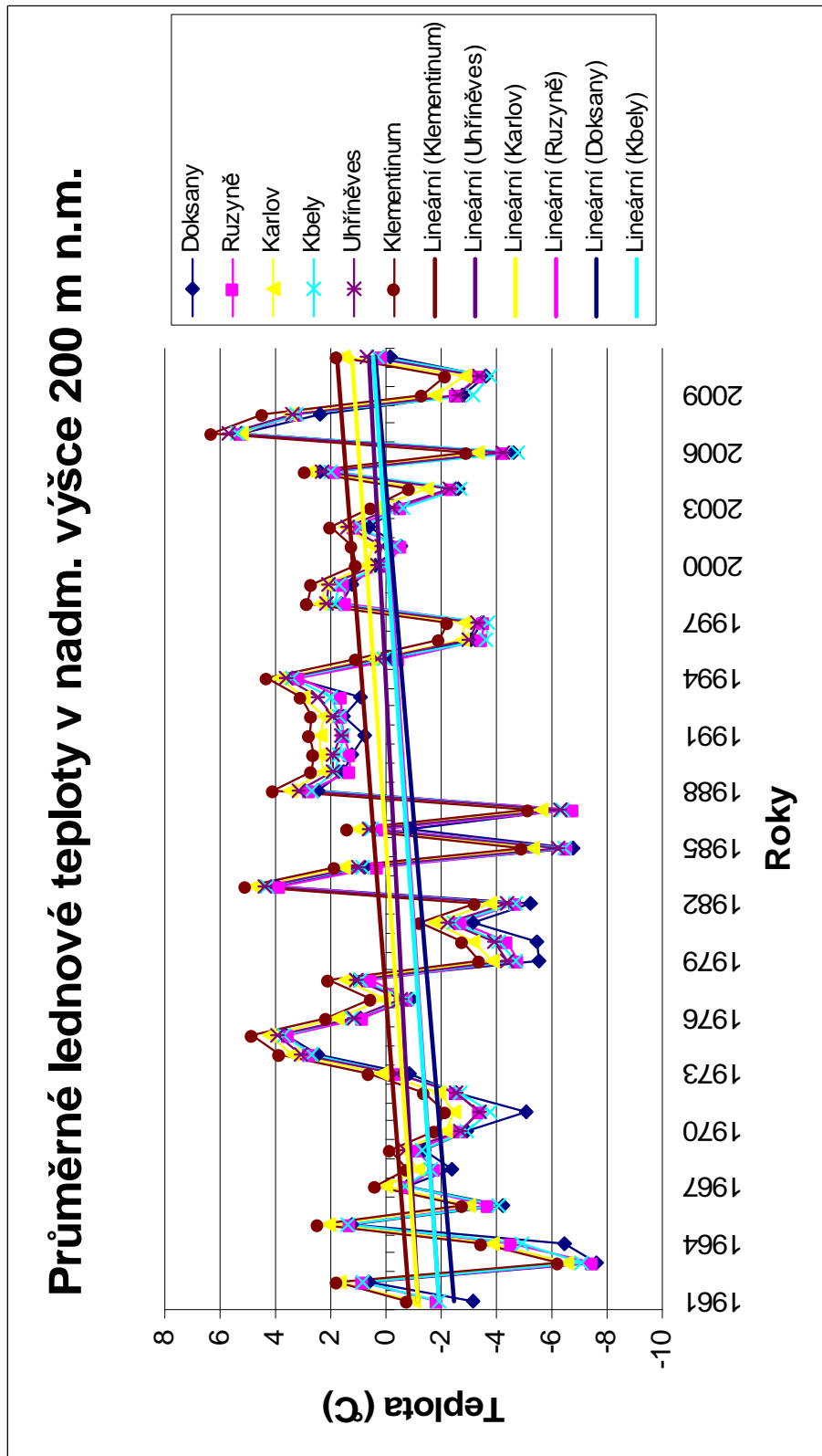
20. **KEATINGE W.R.**, 2003: Death In Heat Waves – Simple preventive measures may help reduce mortality. *British Medical Journal Vol. 327, University of London*: 512-513.
21. **KNOZOVÁ G. ŠIMKOVÁ J., SKERŮIL R.**, 2009: Výskyt smogových epizod ve vybraných městech České republiky. *Meteorologické zprávy 62. ČHMÚ. Praha*: 121-128.
22. **KOHOUTEK Z.**, 2013: In Verbo. *Pragochema Praha*.
23. **KOŽNAROVÁ V., SULOVSÁ S, HÁJKOVÁ L.**, 2012: Urban heat island in Prague. *Bioclimate 2012 – Bioclimatology of Ecosystems. Ústí nad Labem*: 52 – 53.
24. **KRŠKA K.**, 2003: Milníky Československé a České letecké meteorologie. *Meteorologické zprávy 56. ČHMÚ. Praha*: 57-61.
25. **KUMAR R., KAUSHIK S.C.**, 2005: Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Build and Environment. Science Direct. Elsevier*: 1505-1512.
26. **KVĚTOŇ V., ŽÁK M.**, 2004: Zkušenosti s konstrukcí technických teplotních časových řad v České republice. *Meteorologické zprávy 57. ČHMÚ. Praha*: 136-142.
27. **KYSELÝ J.**, 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech republic, from 1901-97, and their relationships to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology Vol. 22. Royal Meteorological Society*:35-50.
28. **KYSELÝ J., HUTH R.**, 2004: Úmrtnost související se stresem z horka v České republice v současném a budoucím klimatu. *Meteorologické zprávy 57. ČHMÚ. Praha*: 113 – 121.
29. **KYSELÝ J., KALVOVÁ J.**, 1998: Horké vlny na jižní Moravě v letech 1961 – 1990. *Meteorologické zprávy 51. ČHMÚ. Praha*: 65-72 .
30. **LAMBIN E., GEIST H.**, 2006: Land-Use and Land-Cover Change – Local Processes and *Global Impact. Heidelberg, Berlin*, 222 str.

