

UNIVERSITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana prostředí
Ochrana životního prostředí



Vliv vlny vedra v létě 2003 a 2006 na úmrtnost obyvatel Prahy

Heat wave effect on mortality in summer 2003 and 2006 in
Prague

Bc. Veronika Knobová

Vedoucí práce: RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Srpen 2012

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejeté) informace budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená diplomová práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Čelákovících, dne 15. 8. 2012

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji RNDr. Ivě Hůnové, CSc. za odbornou pomoc a podnětné konzultace při vypracování této diplomové práce. Děkuji rovněž RNDr. Marku Malému, Csc. ze Státního zdravotního ústavu za vytvoření statistického modelu a pomoc při statistickém zpracování dat.

Obsah

Abstrakt	5
Abstract.....	6
1. Úvod	7
1.1 Znečištění ovzduší a jeho účinky na zdraví.....	8
1.1.1 Hlavní znečišťující látky a jejich zdroje.....	9
1.1.2 Epidemiologické studie	10
1.1.3 Normy, směrné hodnoty, prahové hodnoty	11
1.1.4 Důsledky znečištění ovzduší na lidské zdraví	14
1.1.5 Znečištění ovzduší v Praze	17
1.2 Vlna veder v roce 2003 a 2006.....	19
1.2.1 Charakteristika vlny vedra v roce 2003 a její dopady v Evropě.....	19
1.2.2 Charakteristika vlny vedra v roce 2006 a její dopady v Evropě.....	22
1.3 Cíle práce.....	24
2. Metody.....	25
2.1 Sledovaná oblast.....	25
2.2 Sledované období	25
2.3 Vstupní data.....	26
2.3.1 Data o znečištění ovzduší	26
2.3.2 Meteorologická data	27
2.3.3 Data o zdravotním stavu populace.....	27
2.4 Charakteristika dat	28
2.5 Korelační analýza	28
2.6 Regresní analýza.....	29
3. Výsledky.....	31
3.1 Charakteristika dat	31
3.2 Korelační analýza	45
3.3 Regresní analýza.....	49
4. Diskuze	53
4.1 Rozsah zkoumaného období.....	54
4.2 Rozsah zkoumaného území	55
4.3 Vlivy pro rozdělení podle věku	56
4.4 Vlivy pro rozdělení podle pohlaví	57
4.5 Vlna vedra v létě 2006.....	58
4.6 Ostatní studie z ČR.....	59
5. Závěr.....	60
6. Použitá literatura.....	61
7. Seznam tabulek a obrázků	73

Abstrakt

Úvod: Během vlny vedra v srpnu 2003 a červenci 2006 byly v celé Evropě naměřeny velmi vysoké teploty a vysoké koncentrace znečišťujících látek, především O₃ a PM₁₀. Tyto vlny vedra měly významný vliv na lidské zdraví a zvýšení počtu úmrtí z kardiovaskulárních a respiračních příčin. Zkoumali jsme, zda se srpen 2003 a červenec 2006, měsíce mimořádné z hlediska vysokých teplot a vysokých koncentrací O₃ a PM₁₀, projeví na zvýšení celkové úmrtnosti a zvýšení úmrtnosti z respiračních a kardiovaskulárních příčin lidí žijících v Praze.

Metodika: Na zjištění vlivu vlny vedra na zvýšenou úmrtnost jsme použili negativní binomickou regresi (podtyp Poissonova modelu). Model zahrnoval meteorologické faktory (teplotu, vlhkost), kalendářní jevy a koncentrace znečišťujících látek (O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO). Jako nejvhodnější byl vybrán výpočet s 1-denním zpožděním (lag1).

Výsledky: Zjistili jsme zvýšení relativního rizika úmrtnosti v důsledku vlny vedra v létě 2003 a 2006 ve všech námi sledovaných faktorech (celková úmrtnost, úmrtnost z kardiovaskulárních příčin, úmrtnost z respiračních příčin). V žádném ze sledovaných faktorů však nevyšlo zvýšení úmrtnosti statisticky významně. Vyšší relativní riziko bylo zaznamenáno u žen.

Závěr: Můžeme říci, že vlny vedra v srpnu 2003 a červenci 2006 měly své dopady na úmrtnost i v Praze, která je oproti jiným studiím počtem obyvatel velmi malá.

Klíčová slova: vlna vedra, úmrtnost, teplota, O₃, PM₁₀

Abstract

Background: During August 2003 and July 2006 there were observed records high temperature and high concentrations of pollutants across Europe. The effect of heat waves led to significant increases in total mortality, respiratory mortality and cardiovascular mortality. This study evaluates the association between exposure to heat waves and daily non-accidental mortality, respiratory mortality and cardiovascular mortality in Prague, Czech Republic.

Methods: The effect of heat wave in summer 2003 and 2006 on mortality was investigated using the negative binomial regression (type of the Poisson model). Counts of death were regressed on temperature, humidity, long-term trends, season, day of week and concentrations of pollutants (O₃ levels, PM₁₀ levels, NO₂ levels, SO₂ levels, CO levels). We used 1 day lag.

Results: We found association between heat waves in summers 2003 and 2006 and daily mortality and mortality on respiratory and cardiovascular diseases. No statistically significant association was detected. The effect of heat wave was more significant in women.

Conclusions: The effect of heat wave in August 2003 and July 2006 caused adverse effect on mortality in Prague, though lower as compared to many other cities in Europe.

Keywords: heat wave, mortality, temperature, ozone, particulate matter

1. Úvod

Změna klimatu s sebou nese zvýšenou frekvenci meteorologických extrémů, tedy i vln veder (IPCC, 2007). Dlouhotrvající vedra obvykle korelují se zhoršenou kvalitou ovzduší, sucho a intenzivní fotochemické reakce způsobují vysoké koncentrace O_3 a dalších znečišťujících látek. Vlny vedra se zhoršenou kvalitou ovzduší mají výrazné dopady na lidské zdraví, na nemocnost i na úmrtnost. Existuje řada zahraničních studií z Evropy, USA i Kanady, která se touto problematikou zabývá s cílem, připravit preventivní opatření pro snížení možných dopadů vlny vedra.

Takovéto dlouhotrvající vlny vedra s rekordními teplotami a neobvykle dlouho přetrvávajícími vysokými koncentracemi O_3 a PM_{10} se v srpnu 2003 vyskytly v Evropě. S překonáním 50 000 úmrtí byla vlna vedra v létě 2003 zařazena mezi 10 největších přírodních katastrof Evropy za posledních 100 let (Larsen, 2006) a nejhorší přírodní katastrofa za posledních 50 let (De Bono et al., 2004). V červenci 2006 se pak v Evropě vyskytla další významná vlna vedra, která v porovnání s vlnou vedra v roce 2003 neměla tak vysoké koncentrace znečišťujících látek (především O_3 , NO_2 a PM_{10}).

Podle některých studií je během letních teplotních vln pozorován největší přímý efekt působení počasí na lidskou úmrtnost, který vede k podstatnému nárůstu celkové úmrtnosti obyvatel, především z respiračních nebo kardiovaskulárních příčin (Hajat et al., 2002; Huynen et al., 2001; Kyselý, 2004).

Mnoho zahraničních studií již potvrdilo tento negativní dopad znečištění ovzduší na zvýšenou úmrtnost z respiračních či kardiovaskulárních příčin (Anderson, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002).

V současnosti neexistuje žádná formální definice vlny vedra. Vypracování brání řada omezení (Koppe et al., 2004). Vlna vedra se vždy vztahuje k místním regionálním podmínkám. Odlišná je i citlivost populace na teplo. Je zřejmé, že pro Evropu nelze učít hraniční hodnota teploty, která se bude považovat za vedro. V různých státech i v různých regionech se tato hranice liší (Gosling et al., 2009). Nelze jednoznačně určit hraniční hodnoty teploty, které již budou považovány za vedro. V různých státech i v různých regionech se tato hranice liší, například v chladnějších regionech mají vliv na zdraví obyvatel teploty obecně nižší než v regionech teplejších (Huynen et al., 2001).

Tato prezentovaná studie se zabývá vlivem vln vedra v srpnu 2003 a červenci 2006 na celkovou úmrtnost a úmrtnost z respiračních příčin a z kardiovaskulárních příčin obyvatel hlavního města České republiky Prahy.

Práce nejprve blíže pojednává o dopadech znečištění ovzduší na lidské zdraví, dále charakterizuje průběh vln vedra v létě 2003 a 2006 v Evropě a jeho dopady na úmrtnost a především zkoumá dopad vln vedra v létě 2003 a 2006 na zvýšení úmrtnosti obyvatel Prahy.

1.1 Znečištění ovzduší a jeho účinky na zdraví

Zdravotní účinky znečištění ovzduší jsou v posledních letech předmětem intenzivních studií (např. Ayres et al., 2006; Brunekreef & Holgate, 2002; Chan-Yeung, 2000; Holgate et al., 1999). Expozice znečišťujícími látkami především suspendovaným částicím (dále jen PM) a přízemnímu ozonu (dále jen O₃) je spojována se zvýšenou nemocností, hospitalizací a úmrtností v důsledku respiračních a kardiovaskulárních chorob (např. Anderson, 2009; Bell, 2005; COMEAP, 2007; Larrieu et al., 2007; Lin et al., 2008). Tyto účinky byly potvrzeny mnoha krátkodobými studiemi, týkající se rozdílů ve znečištění ovzduší a dopadů na zdraví ze dne na den, i studiemi dlouhodobými, ukazujícími kohorty exponovaných osob v čase (např. Katsouyanni, 2001; Le Tertre, 2002; McConnell, 2002; Zemp, 1999).

Dopady znečištění ovzduší jsou pozorovány i při velmi nízké úrovni expozice. Není tudíž zcela jasné, zda vůbec existují prahové koncentrace škodlivin (hlavně PM a O₃), pod kterými by tyto znečišťující látky neměly prokazatelně žádné účinky na zdraví (WHO, 2006).