31. **LITSCHMANN T., SCHNEIDER J., REBROŠOVÁ K., ŠKRDLA J., VYSKOT I., 2011:** Měření mikroklimatických charakteristik v modelových bukových porostech v Chříbech v letech 2008-2010. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlín*, 10 str.
32. **LITSCHMANN T., v tisku:** Četnost výskytu jednotlivých stupňů indexů tepla na území Brna. *Nepublikováno*, u autora.
33. **LITSCHMANN T., ROŽNOVSKÝ J., 2005:** Příspěvek ke studiu městského klimatu v Brně. *13th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Systém Soil-Crop Canopy-Atmosphere. Bratislava*: 331 – 342.
34. **LITSCHMANN T., ROŽNOVSKÝ J., 2009:** The incidence of heat index levels in urban areas Brno. *Online: <http://www.amet.cz/LitschmanRoznovsky2009.pdf>*, cit: 6.3.2013, 2 str.
35. **LITSCHMANN T., ROŽNOVSKÝ J., 2012:** Zhodnocení indexu HUMIDEX na území města Brna. *20th Internacionál Poster Day. Bratislava*, online: <http://www.amet.cz/Humidex2012.pdf>, cit: 5.2.2013: 431-442.
36. **MAYER, H., MATZARAKIS, A., 1998:** Human-biometeorological assessment of urban micro-climates' thermal component. Proc. 2nd Japanese-German Meeting „Klimaanalyse für die Stadtplanung“ - Special Report No. 1. *Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University*: 155-168.
37. **METELKA L., 1999:** Empirická objektivní analýza pole slunečního svitu pomocí neuronových sítí. *Meteorologické zprávy 52. ČHMÚ. Praha*: 102-108
38. **METELKA L., 2000:** Studie možnosti statistické korekce radarových odhadů srážek pomocí neuronových sítí na případu Rychnovska. *Meteorologické zprávy 53. ČHMÚ. Praha*: 146-152.
39. **METEOCENTRUM, nedatováno:** Online: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/meteorologicke-stanice.php>, cit: 14.12.2012.
40. **METEOSKOP, nedatováno:** Online: <http://www.meteoskop.cz/pocasi/uhrineves>, cit: 8.12.2012.
41. **MUNZAR J., 1995:** Znehodnocování životního prostředí Prahy v 19. století. *Historická geografie 28. Praha*: 239-253.

42. **OKE T.R., 1987:** Boundary layers climate. *New Yourk, Routledge*, 464 str.
43. **OKE T.R., 1997:** Urban Climates and Global Environmental Change. *Applied Climatology. London: 273-287.*
44. **PAMÁTKY PRAHA, nedatováno:** Online: http://pamatky.praha.eu/jnp/cz/pamatkovy_fond/pamatkove_uspechy-majak_a_vodarenska_voz_na_letisti_ve_kbelich_mladoboleslavska_ulice_ppc_1992_index.html, cit: 7.12.2012.
45. **POKLADNÍKOVÁ H., CHUCHMA F., STŘEDA T., ROŽNOVSKÝ J., 2009:** Výskyt horkých vln a tropických dnů v městském a příměstském prostředí. Online: <http://www.cbks.cz/upice2009/103.pdf>. Cit: 7.3.2013: 103-108.
46. **PROCHÁZKA J., ŠEBEK O., COUFAL L., SEDLÁČEK M., 1980:** Klasifikace klimatu Prahy. *Meteorologické zprávy 33. ČHMÚ, Praha: 161-167.*
47. **ŘEPKA M., LIPINA P., VYSOUDIL M., 2012:** Historie a současnost meteorologických pozorování v Olomouci. *Meteorologické zprávy 65. ČHMÚ, Praha: 129-138.*
48. **ŘEZÁČOVÁ D., NOVÁK P., KAŠPAR M., SETVÁK M., 2007:** Fyzika oblaků a srážek. *Academia. Praha, 574 str.*
49. **SAITOH T.S., HISADA T., 1991:** Reduction of air pollution by changing the pollutant emission from the vehicles. *Proc. 26th IECEC91: 126-131.*
50. **SAITOH T.S., SHIMADA T., HOSHI H., 1996:** Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment Vol. 30. Pergamon: 3431-3442.*
51. **SOBÍŠEK B., BEDNÁŘ J., ČERNAVA S., FLUX J., HODAN L., KOPÁČEK J., MUNZAR J., NEDELKA M., SLABÁ N., 1993:** Meteorologický slovník výkladový a terminologický. *Academia. Praha, 594 str.*
52. **STŘEŠTÍK J., 2004:** Výskyt extrémních teplot vzduchu v průběhu dvou století v Pražském Klementinu. *Seminář: „Extrémní počasí a podnebí“.* Brno, 7 str.

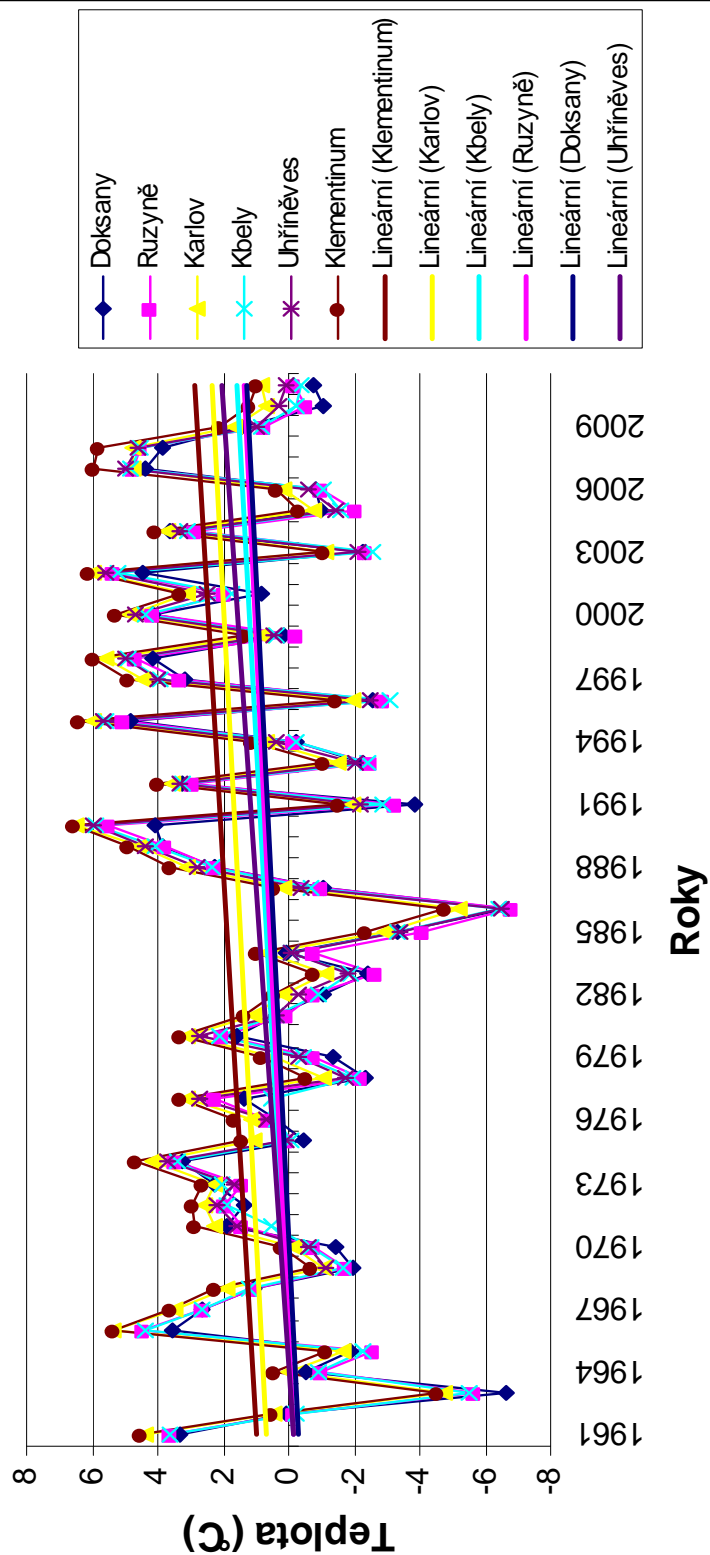
53. **SULOVSÁ S., KOŽNAROVÁ V., KLABZUBA J., 2010:** Tepelný ostrov města v chladném období roku. *Bioklima 2010. Praha:* 438-446.
54. **SVOBODA J., 2003:** Velká kniha o klimatu zemí koruny české. *Regia. Praha,* 655 str.
55. **ŠTĚPÁNEK P., 2004:** Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. *ČHMÚ - Práce a studie 32. Praha,* V tisku.
56. **TAKEBAYASHI H., MORIYAMA M., 2007:** Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment Vol. 42. ScienceDirect:* 2971 – 2979.
57. **TOMÁŠ M., 2012:** Letní teploty vzduchu v Olomouci v letech 2010-2011 z hlediska teplotního komfortu člověka: *Meteorologické zprávy 65. ČHMÚ. Praha:* 75-82.
58. **UAP (Územně analytické podklady hl. m. Prahy), 2012:** Sídlní struktura. Online:http://www.uppraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UA/P/UAP2012/2_2_sidelni_struktura.pdf, cit. 10.3.2013.
59. **VYSOUDIL M., 2006:** Meteorologie a klimatologie. *Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc,* 182 str.
60. **VYSOUDIL M., 2009:** Klasifikace místních klimatických efektů. *Geografický časopis 61. Geografický ústav. Olomouc:* 229-241.
61. **VOOGT J.A., 2002:** Urban heat island – Causes on a consequences of global enviromental chase. *Encyclopedia of Global Environmental Cahnge. John Wiley and sons, Ltd. Chichester:* 660 – 666.