V 80. letech 20. století, v době úspěšného snižování tradičních znečišťujících látek v ovzduší, vyvrcholilo rozsáhlé přezkoumávání účinků znečišťujících látek na lidské zdraví (Holland et al., 1979). Od této doby se znečištění ovzduší zařadilo mezi hlavní problémy životního prostředí. Ačkoliv se snížily emise ze spalování tradičních fosilních paliv (černé a hnědé uhlí), na významu nabylo fotochemické znečištění ovzduší charakterizované vysokou koncentrací O₃ a dalších znečišťujících látek hlavně v teplém a slunečném počasí. Zvýšila se i produkce oxidů dusíku (dále jen NO_x) ze stále stoupajícího počtu motorových vozidel a změnila se distribuce velikosti a složení PM a jejich toxicita (Brunekreef & Holgate, 2002).

1.1.1 Hlavní znečišťující látky a jejich zdroje

Poté, co se ve vyspělých státech významně snížily koncentrace oxidu siřičitého (dále jen SO₂), se pozornost přesunula především na O₃, PM a NO₂ (Brunekreef & Holgate, 2002). Na tyto tři hlavní znečišťující látky je zaměřena následující kapitola této práce.

Pro miliony lidí žijících na venkově v rozvojových zemích se znečištění ovzduší z používání paliv z biomasy vyskytuje v koncentracích, které jsou řádově vyšší než v současné době ve vyspělých zemích (Ezzati & Kammen, 2001). V důsledku akutní respirační infekce u dětí, která vyplývá z těchto expozic, je odhadováno více než 2 miliony úmrtí (Smith et al., 2000). V největších městech v rozvojových zemích se vyskytují extrémní expozice znečišťujících látek jako SO₂, O₃, PM, NO₂, CO a dalších (Vichit-Vadakan et al., 2001). V ideálním případě by mohla osvěta ve vyspělém světě pomoci rozvojovým zemím následovat méně znečišťující a stabilnější cestu k modernizaci a industrializaci. Nicméně dostupné údaje naznačují, že díky tlaku globální konkurence a rychlém nárůstu populace je prostor pro případná řešení v tomto ohledu velmi malý (Brunekreef & Holgate, 2002).

O₃ je silné oxidační činidlo, které vzniká v atmosféře fotochemickou reakcí v přítomnosti slunečního záření a znečišťujících látek, jako jsou oxidy dusíku (NO_x) a těkavé organické látky (VOC). Do určité míry se může do troposféry dostat i poklesem ze stratosféry (Seinfeld & Pandis, 2006). Koncentrace v centrech měst mají tendenci být nižší než v předměstských částech, a to především v důsledku titrace O₃ oxidem dusnatým pocházejícím z dopravy (Brunekreef & Holgate, 2002).

Hlavním zdrojem antropogenních emisí NO_x je spalování fosilních paliv (plyn, nafta) a biomasy. Více než 55 % antropogenních emisí NO_x produkují i přes používání katalyzátorů motorová vozidla (Burnett et al., 2004). Největší složku NO_x tvoří oxid dusičitý (NO₂) emitovaný ze spalování ušlechtilých paliv v motorech dopravních prostředků a elektráren (EPA, 2012). Antropogenní zdroje NO_x jsou i chemické procesy, kde jsou NO_x přítomné a může dojít k jejich úniku (WHO, 2006).

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi je v podstatě směs pevných nebo kapalných částic rozptýlených ve vzduchu (Brunekreef & Holgate, 2002). Jedná se o soubor částic značného počtu ($10^2 - 10^8 \text{ cm}^{-3}$) a různé velikosti (Braniš & Hůnová eds., 2009). Velikost PM se pohybuje od několika nanometrů až po desítky mikrometrů (Donaldson et al., 2001). Největší částice (tzv. hrubá frakce) primárně vznikají působením mechanických sil na hmotu, např. prach uvolňovaný větrem, dopravní či stavební

aktivitou, spoluemisí s plynnými produkty při spalování uhlí nebo zpracování rud (Braniš & Hůnová eds., 2009). Malé částice (tzv. částice akumulárního modu $< 1 \mu\text{m}$) jsou z velké části tvořeny z plynů (Brunekreef & Holgate, 2002). Vznikají kondenzací plynů, chemickými reakcemi, kondenzací vody či ostatních par na již existující částice nebo koagulací částic nukleačního modu (Braniš & Hůnová eds., 2009). V troposféře jsou nejpočetnější skupinou aerosolů. Nejmenší částice (tzv. částice nukleačního modu $< 0,1 \mu\text{m}$) vznikají jako důsledek vysokoteplotních procesů a fotochemických reakcí v atmosféře. Kondenzací horkých par vznikají primární částice, které vzájemně koagulují a vytváří řetězovité agregáty a jejich shluky (Seinfeld & Pandis, 2006).

Jaký účinek budou mít PM na zdraví, závisí na jejich tvaru, velikosti a chemickém složení. Velikost částic rozhoduje o tom, jaký bude průnik dýchacím traktem a následná depozice (Harrison & Yin, 2000).

1.1.2 Epidemiologické studie

Bylo již provedeno mnoho studií na krátkodobý i dlouhodobý vliv znečištění ovzduší na lidské zdraví, zdůrazňujících především vliv na zvýšení hospitalizací a úmrtností (Almeida et al., 2011; Atkinson et al., 2001; Katsouyanni et al., 1995; Katsouyanni et al., 2001; Le Tertre et al., 2002). V současné době probíhají v Evropě a USA vědecké snahy prokázat vliv znečištění ovzduší na lidské zdraví. V Evropě poskytly mnoho nových poznatků studie APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach). První studie (APHEA-1) byly vypracovány již začátkem 90. let 20. století. Koncem 90. let byla vypracována nová řada studií (APHEA-2).

Ve studii APHEA-1 se nárůst denní úmrtnosti v šesti evropských městech v závislosti na zvýšení 1-hodinové maximální ozonové koncentraci o $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pohyboval v rozmezí 6–9 % (Touloumi, 1997). Studií bylo také zjištěno spojení mezi NO_2 a úmrtností, především v důsledku černého kouře (black smoke), který reprezentuje celkové znečištění ovzduší souvisejícího s dopravou (Touloumi, 1997).

Studie úmrtnosti APHEA-2 zkoumala více jak 5 let (v 2. polovině 90. let) populaci 43 miliónů lidí žijících ve 29 evropských městech. Zvýšení denní úmrtnosti v závislosti na zvýšení PM_{10} o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ se pohybovalo v rozmezí 0,4–0,8 % (Katsouyanni et al., 2001).

Studie APHEA-2 o zvýšeném příjmu lidí do nemocnic dále studovala populaci 38 miliónů lidí z osmi evropských měst pod dobu tří až devíti let v polovině 90. let 20. století. U lidí starších 65 let se v závislosti na zvýšení PM_{10} o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ zvýšila hospitalizace z důvodu astmatu a chronické obstrukční nemoci plic o 1,0 % (95 % CI: 0,4–1,5). U

hospitalizace z důvodů kardiovaskulárních onemocnění došlo k nárůstu o 0,5 % (95 % CI: 0,2–0,8) v závislosti na zvýšení PM₁₀ o 10 µg.m⁻³ a ke zvýšení hospitalizací v důsledku expozice černému kouři (black smoke) o 1,1 % (95 % CI: 0,4–1,8) (Atkinson et al., 2001).

Kromě řady studií na zvýšení úmrtnosti byly sledovány i důsledky znečištění ovzduší na zvýšení nemocnosti (Bell et al., 2005). Série dlouhodobých studií, které se zabývaly spojením mezi znečištěním ovzduší a zdravím malých dětí i dospělých, vznikly ve Švýcarsku. Ačkoliv je Švýcarsko malá země, heterogenita horského terénu způsobuje relativně velké kontrasty v expozici. V osmi různých švýcarských oblastech byla expozice PM₁₀, NO₂ a SO₂ u dospělých spojena se symptomy bronchitidy, ne však se symptomy astmatu. U dětí ze stejných oblastí, které byly vystaveny stejným znečišťujícími látkami, bylo onemocnění plic spojeno se symptomy bronchitidy a opět nebyly prokázány symptomy astmatu a alergií (Zemp et al., 1999).

Ve 24 oblastech ve Spojených státech amerických a Kanadě bylo u dětí zjištěno spojení mezi expozicí PM_{2,5} a funkcí plic. Byl prokázán vliv PM_{2,5} na symptomy bronchitidy, ale ne na symptomy astmatu (Avol et al., 2001). Studie v Kalifornii prezentovaly, že některé případy astmatu mohou být spojeny s O₃, neprokázaly však spojitost s dalšími znečišťujícími látkami (McConnell et al., 2002).

1.1.3 Normy, směrné hodnoty, prahové hodnoty

V Evropě pro O₃, NO₂ a PM ve vnějším ovzduší existuje několik směrnic a norem. V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny limitní hodnoty Evropské unie (EU) a poslední směrné hodnoty kvality ovzduší podle Světové zdravotnické organizace (WHO) tzv. Ambient Air Quality Guidelines.

Tab. 1: Limitní hodnoty EU (směrnice EU, 2008/50/ES)

Znečišťující látka	Předmět ochrany	Doba průměrování	Imisní limit
NO ₂	lidské zdraví	1 hod	200 µg.m ⁻³ nejvýše 18 překročení ročně
NO ₂	lidské zdraví	1 rok	40 µg.m ⁻³
PM ₁₀	lidské zdraví	24 hod	50 µg.m ⁻³ nejvýše 7 překročení ročně
PM ₁₀	lidské zdraví	1 rok	20 µg.m ⁻³
O ₃	lidské zdraví	8 hod	120 µg.m ⁻³

O ₃	informační prahová hodnota	1 hod	180 µg.m ⁻³
O ₃	varovná prahová hodnota	1 hod	240 µg.m ⁻³
SO ₂	lidské zdraví	1 hod	350 µg.m ⁻³ nejvýše 24 překročení ročně
SO ₂	lidské zdraví	24 hod	125 µg.m ⁻³ nejvýše 3 překročení ročně

Tab. 2: Směrné hodnoty WHO (WHO, 2005)

Znečišťující látka	Předmět ochrany	Doba průměrování	Směrná hodnota (AQG)
NO ₂	lidské zdraví	1 hod	200 µg.m ⁻³
NO ₂	lidské zdraví	1 rok	40 µg.m ⁻³
PM ₁₀	lidské zdraví	24 hod	50 µg.m ⁻³
PM ₁₀	lidské zdraví	1 rok	20 µg.m ⁻³
PM _{2,5}	lidské zdraví	24 hod	25 µg.m ⁻³
PM _{2,5}	lidské zdraví	1 rok	10 µg.m ⁻³
O ₃	lidské zdraví	8 hod	100 µg.m ⁻³
SO ₂	lidské zdraví	10 min	500 µg.m ⁻³
SO ₂	lidské zdraví	24 hod	20 µg.m ⁻³

Směrné hodnoty WHO (Ambient Air Quality Guidelines, AQG) jsou založeny především na nových vědeckých poznatcích. Přesto nechrání plně lidské zdraví, neboť v současné době není možné specifikovat prahové hodnoty PM₁₀, PM_{2,5} či O₃, pod nimiž se negativní účinky již zcela neprojevují (WHO, 2006). Všechny směrné a limitní hodnoty uvedené v tabulkách jsou předmětem pravidelných revizí v závislosti na nových vědeckých poznatcích.

Pro srovnání směrnice WHO pro kvalitu ovzduší v Evropě vydaná v roce 2000 (Air quality guidelines for Europe) stanovila směrnou hodnotu pro maximální 8-hodinovou průměrnou koncentraci O₃ 120 µg.m⁻³. Epidemiologické studie ze Severní Ameriky i z Evropy (Ezzati et al., 2004; HEI, 2004; Jerret, 2004; Samet et al., 2000) prokázaly malé, ale přesvědčivé asociace mezi zvýšenou denní úmrtností a úrovní koncentrace O₃ nižší, než bylo prokázáno při vydání směrnice WHO, 2000. Tato zjištění, která ukázala, že existují značně individuální rozdíly v reakci na působení O₃, poskytly důvod pro snížení AQG WHO z 120 µg.m⁻³ na stávající úroveň 100 µg.m⁻³ (denní maximální 8-hodinový průměr).

Je jistě zřejmé, že u citlivých jedinců se účinky na zdraví projeví i při koncentracích nižších než $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006).

Na základě studií delších časových řad Světová zdravotnická organizace odhadla, že ve dnech, kdy maximální 8-hodinová průměrná koncentrace O_3 dosahuje $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, se zvýší počet úmrtí o 1–2 % (WHO, 2006).

Na severní polokouli se pozadřové koncentrace O_3 mění v čase a prostoru (EEA, 2003). Změny jsou způsobeny jak antropogenními, tak i biogenními (např. VOC z vegetace) emisemi prekurzorů O_3 . Ve skutečnosti tedy může být navržená směrná hodnota občas překročena i z přirozených příčin (WHO, 2006).

S rostoucí koncentrací O_3 nad směrnou hodnotu stoupá početnost a závažnost zdravotních účinků. Tyto účinky se většinou objevují v místech, kde se vyskytují vysoké koncentrace O_3 v důsledku lidské činnosti nebo v důsledku zvýšených koncentrací O_3 během epizod vln veder (Kovats & Ebi, 2006).

Podle WHO je expozice O_3 nad úroveň $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ spojována se zvýšenou úmrtností o 3–5 % (WHO, 2006).

Při maximální 8-hodinové průměrné koncentraci O_3 $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ výzkum WHO zaznamenal při vykonávání zvýšené aerobní aktivity u zdravých mladých dospělých lidí měřitelné změny ve funkci plic a zvýšení výskytu zánětů plic (WHO, 2006). Ačkoliv je možné argumentovat, že zvýšení výskytu zánětů plic bylo prokázáno při intenzivním aerobním cvičení, je velmi pravděpodobné, že v běžné populaci je značné množství osob, které mohou být daleko citlivější na účinky O_3 než je relativně mladý a celkově zdravý člověk.

Při maximální 8-hodinové průměrné koncentraci O_3 větší než $240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ jsou závažné účinky na lidské zdraví velmi pravděpodobné, tento fakt je podpořen velkým množstvím klinických studií (Lipmann, 2003). Očekává se snížení plicních funkcí a zvýšení výskytu zánětů dýchacích cest. Expozice O_3 v těchto koncentracích má za následek zvyšování počtu úmrtí o 5–9 % (WHO, 2006).

Problém s určením směrných hodnot nastává i u NO_2 , neboť jako znečišťující látka má NO_2 více rolí, které není vždy možné oddělit. Experimentální studie ukazují, že NO_2 u krátkodobých koncentrací nad $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ je toxický plyn s výraznými účinky na zdraví. Studie také naznačují, že nepříznivé účinky má i dlouhodobé vystavení NO_2 v koncentracích odpovídajících aktuální výši imisních limitů (Burnett et al., 2004).

NO_2 se často používá jako indikátor spalování, tedy jako souhrn znečišťujících látek emitovaných při silničním provozu nebo při ostatních spalovacích procesech (EEA,

2002). Účinky na lidské zdraví jsou tedy spojeny s dalšími produkty spalování, jako jsou jemné částice, oxid dusnatý či benzen (Kazmarová, 2010). Aktuální směrná hodnota WHO ve výši $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (roční průměr) je zaměřena na ochranu veřejného zdraví z plynného NO_2 (WHO, 2006).

Dlouhodobé epidemiologické studie prokázaly, že příznaky bronchitidy u astmatických dětí jsou spojeny se zvýšenou koncentrací NO_2 v městském prostředí (Gauderman et al., 2000). Nepodařilo se však určit, do jaké míry jsou pozorované účinky způsobeny samotným NO_2 nebo souborem všech znečišťujících látek ze spalování (Gauderman et al., 2002).

Krátkodobé toxikologické studie prokázaly akutní zdravotní účinky při 1-hodinové koncentraci NO_2 $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tato úroveň expozice má přímý vliv na plicní funkce (Samoli et al., 2006). Studium bronchiální reakce u astmatiků ukázalo negativní projevy již při 1-hodinové koncentraci NO_2 $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Burnett et al., 2004).

Jen těžko se stanovuje hranice, pod níž by suspendované částice neměly žádné nepříznivé účinky na lidské zdraví. Za spodní hranici $\text{PM}_{2,5}$, která již má negativní účinky na zdraví, se považuje 24-hodinová koncentrace $3\text{--}5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což odpovídá běžným pozadovým koncentracím ve Spojených státech i v Evropě (WHO, 2006).

Klíčovou otázkou je, zda existují prahové koncentrace, pod kterými nemá znečištění ovzduší žádný vliv na lidské zdraví. K objasnění tohoto problému byly provedeny teoretické i empirické práce (Cakmak et al., 1999). Například při analýze dat z NMMAPS (The National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study; Národní studie o nemocnosti, úmrtnosti a znečištění ovzduší) nebyly nalezeny žádné důkazy o tom, že prahové působení PM_{10} má souvislost s denní úmrtností z kardiovaskulárních příčin. A proto byla koncem 90. let 20. století prahová hodnota $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ považována za hodnotu, která nezpůsobuje úmrtnost z kardiovaskulárních příčin (Brunekreef et al., 1995; Daniels et al., 2000; Smith et al., 2000).

Dnešní studie dokládají, že práh pro akutní účinky O_3 a PM_{10} na funkci plic musí ležet hluboko pod směrnou hodnotou WHO (např. Lipmann, 2003).

1.1.4 Důsledky znečištění ovzduší na lidské zdraví

Vystavení člověka znečištění ovzduší je spojeno s řadou různých zdravotních účinků, od mírné změny v dýchacích cestách, přes poškození plicních funkcí, až po rozsáhlé omezení činnosti a snížení výkonu dýchacích cest. Existuje stále více důkazů o nežádoucích účincích znečištění ovzduší nejen na respirační systém, ale rovněž na systém

kardiovaskulární, to potvrzuje i studie akutních a chronických expozic WHO (2004). Mezi nejzávažnější důsledky vysokých koncentrací znečištění ovzduší, pokud jde o celkovou zdravotní zátěž organismu, patří snížení průměrné délky života (Filleul et al., 2004; Namdeo et al., 2011). Epidemiologické studie z USA ukazují, že očekávaná délka života v oblastech s vysokou imisní zátěží může být o více než rok kratší oproti oblastem s nízkou zátěží (Samet et al., 2000).

Významnou roli při určení, zda jedinec bude mít zdravotní problémy způsobené znečištěním ovzduší, hraje úroveň, rozsah a trvání expozice, věk, individuální vnímavost a další faktory (Talbot et al., 2010).

Znečišťující látky v ovzduší mohou být obzvláště škodlivé pro obyvatele patřící k vysoce rizikovým skupinám, jako jsou děti a starší lidé (Ballester et al., 1997; Saez et al., 1995). Dále mezi rizikové skupiny obyvatelstva patří ti, kteří jsou vrozeně citliví na účinky znečišťujících látek a lidé s kardiovaskulárními a respiračními onemocněními (Klinenberg, 2002). Nejvyšší nárůst úmrtnosti se vyskytuje u pacientů nad 60 let. V této části populace se vyskytuje velké procento lidí, které již trpí nějakou chorobou resp. mají nějaké zdravotní postižení (Applegate, 1981). Dále ke zranitelnosti ve stáří dochází z důvodu vnitřní změny v systému regulace teploty nebo díky přítomnosti léků, které homeostázy ovlivňují (Basu & Samet, 2002; Havenith, 2001).

Hodnocení krátkodobých i dlouhodobých účinků znečišťujících látek je složitý proces. Výběr zdravotních účinků jednotlivých škodlivin je shrnut v tab. 3. Účinky dlouhodobé expozice se většinou týkají zvýšení výskytu symptomů chronické bronchitidy, snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, zvýšení spotřeby léků pro rozšíření průdušek při dýchacích obtížích a zkrácení očekávané délky života (Kazmarová, 2010).