9. Přílohy



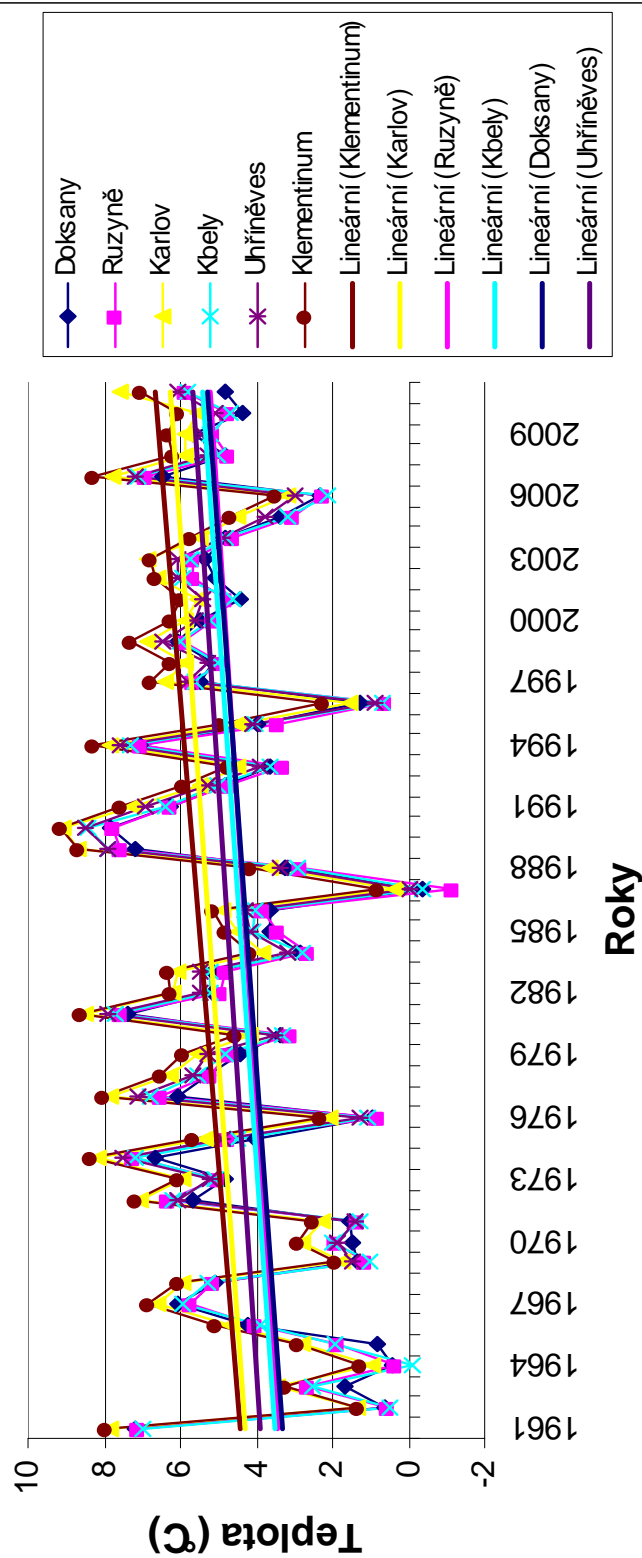
Příloha 1: Průměrné lednové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné únorové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