Tab. 3: Výběr důležitých zdravotních účinků vázaných na konkrétní znečišťující látky (WHO, 2004)

Polutant	Účinek krátkodobé expozice	Účinek dlouhodobé expozice
PM₁₀	<ul style="list-style-type: none"> • Plicní zánětlivé reakce • Respirační symptomy • Nežádoucí účinky na kardiovaskulární systém • Zvýšení užívání léků • Zvýšení hospitalizací • Zvýšení úmrtnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Zvýšení symptomů dolních dýchacích cest • Snížení plicních funkcí u dětí • Zvýšení chronické obstrukční plicní nemoci • Snížení funkce plic u dospělých • Snížení očekávané délky života, především v důsledku rakoviny plic
O₃	<ul style="list-style-type: none"> • Nežádoucí účinky na plicní funkce • Plicní zánětlivé reakce • Zvýšení užívání léků 	<ul style="list-style-type: none"> • Snížení rozvoje funkce plic

	<ul style="list-style-type: none"> • Zvýšení hospitalizací • Zvýšení úmrtnosti 	
NO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Nežádoucí účinky na plicní funkce, zejména u astmatiků • Zvýšení alergické zánětlivé reakce • Zvýšení počtu hospitalizací • Zvýšení úmrtnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Snížení funkce plic • Zvýšená pravděpodobnost symptomů dýchacích cest

O₃ patří mezi dráždivé látky, jeho účinky mizí z 50 % do několika hodin a zbylých 50 % účinků postupně odeznívá v horizontu týdne (WHO, 2004). Při delším pobytu v oblastech se zvýšenou koncentrací se mohou objevit zdravotní problémy jako pálení očí, nosu, krku, tlak na hrudi, kašel a bolesti hlavy (Devlin et al., 1997). Reakce organismu na koncentrace O₃ je různá, záleží na době působení (expozici), predispozicích a úrovni aktuální fyzické aktivity (Gryparis et al., 2004).

Působení PM₁₀ způsobuje dráždění sliznice dýchacích cest, změnu funkce a morfologie řasinkového epitelu a zvýšení produkce hlenu. Tyto změny usnadňují vznik infekce (Samet et al., 2000). Akutní zánětlivá onemocnění mohou následně vést ke vzniku chronické obstrukční nemoci plic a chronické bronchitidy, což může způsobit přetížení srdeční komory a následné oběhové selhávání (EPA, 2004). Zvýšené koncentrace PM₁₀ se projevují zvýrazněním symptomů astmatu (McConnell et al., 2006) a zvýšením celkové nemocnosti a úmrtnosti (Schwartz et al., 2003).

Epidemiologické studie uvádějí vztahy mezi změnami denních koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a počtem hospitalizací pro respirační onemocnění, spotřebou léků k rozšíření průdušek, frekvencí výskytu příznaků onemocnění dýchacího traktu a úmrtností (WHO, 2004). V USA vedlo zvýšení PM_{2,5} o 10 µg.m⁻³ ke zvýšení úmrtnosti o 1,5 % (Schwartz et al., 2003). WHO uvádí sumární odhad z různých epidemiologických studií, který je vztažený ke zvýšení 24-hodinové průměrné koncentrace PM₁₀ o 10 µg.m⁻³. Tento nárůst koncentrace PM₁₀ vede ke zvýšení počtu hospitalizací o 0,8 % z důvodů respiračních onemocnění, ke zvýšení počtu lidí trpících kašlem o 3,6 %, k nárůstu použití léků k rozšíření průdušek při astmatických potížích o 3 % a k nárůstu lidí s podrážděním dolních dýchacích cest o 3,2 % (WHO, 2004 in Kotlík, 2008).

Emise NO_x negativně působí na lidské zdraví. Především vdechování vysokých koncentrací dráždí dýchací cesty a vede k závažným zdravotním potížím, které mohou končit i smrtí (Sybdom et al., 2001). NO_x snižují funkci plic, zvyšují výskyt bronchitidy a zhoršují astma (WHO, 2004).

1.1.5 Znečištění ovzduší v Praze

Znečištění ovzduší v Praze se monitoruje sítí měřících stanic. Naměřená data jsou shromažďována v databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) Českého hydrometeorologického ústavu. V Praze je přes čtyřicet stanic sledující kvalitu ovzduší. Stanice jsou klasifikovány jako městské, předměstské a venkovské (podle EOI: Exchange of Information, OECD).

Při hodnocení kvality ovzduší se porovnávají naměřené hodnoty imisních koncentrací s příslušnými imisními limity, případně s četnostmi jejich překročení. Imisní limity jsou stanoveny legislativou. Základní právní normou pro hodnocení kvality ovzduší v České republice je zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. Specifikace jsou v nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. V české legislativě jsou již zahrnuty požadavky Evropské unie, dány směrnicí pro kvalitu venkovního ovzduší (Fiala, 2000).

Z grafických a tabelárních ročenek ČHMÚ, hodnotících pravidelné měření ovzduší v České republice, lze vyzorovat dlouhodobé trendy znečištění ovzduší (ČHMÚ, 2002–2011).

V Praze je znečištěním ovzduší zatížena značná část obyvatel. Největší problém je zde doprava a s ní související vysoké koncentrace především PM_{10} , NO_2 a benzo[a]pyrenu.

Hlavním zdroje NO_2 v Praze je silniční doprava a spalování ve stacionárních zdrojích. Trend NO_2 je od roku 2000 do roku 2012 stále kolísavý. K překročení imisních limitů dochází v oblastech s nejhustší dopravou. Nejhorší situace díky dopravě je každoročně zaznamenávána na měřící stanici Praha 2–Legerova, kde je každoročně až stokrát překročena limitní hodinová koncentrace ($200 \mu g \cdot m^{-3}$).

U koncentrace PM_{10} dochází neustále ke kolísání hodnot, neboť zdroje PM jsou velmi rozmanité (např. emise z průmyslu, doprava, elektrárny, stavební činnost, spalovací zdroje atd.). Znečištění ovzduší částicemi PM_{10} je stále jeden z hlavních problémů ovzduší v Praze.

Imisní limity pro O_3 jsou překračovány každoročně. Od roku 2000 bylo možno pozorovat určitou stagnaci v koncentracích této škodliviny. V roce 2003 ovšem došlo v letních měsících k nárůstu koncentrací O_3 v důsledku dlouhotrvající vlny vedra s vysokými teplotami, vysokými hodnotami slunečního záření a suchem. Ze šesti pražských stanic, kde se O_3 v roce 2003 měřil, došlo k překročení na čtyřech stanicích (Praha–Kobylisy, Praha–Libuš, Praha–Veselavín, Praha–Vysočany). Následující roky

došlo k mírnému poklesu koncentrací O₃. Pokles je pravděpodobně způsoben mírným poklesem teplot a mírným poklesem prekurzorů O₃ (ČHMÚ, 2010).

Je nutné zdůraznit, že značná část Prahy se nachází v oblasti podlimitních koncentrací O₃. To je dáno především díky emisím z dopravy (NO_x), které v blízkosti dopravních tepen vznikají a odbourávají vysoké koncentrace O₃ (chemickou reakcí O₃ s NO). K nejvyšším překročením imisních limitů pro O₃ dochází na pozadových (venkovských) stanicích. Koncentrace zpravidla rostou i se stoupající nadmořskou výškou, nejzatíženější lokality ČR leží v horských oblastech (např. Krkonoše–Rýchory, Sněžník). Naopak nejméně zatížené jsou města s vysokým dopravním zatížením, jako je Praha.

Na městských stanicích jsou obecně výraznější denní chody koncentrací O₃ než na venkovských stanicích. Tento rozdíl je zčásti způsoben rychlejší destrukcí O₃ v městském ovzduší ve večerních a nočních hodinách, ke kterému dochází důsledkem vyšších koncentrací NO_x (Seinfeld & Pandis, 2006).

Do roku 2000 došlo na všech měřicích stanicích k výraznému poklesu koncentrací SO₂. Tento klesající trend s malými výkyvy pokračuje dodnes. I při malém zvýšení jsou koncentrace vždy hluboko pod imisním limitem.

Tab. 4: Stanice s nejvyššími maximálními denními 8-hodinovými průměrnými koncentrací O₃ a počty překročení imisního limitu pro ochranu lidského zdraví (zdroj ČHMÚ, grafická ročenka 2004 – upraveno)

Lokalita	pLV 2001	pLV 2002	pLV 2003	Max. 8hod. koncentrace 2001 [μg.m ⁻³]	Max. 8hod. koncentrace 2002 [μg.m ⁻³]	Max. 8hod. koncentrace 2003 [μg.m ⁻³]
P4 - Libuš	20	13	69	150,2	157,3	182,8
P8 - Kobylisy	3	24	74	123,9	154,4	187,6
P9 - Vysočany	15	25	50	153,5	152,1	174,2
P6 - Veleslavín	15	12	54	148,4	144,9	172,3
P5 - Smíchov	10	3	9	136,8	125,2	145,9
P1 - náměstí Republiky	3	5	9	127,1	137,2	138,9

pLV = počet překročení imisního limitu (120 μg.m⁻³)

Tab. 5: Počty hodin, kdy došlo k překročení zvláštního imisního limitu pro O₃ (180 μg.m⁻³) v letech 2000–2004 na vybraných stanicích (zdroj: grafická ročenka ČHMÚ, 2004 – upraveno)

Stanice	2000	2001	2002	2003	2004
P8 - Kobylysy	4	0	0	20	0
P4 - Libuš	12	0	0	22	0
P1 - nám. Republiky	1	0	0	0	0
P5 - Smíchov	0	0	0	0	0
P6 - Veleslavín	10	0	0	11	0
P9 - Vysočany	11	0	0	7	0

1.2 Vlna veder v roce 2003 a 2006

1.2.1 Charakteristika vlny vedra v roce 2003 a její dopady v Evropě

Během srpna 2003 byly napříč celou Evropou zaznamenány rekordně vysoké teploty (Beniston, 2004; Cerutti et al., 2005; Filleul et al., 2006; Fouillet, 2006; Johnson et al., 2005; Kyselý, 2002; Luterbacher, 2004; Michelozzi et al., 2005; Nogueira et al., 2005; Simón et al., 2005). Léto 2003 bylo velmi suché a hlavně mimořádně teplé. Pro Českou republiku podle klementinské teplotní řady (ČHMÚ–Praha Klementinum) dokonce nejteplejší od roku 1775, kdy začalo pravidelné měření (Pavlík et al., 2003). Lze předpokládat, že bylo výjimečné i co se týče cirkulace atmosféry, která rozhodujícím způsobem určuje ráz počasí (Pavlík et al., 2003). Léto bylo ovládáno anticyklonálním prouděním příznivým pro rozvoj tepla a sucha (Vautard et al., 2007). Osa hřebenu vysokého tlaku se nacházela nad Francií, západním Německem, Švýcarskem a severní Itálií, brázda nízkého tlaku vzduchu byla nad Atlantikem (Pavlík et al., 2003). Konfigurace těchto útvarů způsobovala příliv teplého vzduchu od jihozápadu do západní a střední Evropy. Taktéž byla příčinnou nízké srážkové činnosti především nad střední Evropou (Pavlík et al., 2003). Neobvykle dlouho trvalo období (od poloviny dubna do počátku září), kdy byl ráz cirkulace atmosféry příznivý pro výskyt nadnormálních teplot vzduchu, a to především v západní, střední a jižní Evropě (Vautard et al., 2004). Tato stagnace vedla spolu s akumulací tepla k nahromadění znečišťujících látek (Vautard et al., 2004). Mimořádnost léta z hlediska teplot nespočívala ani tak v absolutně nejvyšších teplotách jako v délce trvání nadprůměrných teplot (Pavlík et al., 2003). V průměru za měsíce červen, červenec a srpen byla teplotní anomálie v celé Evropě asi 3 °C (Beniston & Diaz, 2004), ve střední Evropě dokonce až 5–6 °C (Schär et al., 2004). Tato výjimečná

anomálie je považována za nejvyšší od středověku (Chuine et al., 2004; Luterbacher et al., 2004).

Škodlivé koncentrace O₃ jsou běžně pozorovány v celé Evropě (Lipmann, 2003). Množství O₃ tvořícího se v průběhu ozonové epizody je závislé nejen na intenzitě slunečního záření a koncentraci prekurzorů, ale i na poměru koncentrací VOC a NO_x (Seinfeld & Pandis, 2006). Epizody vysokých koncentrací O₃ se typicky vyskytují v situacích s vysokým atmosférickým tlakem a teplotními inverzemi. Za těchto stagnujících podmínek jsou emise prekurzorů O₃ jen pomalu rozptylovány v ovzduší (Stedman, 2008). K výjimečně dlouhotrvajícím a prostorově rozsáhlým epizodám vysoké koncentrace O₃ došlo v Evropě hlavně v první polovině srpna 2003 (EEA, 2003). Povětrnostní podmínky, vyznačující se výjimečně vysokými teplotami i v noci a zasahující velkou část jižní, západní a střední Evropy, způsobily dlouhotrvající epizodu se zvýšenou koncentrací O₃ (UNEP, 2004).

Vysoké koncentrace O₃ se vyskytovaly jak na městských stanicích, tak i na venkovských, kde byla koncentrace O₃ často nad informační prahovou hodnotou Evropské Unie - 180 µg.m⁻³ (Vautard et al., 2004). Mimořádně vysoké hodnoty byly i v oblastech, kde je koncentrace O₃ obecně nízká (Vautard et al., 2004). Nejvyšší maximální hodinová koncentrace O₃ pro rok 2003 byla hlášena na monitorovací stanici ve Francii a dosáhla 417 µg.m⁻³ (EEA, 2003).

Tab. 6: Překročení prahové hodnoty pro varování veřejnosti v roce 2003 (hodinová koncentrace ozonu > 360 µg.m⁻³) (zdroj: EEA, 2003)

Země	Stanice	Datum	Čas / délka trvání (v hodinách)	Maximální koncentrace (µg.m ⁻³)
Francie	Sausset les Pins	3. srpna	14.00 / 2	417
Rumunsko	CL-C1 Chiciu	14. června	19.00 / 1	394
Itálie	Varenna	12. června	18.00 / 1	368
Francie	Sausset les Pins	5. srpna	13.00 / 1	363

Podle studie EEA (2003) došlo v létě 2003 k překročení informativní prahové hodnoty EU pro O₃ (hodinová průměrná koncentrace 180 µg.m⁻³) ve 23 z 31 zemí Evropy. Asi 68 % všech stanic z celé Evropy (1 220 stanic) oznámilo jedno nebo i více překročení, jejich prostorové rozložení bylo mnohem rozsáhlejší než v předchozích letech (EEA, 2003). Oblasti s nejvyšším počtem překročených dní odpovídaly regionům s nejvyšší

hustotou emisí prekurzorů O_3 , PM_{10} a NO_2 především z dopravy a průmyslové výroby (Trigo et al., 2009).

O_3 nebyla v létě 2003 jediná znečišťující látka. Během stagnující vlny vedra se ve zvýšených koncentracích vyskytovaly i další znečišťující látky především PM_{10} a $PM_{2,5}$, které taktéž patří mezi škodliviny ohrožující lidské zdraví (Vautard et al., 2007). Meteorologické podmínky byly příznivé jak pro kumulaci pravidelných antropogenních aerosolů z emisí, tak pro chemický vznik sekundárních aerosolů (Hodzic et al., 2007). Kromě těchto zdrojů přispěly ke zvýšení koncentrací PM i sporadické emise jako prachové částice foukané ze suché půdy, přenos saharské prachu a kouř emitovaný lesními požáry (Vautard et al., 2004).

Během léta 2003 se v jižní Evropě vyskytly jedny z nejrozsáhlejších sezónních požárů v posledních dvou desetiletích, které uvolnily do ovzduší značné množství PM (Hodzic et al., 2007; Pace et al., 2005). Hlavní zdroje emisí z požárů byly v centrálním a jižním Portugalsku, jižní Francii, Itálii a na východním pobřeží Jaderského moře (Vautard et al., 2007; Trigo et al., 2009). Odhady ukazují, že požáry emitovaly během teplotní vlny 1.–15. 8. 2003 více než 100 kt $PM_{2,5}$, což je srovnatelné množství s celkovým množstvím antropogenních emisí $PM_{2,5}$ za stejnou dobu v celé západní Evropě (Hodzic et al., 2007). Ačkoliv k požárům došlo na lokální úrovni a v omezené době (1–3 dny), jejich vliv byl v důsledku dálkového přenosu významný i ve velké části Evropy (Vautard et al., 2007). V několika regionech Evropy byl zaznamenán velký nárůst průměrné koncentrace PM_{10} . Největší nárůst koncentrace byl v místech 200 km od zdroje požáru (Hodzic et al., 2007), především v blízkosti hlavních evropských městských a průmyslových oblastí (Hodzic et al., 2005).

Dopady vlny vedra v létě 2003 na zdraví byly velmi dramatické. Celkový přírůstek úmrtnosti pro celou Evropu v době mezi 1.–20. srpnem je podle studie Světové zdravotnické organizace (2005) odhadnut na 35 000 nadbytečných úmrtí (WHO, 2005). Největší počet obětí byl zaznamenán ve Francii, kolem 15 000 nadbytečných úmrtí, což je navýšení úmrtnosti o více než 54 % (Hémon & Jougl, 2004). V Paříži úmrtnost vyvrcholila 12. srpna, kdy byl zaznamenán přírůstek úmrtnosti o 142 % (Vautard et al., 2007).

Zasaženy byly i další země Evropy, jako příklad Švýcarsko s úmrtností zvýšenou o 7%, což činí asi 1 000 úmrtí navíc (Grize et al., 2005), Španělsko s nárůstem o 15 % (Navarro et al., 2004), dále Velká Británie s nárůstem o 2 000 úmrtí (Stedman, 2004), Itálie

s nárůstem o 3 100 úmrtí (Conti et al., 2005) nebo Nizozemí s nárůstem 1 000 až 1 400 nadbytečných úmrtí (Fischer, 2004).

Do roku 2007 bylo zveřejněno více než 70 vědeckých studií týkajících se vlny vedra v létě 2003, přesto nebyl znám přesný kumulativní počet evropských obětí (Cheung et al., 2007). První odhad celkového počtu nadbytečných úmrtí v celé Evropě byl vydán v březnu 2004 Organizací spojených národů pro životní prostředí (UNEP), která odhadla počet obětí v evropském měřítku překračující 30 000 (UNEP, 2004). Podobný odhad byl zveřejněn o dva roky později, kdy bylo k dispozici více regionálních studie (Haines et al., 2006). V závislosti na zdroji dat, metodice a referenčních obdobích bylo stanoveno rozmezí mezi 27 000 a 40 000 nadbytečných úmrtí (Kovats & Jendritzky, 2006). Podle studie Sardon (2006) bylo v průběhu srpna 2003 pouze v sedmi evropských zemích více než 38 000 nadbytečných úmrtí. Tato rozdílná čísla naznačují, že globální posouzení zvýšení úmrtnosti v důsledku vln veder je obtížné (Kovats & Elbi, 2006). Rozdílné odhady nadbytečné úmrtnosti byly zveřejňovány i v tiskových zprávách vydávaných statistickými institucemi evropských zemí, například 13 000 nadbytečných úmrtí ve Španělsku a 20 000 úmrtí v Itálii (Meehl & Tebaldi, 2004). Díky této situaci zahájila Evropská unie celoevropskou studii o nadměrné úmrtnosti v Evropě v létě roku 2003, kterou vypracoval Robine et al. (2008). Ze závěrů této studie je patrné, že k nejvyššímu nárůstu úmrtnosti došlo v období 3.–16. srpna. Ve dvanácti evropských zemích bylo v průběhu prvního týdne zaznamenáno 15 000 nadbytečných úmrtí a v průběhu druhého srpnového týdne téměř 24 000. Zvýšená úmrtnost dosáhla v průběhu druhého týdne ve Francii výjimečné hodnoty 96,5 % a velmi vysokých hodnot dosáhla i v Portugalsku (+ 48,9 %), Itálii (+ 45,4 %), Španělsku (+ 41,2 %) a Lucembursku (+ 40,8 %). Zvýšené úmrtnosti bylo dosaženo i v Německu, Švýcarsku, Belgii a Rakousku, v hodnotách 28,9 %, 26,7 %, 21,6 % a 12,6 %. V Dánsku, Polsku a České republice nebyla úmrtnost vyšší než 10 % (Robine et al., 2008).