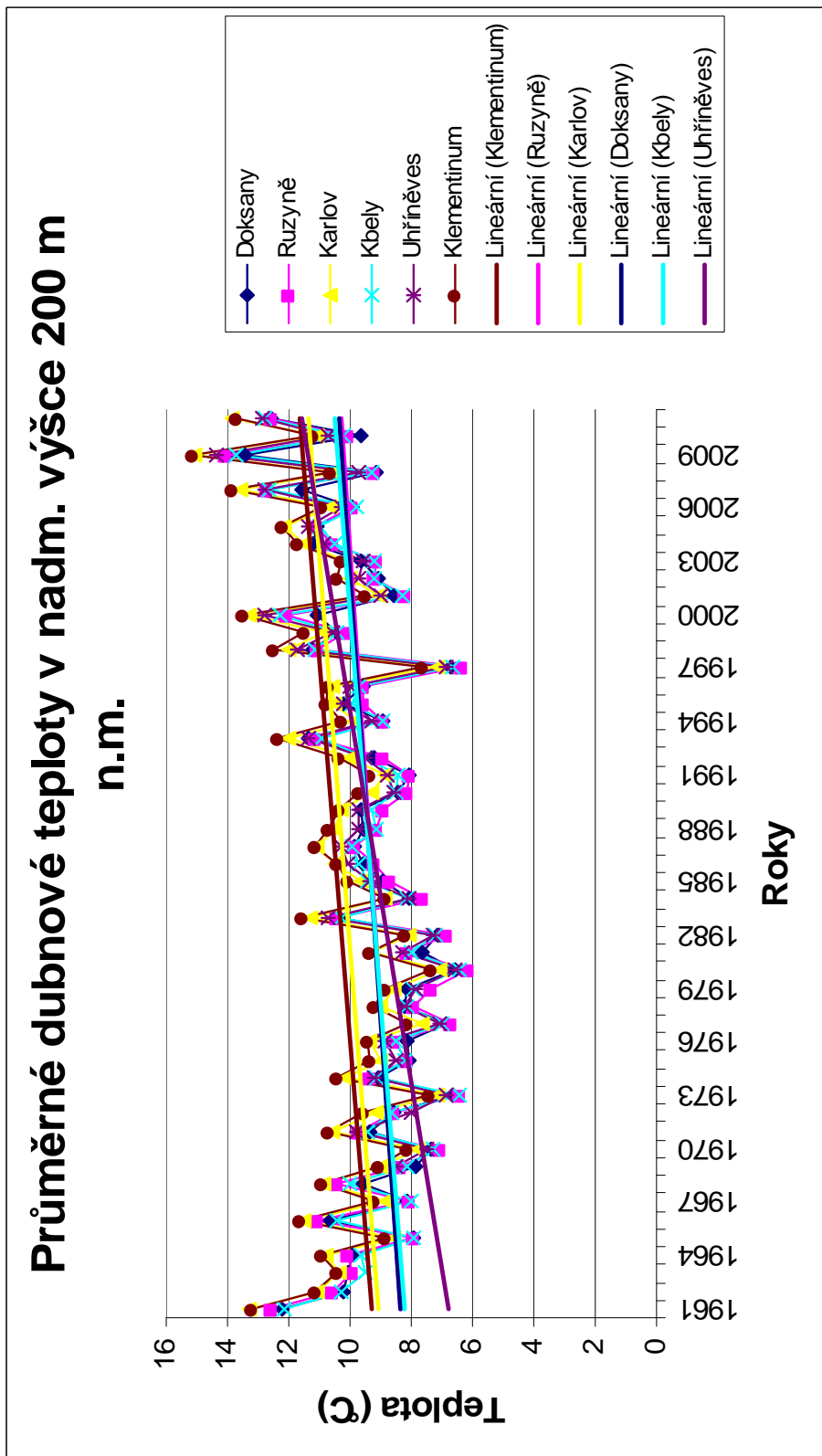


Příloha 2: Průměrné únorové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné březnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