Pro celý srpen 2003 (1.–31. 8.) zaznamenali Robine et al. (2008) ve 12 evropských zemích 45 000 úmrtí navíc: konkrétně 15 251 ve Francii (+ 37 %), 9 713 v Itálii (+ 21,8 %), 7 295 v Německu (+ 11 %), 6 464 ve Španělsku (+ 22,9 %) a 1 987 v Anglii a Walesu (+ 4,9 %). Úmrtnost zůstala vysoká všude jen do konce léta. Pouze v Německu, Itálii a Švýcarsku byl zaznamenán mírný nárůst i po skončení léta (Robine et al., 2008).

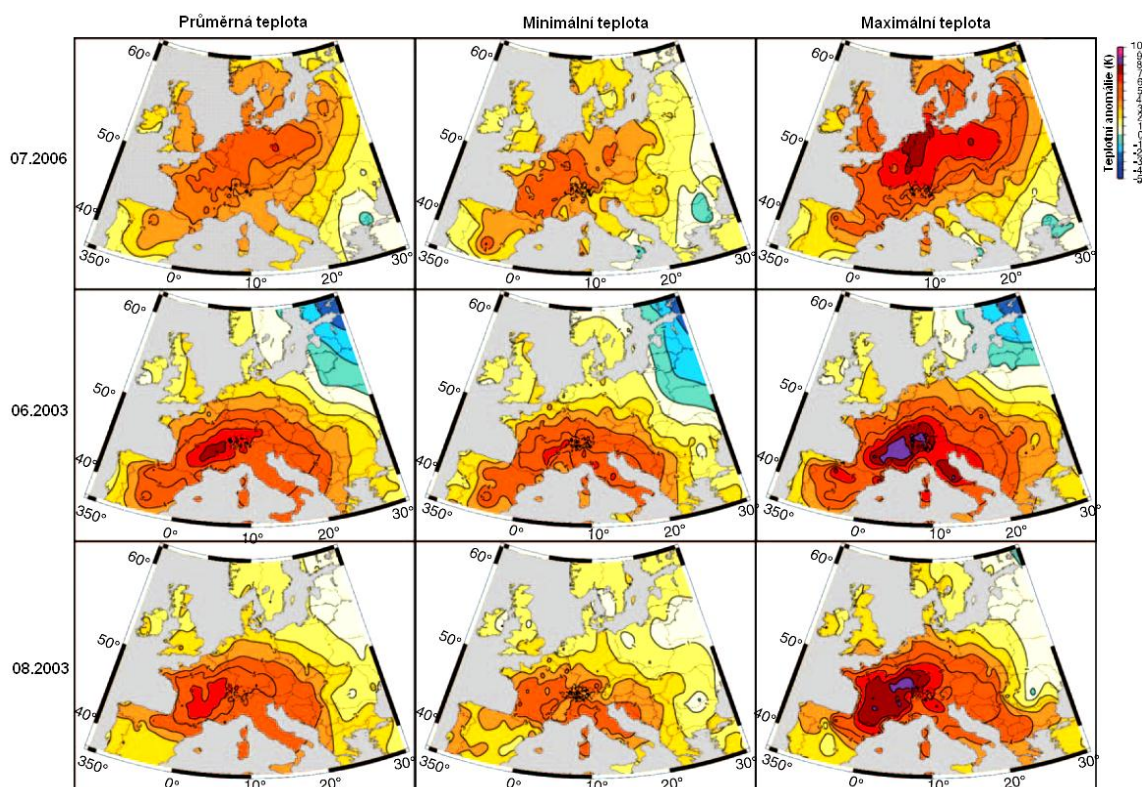
1.2.2 Charakteristika vlny vedra v roce 2006 a její dopady v Evropě

Evropské léto 2006 se stalo z hlediska vysokých teplot a vysokých koncentrací znečišťujících látek dalším výjimečným rokem. V červenci 2006 souvisela vlna vedra s převládající anticyklonální situací způsobující příliv suchého vzduchu. Po většinu měsíce byl hřeben vysokého tlaku vzduchu od Španělska po Dánsko. Extrémní teplotní anomálie v červenci 2006 byly v porovnání se srpnem 2003 sice nižší, ale červenec 2006 byl v měsíčním průměru teplejší než srpen 2003. Vlna vedra ovlivnila zejména Nizozemí, Belgie, Německo, Polsko, severní Francii, Švýcarsko i Českou republiku (Rebetez et al., 2009).

Ve Francii byl měsíc červenec 2006 zdaleka nejteplejším červencem, co se týká minimálních a maximálních teplot (Fouillet et al., 2008). Ve Švýcarsku byl vůbec nejteplejším červencem, jaký byl kdy naměřen (Rebetez et al., 2009). Ve Francii došlo během 11.–28. července k 2 065 nadbytečným úmrtím (Fouillet et al., 2008). Tato událost byla druhou největší vlnou vedra od roku 1950 (Rey et al., 2007).

Teplota postupně vzrůstala od počátku července a dosahovala v průměru 35 °C přes den a 20 °C v noci. Postupné snižování teploty začalo až od 28. července (Fouillet et al., 2008). V červenci 2006, stejně jako v červnu a srpnu 2003 dosáhla průměrná teplotní anomálie ve velké části Evropy více než 6 °C. Největších anomálií dosahovaly maximální teploty. Maximální teplotní anomálií větší než 6 °C byla v Evropě zasažena plocha 686 000 km², anomálií 4 °C plocha kolem 2,21 miliónů km² (Rebetez et al., 2009).

O vlivu vlny vedra v červenci 2006 na úmrtnost bylo oproti roku 2003 v Evropě publikováno podstatně méně studií. Ve Francii autoři zaznamenali v období 11.–28. 7. 2006 zvýšení úmrtí o 2 065, což bylo o mnoho méně než se očekávalo, v porovnání s létem 2003 ve Francii je tento počet úmrtí zanedbatelný (Fouillet et al., 2008).



Obr. 1: Teplotní anomálie průměrné, minimální a maximální teploty v červenci 2006 a červnu a srpnu 2003 (Zdroj: Rebetez et al., 2009)

1.3 Cíle práce

Cíle této práce jsou následující:

Zjistit, zda se srpen 2003 a červenec 2006, měsíce mimořádné z hlediska vysokých teplot a vysokých koncentrací O_3 a PM_{10} , projevily na zvýšení celkové úmrtnosti lidí žijících v Praze.

Zjistit, zda se srpen 2003 a červenec 2006, měsíce mimořádné z hlediska vysokých teplot a vysokých koncentrací O_3 a PM_{10} , projevily na zvýšení úmrtnosti z respiračních a kardiovaskulárních příčin u lidí žijících v Praze.

Zjistit, zda výše uvedené úmrtnosti jsou vyšší u mužů či u žen.

Základní hypotéza této práce zní:

Zvýšené koncentrace látek znečišťujících ovzduší a vysoké teploty v období vlny vedra vedou ke zvýšeným projevům na zdravotní stav obyvatel a k navýšení celkové úmrtnosti a úmrtnosti z kardiovaskulárních a respiračních příčin.

2. Metody

2.1 Sledovaná oblast

Jako sledovaná oblast byla zvolena Praha, hlavní město České republiky. Rozloha Prahy je 496 km² a žije zde 1 262 106 obyvatel (k 30. 9. 2011; ČSÚ, 2012).

Studie vlivu znečišťujících látek a vysokých teplot na lidské zdraví je nutné provádět na větším vzorku populace, a proto byla vybrána Praha, město s největším počtem obyvatel v České republice. Druhým faktorem bylo znečištění ovzduší, které je zde v důsledku vysokého dopravního zatížení poměrně vysoké.

Ve sledovaném období let 2002–2006 v Praze žilo 1 161 938–1 188 126 obyvatel (ČSÚ, 2012).

2.2 Sledované období

Sledovali jsme období let 2002–2006. Jelikož O₃ vzniká ze svých prekurzorů v důsledku fotochemických reakcí především v teplém a slunném počasí, je hrozbou hlavně v letních měsících (Seinfeld & Pandis, 2006). Proto byl každý rok nejprve rozdělen na „letní“ období od 1. dubna do 30. září a „zimní“ období od 1. října do 31. března. Z „letního“ období jsme se zaměřili na měsíce, ve kterých nastala největší vlna veder – srpen 2003 a červenec 2006.

V závislosti na koncentraci O₃ a teploty byla zvolena období, charakterizující obě vlny vedra. Období 19.–27. 7. reprezentuje vlnu vedra v roce 2006. Období 2.–22. 8. charakterizuje vlnu vedra v roce 2003. Pro srpen 2003 bylo určeno ještě druhé období vlny vedra (tzv. užší) 4.–13. 8., kdy byly po dobu 10 dní maximální koncentrace O₃ a vysoké teploty.

Periody byly vymezeny na základě statistického testování hodnot teploty a koncentrací O₃ v srpnu a v červenci let 2002–2006. Vlna vedra nemá jednotnou definici, každý autor si šířku tohoto období volí sám v závislosti na regionálních charakteristikách počasí (Gosling et al., 2009).

Desetidenní srpnové období (4.–13. 8. 2003) vlny vedra mělo průměrnou teplotu vyšší než 31 °C (31,7 °C) a průměrnou koncentraci O₃ vyšší než 93 µg.m⁻³. Po celou dobu byla teplota vyšší než 28 °C. Maximální teplota dosáhla hodnoty 37,2 °C. Koncentrace O₃ byly od 64,1 až do 125,5 µg.m⁻³.

Ve dvacetijedenním období srpna 2003 (2.–22. 8 .2003) byla průměrná teplota vyšší než 30 °C (30,1 °C) a průměrná koncentrace O₃ byla vyšší než 90 ug.m⁻³. Po celou dobu byla teplota vyšší než 24 °C.

V devítidenní periodě vlny vedra v červenci 2006 byla průměrná teplota 33,4 °C. Po celou dobu trvání vlny vedra dosahovala teplota hodnot vyšších než 31 °C (od 31,6 °C do 35,3 °C). Průměrná koncentrace O₃ byla 102,5 ug.m⁻³.

2.3 Vstupní data

Vstupní data používaná v této práci se týkají znečištění ovzduší, meteorologických ukazatelů a charakteristiky zdravotního stavu obyvatel Prahy.