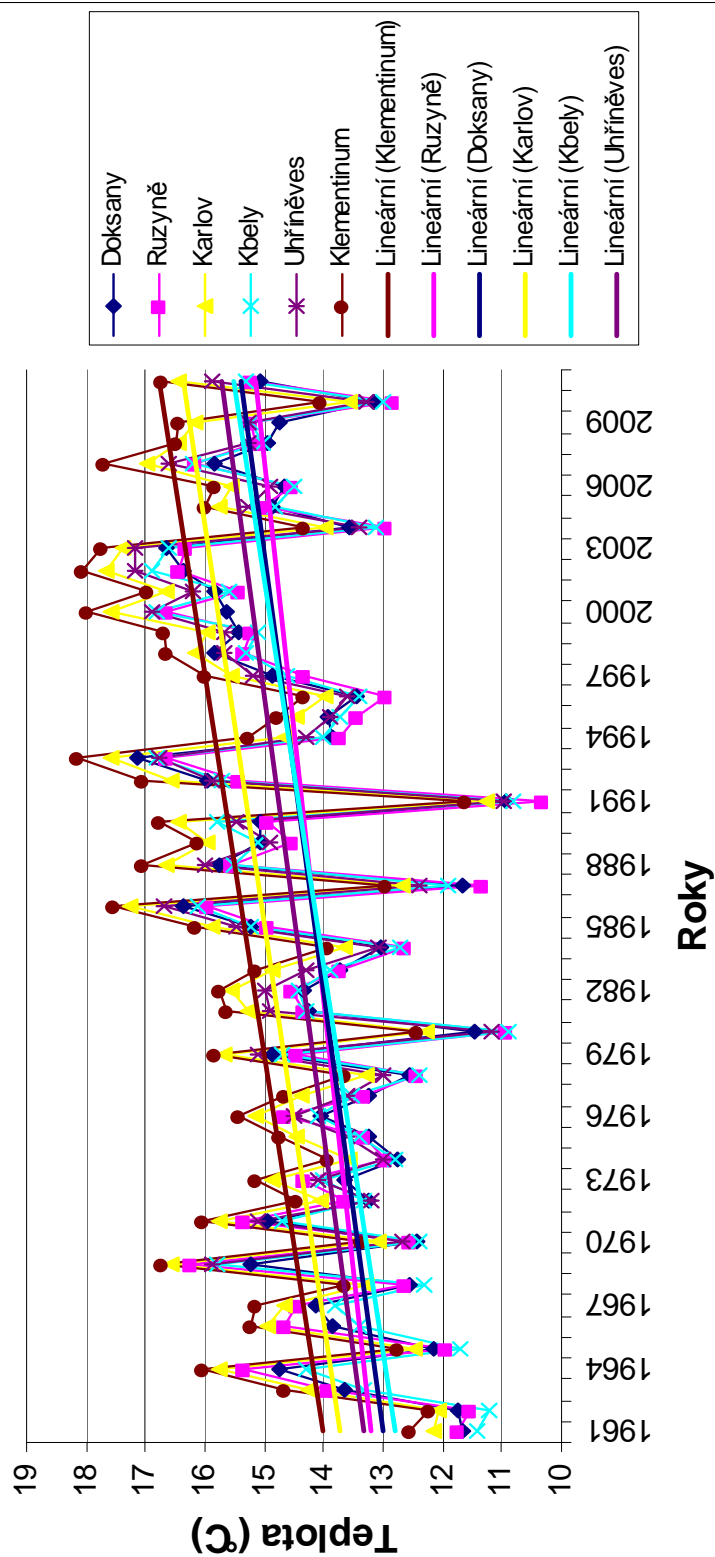


Příloha 3: Průměrné březnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



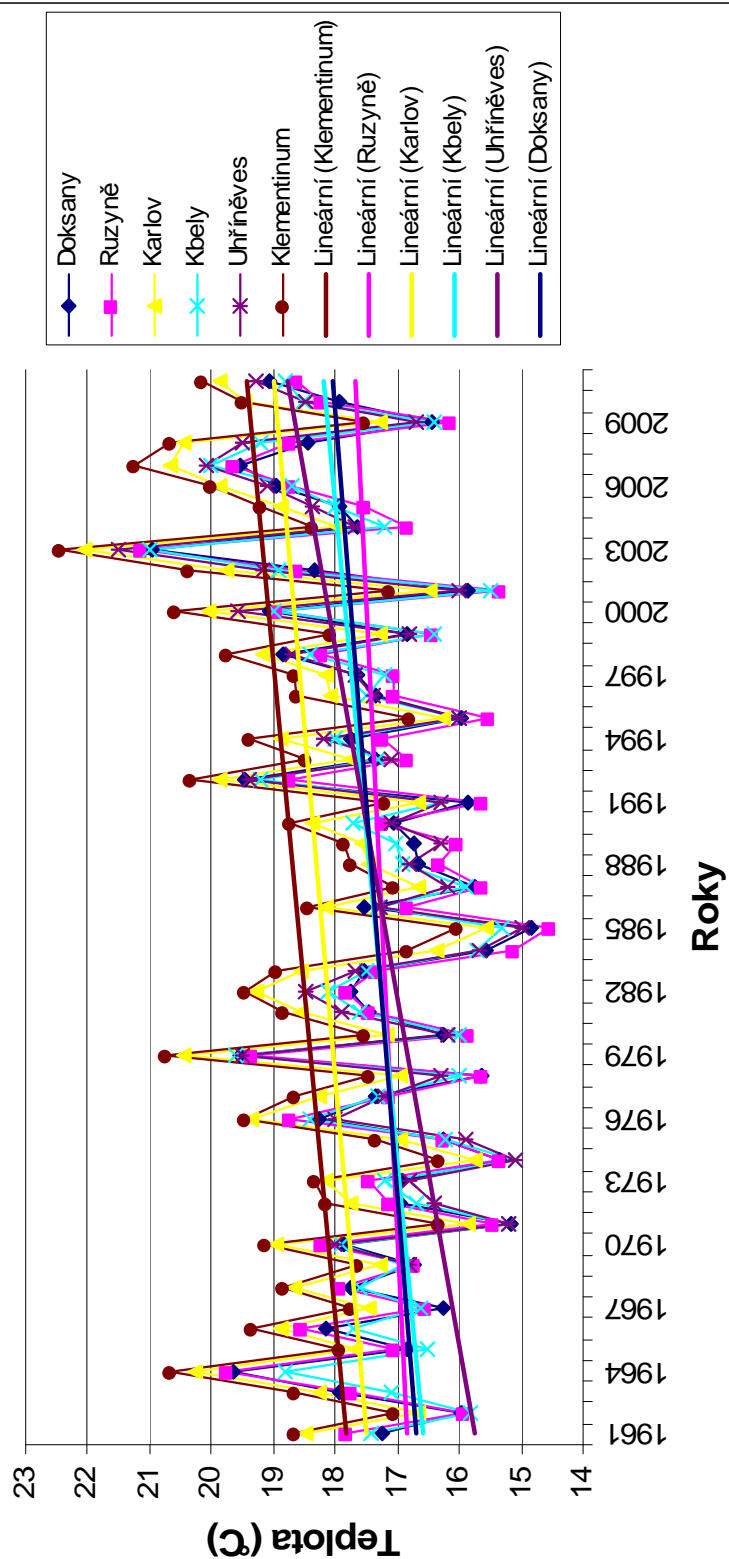
Příloha 4: Průměrné dubnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné květnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



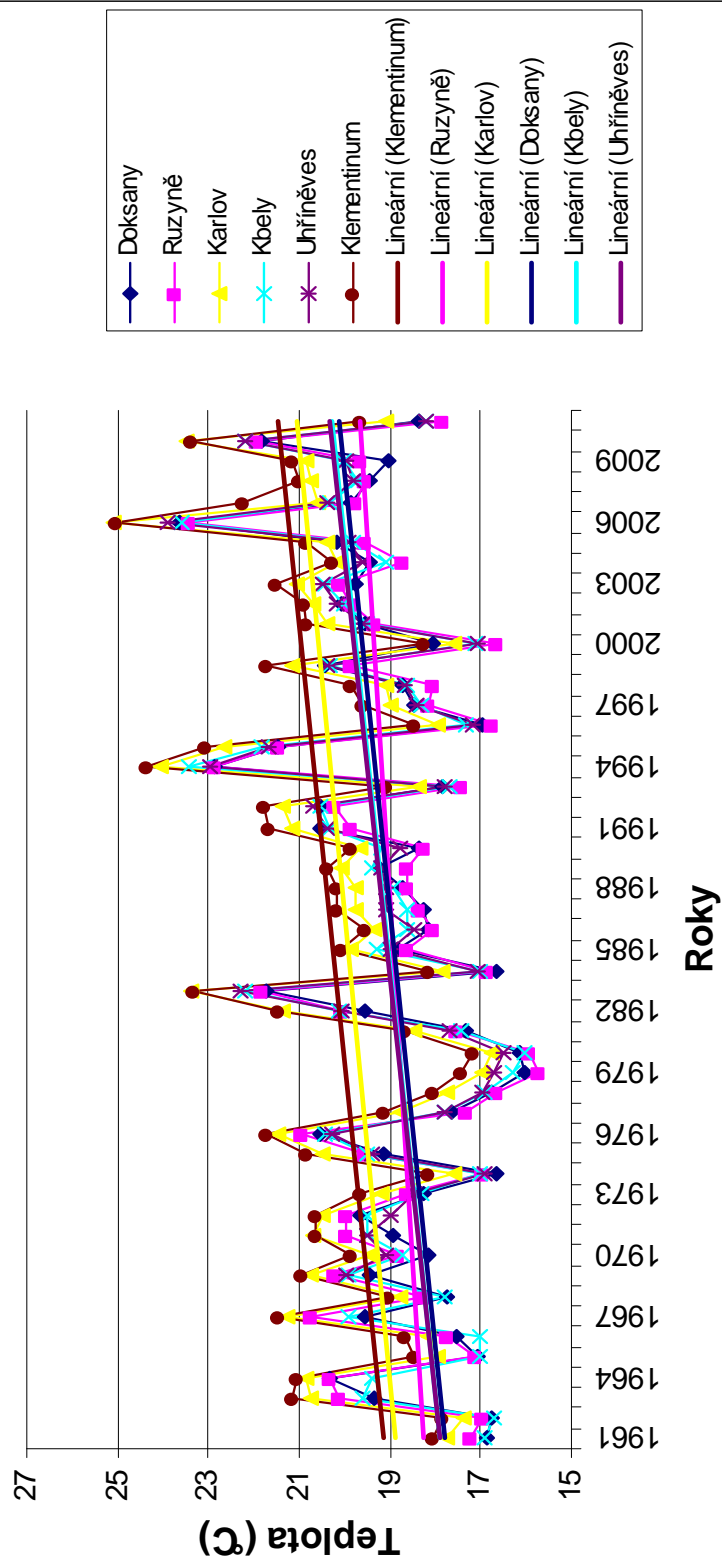
Příloha 5: Průměrné květnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné červnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



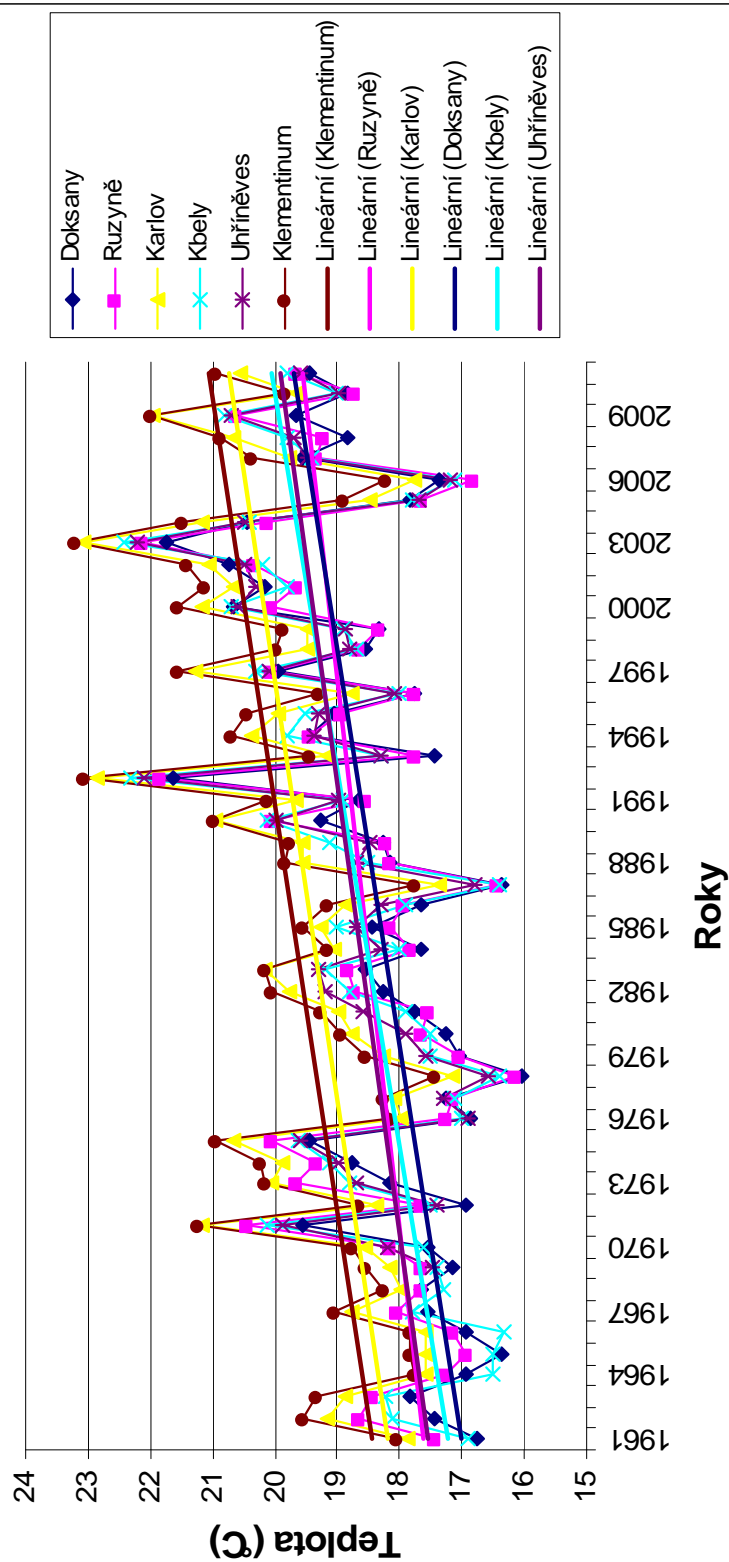
Příloha 6: Průměrné červnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné červencové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