2.3.1 Data o znečištění ovzduší

Data o znečištění ovzduší byla získána z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), konkrétně z databáze Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). Ta zaznamenává, zpracovává a archivuje data o koncentracích znečišťujících látek ve venkovním ovzduší, data o chemickém složení srážek a doprovodná meteorologická data naměřená na monitorovacích stanicích ČHMÚ. Kromě dat z měření ČHMÚ jsou do databáze ukládána i data z měření dalších subjektů včetně metadat (ČHMÚ, 2011).

Pro charakteristiku expozice jsou použita data ze tří pražských stanic (AIM), reprezentujících různé pražské oblasti: Praha 8–Kobylisy, Praha 6–Veleslavín, Praha 4–Libuš. Stanice jsou klasifikovány jako městské pozad'ové a mají tedy větší poloměr reprezentativnosti.

Následující proměnné charakterizující znečištění ovzduší byly vybrány z důvodu, že jejich koncentrace jsou běžně měřené a dobře dostupné a jsou to látky poškozující lidské zdraví.

- denní maximální 8-hodinové průměrné koncentrace O₃ [μg.m⁻³]
- denní průměrné koncentrace PM₁₀ [μg.m⁻³]
- denní průměrné koncentrace NO₂ [μg.m⁻³]
- denní průměrné koncentrace NO_x [μg.m⁻³]
- denní průměrné koncentrace SO₂ [μg.m⁻³]
- denní průměrné koncentrace CO [μg.m⁻³]*
- denní průměrné koncentrace PM_{2,5} [μg.m⁻³]*

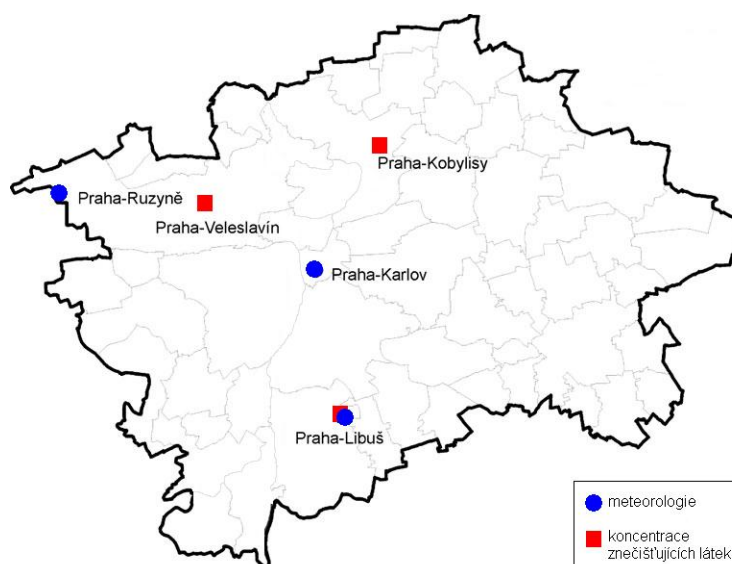
* data k dispozici pouze ze stanice Praha – Libuš

2.3.2 Meteorologická data

Meteorologická data byla získána z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Měřeno bylo na třech pražských meteorologických stanicích: Praha–Karlov, Praha–Libuš a Praha–Ruzyně.

Na základě výsledků obdobných studií byly vybrány pro charakterizaci počasí tyto proměnné:

- průměrná denní teplota [°C]
- maximální denní teplota [°C]
- minimální denní teplota [°C]
- průměrná denní relativní vlhkost vzduchu [%]



Obr.2: Rozmístění stanic měřících meteorologické ukazatele a stanic měřících koncentrace znečišťujících látek v Praze.

2.3.3 Data o zdravotním stavu populace

Data o zdravotním stavu obyvatel Prahy byla poskytnuta Ústavem zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS ČR). Jako indikátory zdravotního stavu byly použity denní počty celkových úmrtí a úmrtí z kardiovaskulárních a respiračních. Data byla rozdělena podle pohlaví.

Diagnózy jsou stanoveny Světovou zdravotnickou organizací (WHO). Na přípravě Mezinárodní statistické klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů (MKN-

10) se podílela řada odborníků, konferencí a komisí na národní i mezinárodní úrovni (WHO, 2004[2]). V roce 1994 vstoupila v platnost 10. revize, která je doplňována o průběžné aktualizace. Poslední aktualizace (3. vydání 10. revize) vstoupila v České republice v platnost 1. 1. 2012.

Vybrané indikátory zdravotního stavu populace jsou následující:

- denní počty úmrtí na nemoci oběhové soustavy (diagnóza I00–I99) obou pohlaví dohromady, odděleně mužů a žen
- denní počty úmrtí na nemoci dýchací soustavy (diagnóza J00–J99) obou pohlaví dohromady, odděleně mužů a žen
- denní počty celkových úmrtí bez rozlišení příčin obou pohlaví dohromady, odděleně mužů a žen

2.4 Charakteristika dat

Byly zjištěny počty chybějících měření za jednotlivé dny, měsíce, období (letní, zimní) a roky a vypočítány procenta chybějících dat.

U všech uvedených znečišťujících látek (O_3 , PM_{10} , NO_x , NO_2 , SO_2 , CO , $PM_{2,5}$) byly spočítány průměrné denní koncentrace ze tří pražských stanic (Praha 8–Kobylice, Praha 6–Veleslavín, Praha 4–Libuš). Kromě $PM_{2,5}$ a CO , kde byly k dispozici data pouze ze stanice Praha–Libuš. Pro lepší pochopení působení jednotlivých škodlivin v různých fázích roku, byly graficky zpracovány roční průběhy jednotlivých škodlivin. Byly spočítány měsíční koncentrace, dále zvlášť koncentrace za celé letní (1. 4.–30. 9.) a celé zimní (1. 10.–31. 3.) období. Taktéž byl vytvořen graf úmrtností z kardiovaskulárních a respiračních příčin. Pro vlnu veder v srpnu 2003 a červenci 2006 byl graficky znázorněn vztah koncentrace O_3 a teploty.

Charakteristiky dat byly vytvořeny v programech Microsoft Office Excel a R Commander.

2.5 Korelační analýza

Byly spočítány Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými škodlivinami (O_3 , PM_{10} , NO_x , NO_2 , SO_2 , CO , $PM_{2,5}$) a průměrnou, minimální a maximální teplotou. Korelace byly provedeny pro zjištění síly vzájemné závislosti jednotlivých škodlivin. Předpoklad normality rozložení zkoumaných veličin není u těchto veličin splněn, proto byl

zvolen Spearmanův korelační koeficient, který tento předpoklad nemá a měří korelaci konkrétně i v situacích, kdy se vyskytují i odlehle hodnoty.

Korelační koeficienty byly spočítány pro období pokrývající obě epizody vlny veder dohromady spolu s odpovídajícími dny ostatních let, tj. 19.–27. 7. a 2.–22. 8. let 2002–2006. Zvláště pak byly korelace spočítány pro období 2.–22. 8. 2003, kdy byla v České republice největší vlna vedra vůbec (Pavlík et al., 2003).

2.6 Regresní analýza

Na základě zkušeností z předchozí diplomové práce J. Řezáčové (2010) a v souvislosti s doporučeními zahraničních recenzentů článku Association between ambient ozone and health outcomes in Prague (Hůnová et al., 2012) jsme pro modelování vazby mezi vlnou vedra a vlivu na zdravotní stav populace použili tzv. negativní binomickou regresi, která je podtypem Poissonovy regrese. Zkoumali jsme vazbu mezi závislou proměnnou: indikátory úmrtností celkových, z kardiovaskulárních a respiračních příčin a nezávislou proměnnou: indikátory znečištění ovzduší (maximální denní 8-hodinová průměrná koncentrace O_3 , průměrná denní koncentrace PM_{10} , průměrná denní koncentrace NO_2 , průměrná denní koncentrace SO_2 , průměrná denní koncentrace CO), meteorologické ukazatele (maximální denní teplota, vlhkost) a kalendářní jevy.

Poissonova regrese se používá k modelování závislosti veličiny D s Poissonovým rozdělením na nezávisle proměnných náhodných veličinách $X_1, \dots, X_k, k > 1$. Parametr X Poissonova rozdělení udává očekávaný počet výskytů málo pravděpodobného jevu ve velké populaci a je současně hodnotou teoretického rozptylu této veličiny. Veličina D s Poissonovým rozdělením může nabývat libovolné celočíselné nezáporné hodnoty (Zvárová & Malý, 2003). Poissonova regrese se často používá k analýzám epidemiologických studií (Hutchinson & Holtman, 2005). Nejčastěji používaný model pro takovéto závislosti je Poissonův model lineárního typu (Zvárová & Malý, 2003). Lindsey zavedl tento zobecněný lineární model (GLM, Generalised Linear Model), kde není nutný předpoklad exponenciálního rozdělení D . Lze tedy modelovat data s dalšími typy rozdělení (Lindsey, 2001).

Základní předpoklad Poissonova modelu je ten, že průměr je roven rozptylu. To v situacích týkajících se vlivu znečištění ovzduší na zdravotní stav obyvatel není vhodné, protože tento předpoklad nebývá zpravidla splněn. Proto je vhodnější použít podtyp Poissonova modelu tzv. negativní binomickou regresi, u které není předpoklad, že průměr

je svázán s rozptylem (Gardnes at al., 1995). Negativně binomický model se využívá i k analýze dat, jejichž vlastnosti nemůžou být dopodrobna prozkoumány (Lawless, 1987).

Při tvorbě statistického modelu se vycházelo z dostupné literatury (Almeida et al., 2011; Anderson & Bell, 2011; Filleul et al., 2006).

Bylo testováno, ve kterém období léta 2003 a 2006 je statisticky významně vyšší teplota a statisticky významnější koncentrace O_3 . Vybrali jsme tři období pokrývající obě vlny vedra a tato období jsem následně modelovali. První období bylo pro vlnu vedra v srpnu 2003 (2. 8. –22. 8. 2003), druhé období bylo taktéž pro vlnu vedra v srpnu 2003, ale bylo stanoveno pro dny, kdy byla vlna vedra dosahovala svého maxima (4. 8.–13. 8. 2003). Třetí období bylo pro vlnu vedra v červenci 2006 (19. 7.–27. 7. 2006).