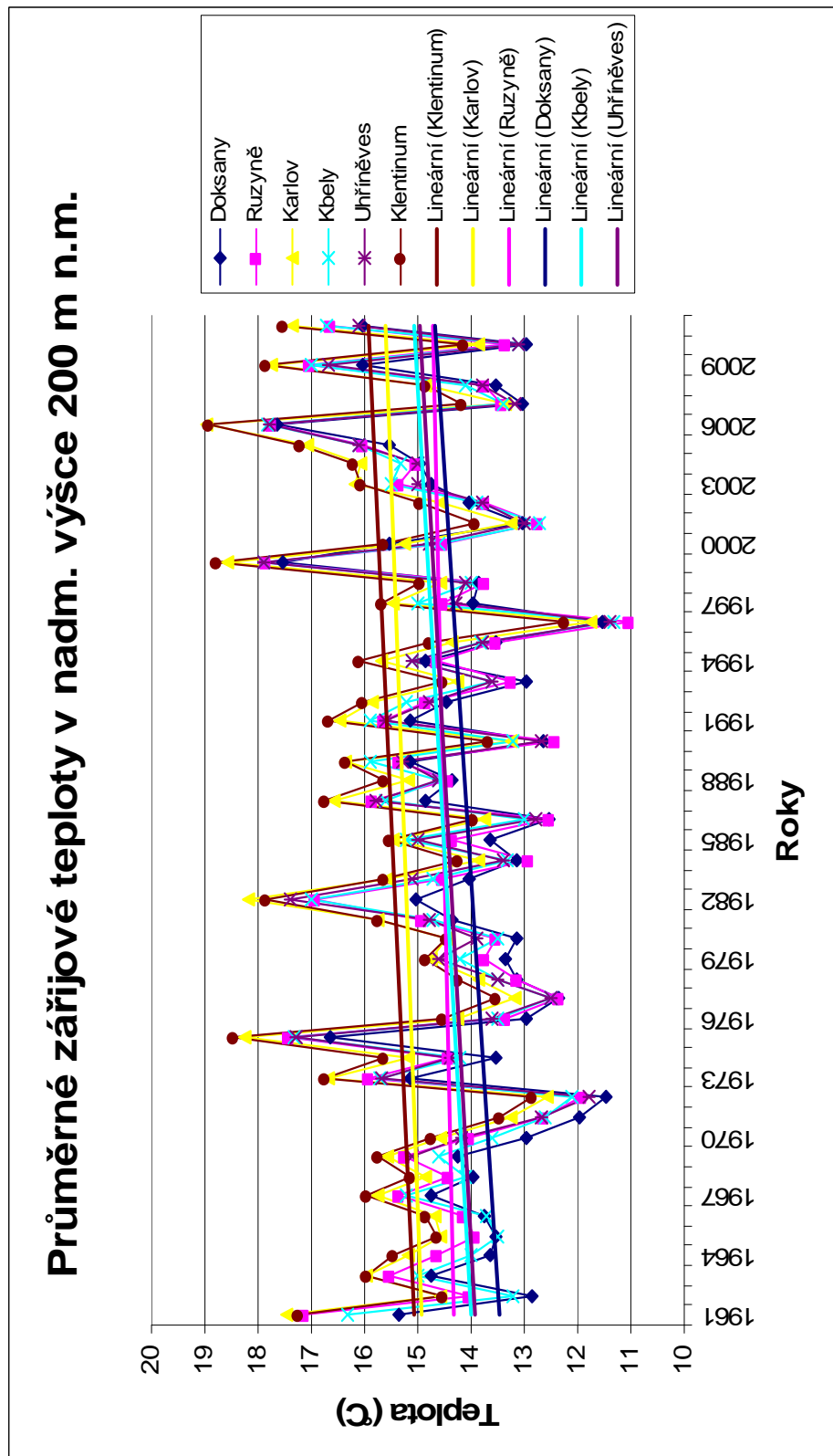


Příloha 7: Průměrné červencové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné srpnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

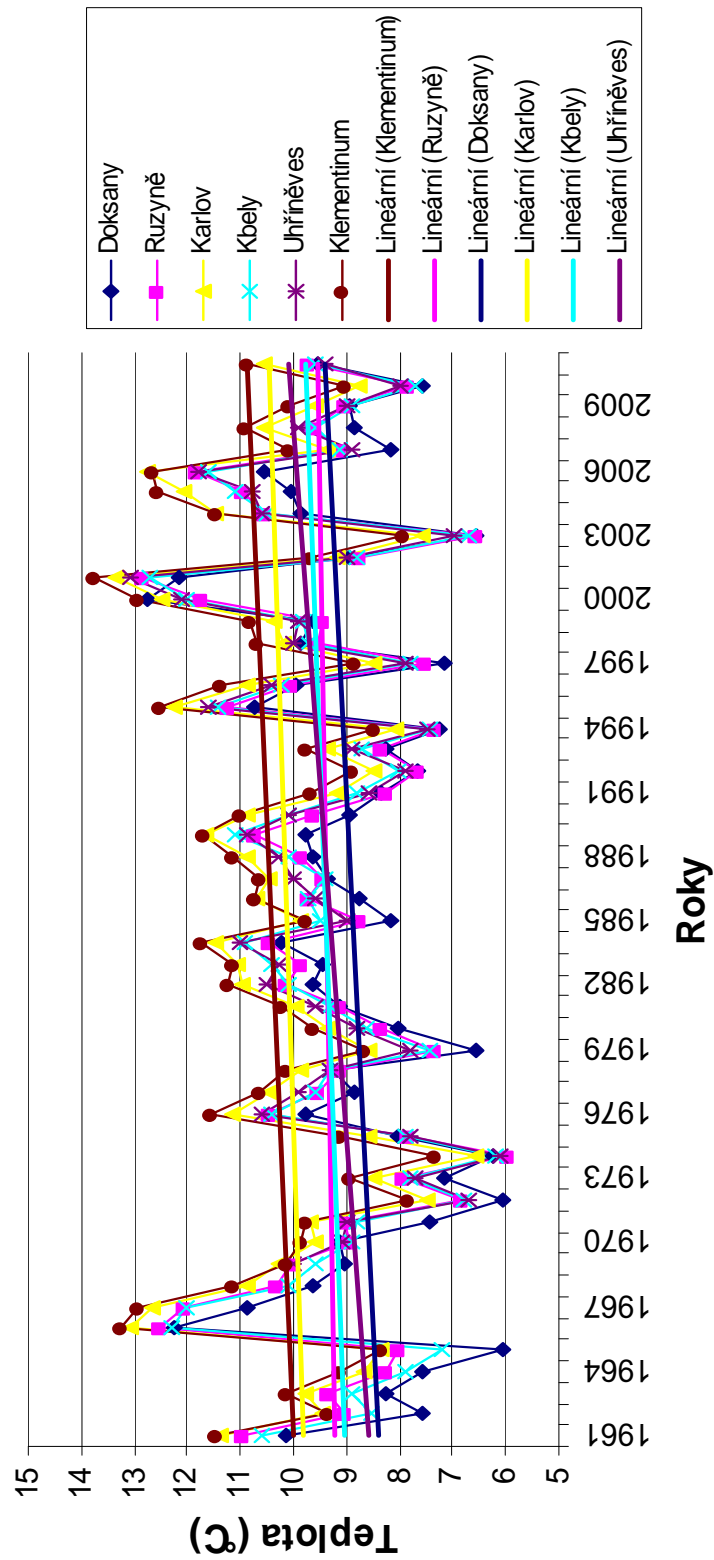


Příloha 8: Průměrné srpnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



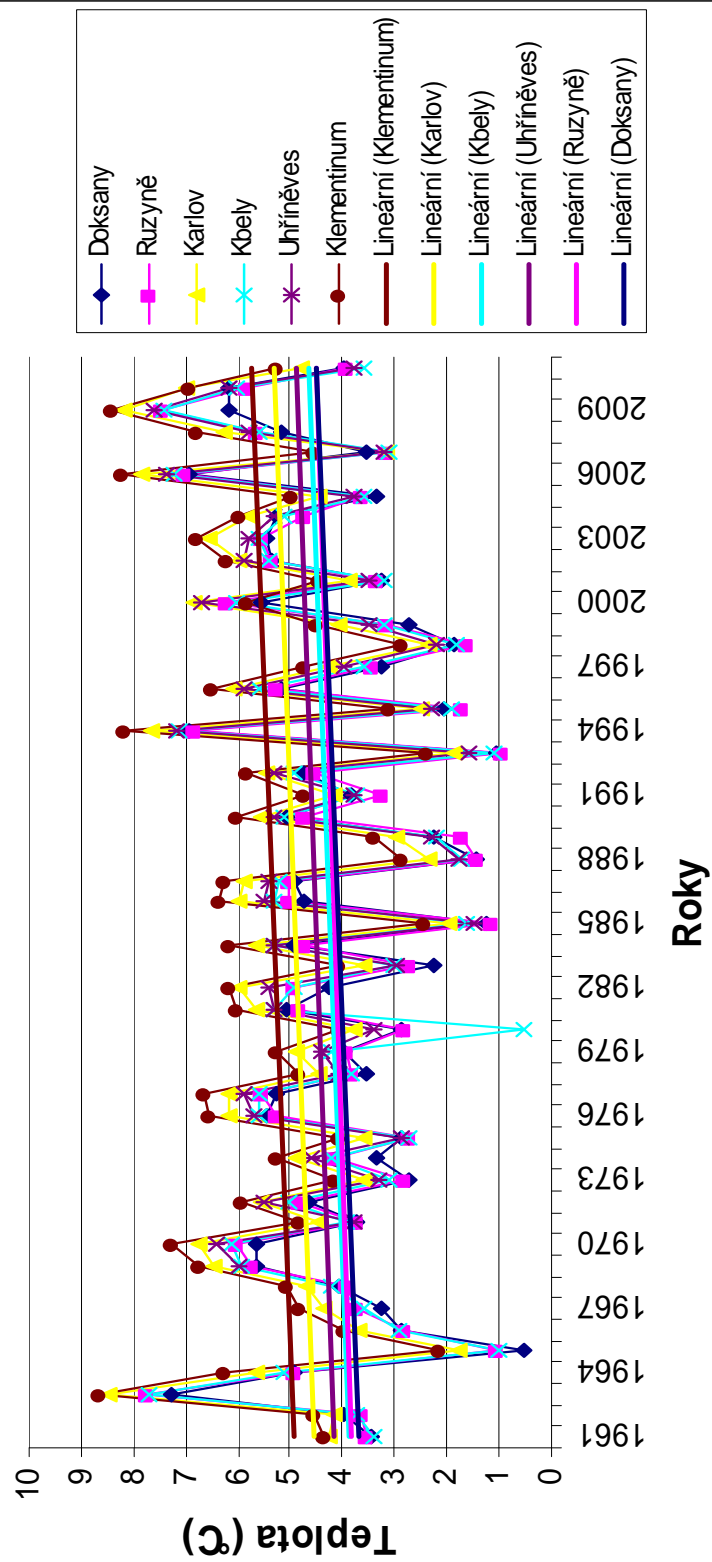
Příloha 9: Průměrné zářijové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné říjnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



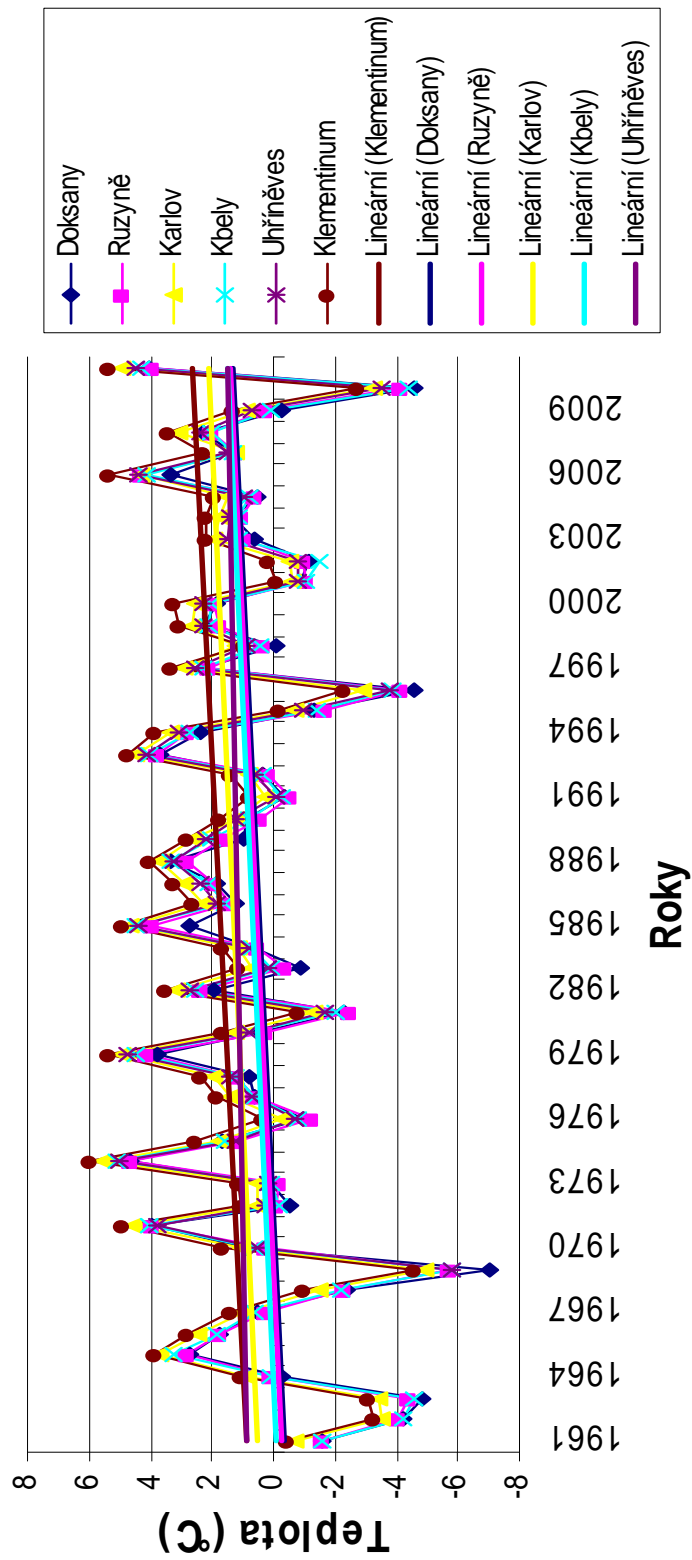
Příloha 10: Průměrné říjnové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné listopadové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



Příloha 11: Průměrné listopadové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.

Průměrné prosincové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.



Příloha 12: Průměrné prosincové teploty v nadm. výšce 200 m n.m.