Výsledný model vznikl porovnáním několika možných variant, které byly vyhodnoceny na základě Akaikeho informačního kritéria (AIK) a analýzy reziduí. AIK je kritérium posuzující relativní podobnost srovnávaných modelů (Hsu & Nelson, 1998).

Modely byly vytvořeny pro zpoždění 1 až 7 dní (lag1, lag2, lag3, lag4, lag5, lag6 a lag7).

Model byl vytvořen v programu Co Stat, verze 6.4 a Co Plot, verze 6.4 od firmy Co Hort Software.

3. Výsledky

3.1 Charakteristika dat

Před zadáním dat do modelu byla provedena analýza úplnosti vstupních dat. Bylo nutno zjistit procenta chybějících dat znečištění ovzduší, resp. počet chybějících měření.

Sledovány byly jednotlivé výše uvedené znečišťující látky ze všech tří pražských stanic za celých pět let, za letní období (1. 4.–31. 9.) pěti let (2002–2006) a za zimní období (1. 10.–31. 3.) stejných pěti let (Tab. 7, 8, 9). Tab. 7 ukazuje počty a procenta chybějících dat souhrnně pro všechny stanice za všech pět let (2002–2006). Tab. 8 ukazuje počty a procenta chybějících dat za letní období roku (1. 4.–31. 9.) ze všech tří stanic dohromady v námi sledovaných letech. Tab. 9 zobrazuje počty a procenta chybějících dat za zimní období (1. 10. –31. 3.) souhrnně ze všech tří pražských stanic taktéž v námi sledovaných letech.

Výsledky ukazují, že u O_3 , NO_2 , NO_x , SO_2 , CO chybí za celé pětileté období souhrnně (Tab. 7) pouze do 3,4 % dat. U PM_{10} chybí 7,7 % dat. $PM_{2,5}$ je konstantně měřeno až od roku 2003 a má nejvíce chybějících měření (9,3 %). Méně dat chybí v zimním období (Tab. 9) než v období letním (Tab. 8), které jsme analyzovali. V letním období chybí u O_3 , NO_2 , NO_x , SO_2 , CO do 4,8 % dat, oproti zimnímu období, kdy u těchto znečišťujících látek chybí pouze do 1,9 % dat. U PM_{10} chybí za letní období 8,1 % u $PM_{2,5}$ 8,2 % dat, v zimním období pak chybí 7,3 % u PM_{10} a 7,5 % u $PM_{2,5}$ (Tab. 8, 9).

Tab. 10 zobrazuje podrobnější údaje o počtu chybějících měření. U každé znečišťující látky je uvedeno procento a počet chybějících měření pro každou stanicí zvlášť (Praha–Kobylisy, Praha–Libuš, Praha–Veselavín) a odděleně pro jednotlivé roky (2002–2006).

Průměrné koncentrace ze 3 stanic, které byly použity v modelu, byly spočítány vždy z toho počtu stanic, který byl k dispozici a chybějící data nebyla žádným způsobem doplňována či nahrazována.

Tab. 7 : Počty a procenta chybějících dat souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Chybějící měření za roky 2002–2006 ze všech 3 stanic		
Škodlivina	Počet chybějících měření	% chybějících měření
O ₃	169	3,4
PM ₁₀	421	7,7
NO ₂	169	3,1
NO _x	165	3,0
SO ₂	117	2,1
CO *	62	3,4
PM _{2,5} ^{***}	128	9,3

Tab. 8: Počty a procenta chybějících dat v letním období (1. 4.–31. 9.) souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Chybějící měření za 1. 4.–31. 9. za roky 2002–2006 ze všech 3 stanic		
Škodlivina	Počet chybějících měření	% chybějících měření
O ₃	125	4,6
PM ₁₀	222	8,1
NO ₂	121	4,4
NO _x	127	4,6
SO ₂	63	2,3
CO *	44	4,8
PM _{2,5} ^{***}	60	8,2

Tab. 9: Počty a procenta chybějících dat v zimním období (1. 10.–31. 3.) souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Chybějící měření za 1. 10.–31. 3. za roky 2002–2006 ze všech 3 stanic		
Škodlivina	Počet chybějících měření	% chybějících měření
O₃	44	1,6
PM₁₀	199	7,3
NO₂	48	1,8
NO_x	38	1,4
SO₂	54	1,9
CO *	18	1,9
PM_{2,5} (**)	68	7,5

* k dispozici data z monitoringu pouze z 1 ze 3 stanic (Praha-Libuš)

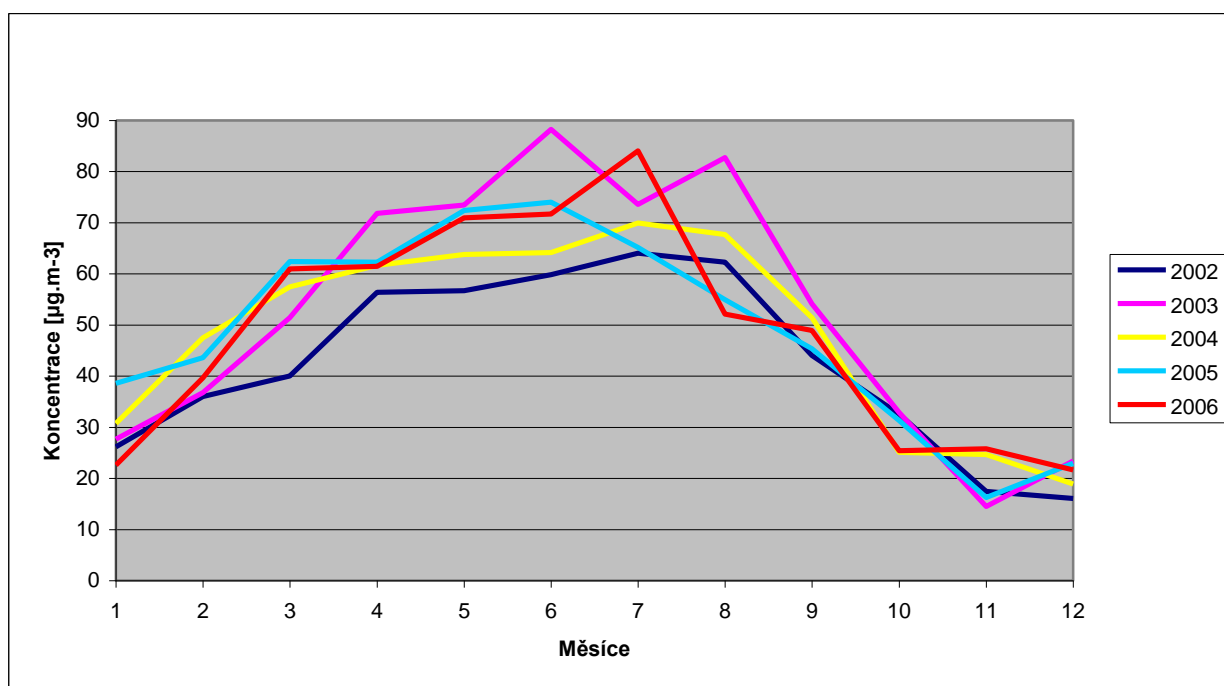
** PM_{2,5} je měřeno od roku 2003

Tab. 10: Počty a procenta chybějících dat za jednotlivé roky 2002–2006 pro jednotlivé pražské stanice

Chybějící měření za roky 2002–2006 pro jednotlivé stanice													
Škodlivina	Stanice	Počet chybějících měření celkem		Počet chybějících měření za jednotlivé roky									
				2002		2003		2004		2005		2006	
		Počet	%	Počet	%	Počet	%	Počet	%	Počet	%	Počet	%
O₃	Praha-Kobylisy	63	3,5	15	4,1	8	2,1	4	1,1	20	5,5	16	4,4
	Praha-Libuš	72	3,9	8	2,2	4	1,1	21	5,7	12	3,3	27	7,4
	Praha-Veleslavín	34	1,7	2	0,6	9	2,4	15	4,1	4	1,1	4	1,1
PM₁₀	Praha-Kobylisy	154	8,4	17	4,7	6	1,6	16	4,4	50	13,7	65	17,8
	Praha-Libuš	67	3,7	19	5,2	8	2,2	7	1,9	13	3,6	20	5,5
	Praha-Veleslavín	199	10,9	14	3,8	23	6,3	46	12,6	50	13,7	66	18,1
NO₂	Praha-Kobylisy	64	3,5	15	4,1	8	2,2	2	0,5	18	4,9	21	5,8
	Praha-Libuš	54	3,0	6	1,6	2	0,5	9	2,5	14	3,8	23	6,3
	Praha-Veleslavín	51	2,8	3	0,8	28	7,7	13	3,6	3	0,8	4	1,1
NO_x	Praha-Kobylisy	63	3,5	15	4,1	8	2,2	2	0,5	19	5,2	19	5,2
	Praha-Libuš	53	2,9	6	1,6	2	0,5	9	2,5	14	3,8	22	6,0
	Praha-Veleslavín	49	2,7	2	0,5	21	5,8	13	3,6	9	2,5	4	1,1
SO₂	Praha-Kobylisy	42	2,3	19	5,2	9	2,5	3	0,8	7	1,9	4	1,1
	Praha-Libuš	62	3,4	10	2,7	21	5,8	7	1,9	4	1,1	20	5,5
	Praha-Veleslavín	13	0,7	2	0,5	4	1,1	0	0	5	1,4	2	0,5
CO	Praha-Kobylisy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Praha-Libuš	62	3,4	5	1,4	8	2,2	13	3,6	6	1,6	30	8,2
	Praha-Veleslavín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM_{2,5}	Praha-Kobylisy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Praha-Libuš	128	9,3	-	-	21	11,3	25	6,8	15	4,1	57	15,6
	Praha-Veleslavín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Koncentrace znečišťujících látek v ovzduší se během roku liší. Obr. 3–10 ukazují roční chody koncentrací jednotlivých škodlivin v letech 2002–2006, zprůměrovaných ze tří pražských stanic: Praha–Kobylisy, Praha–Libuš, Praha–Veselavín. Výjimkou jsou CO a PM_{2,5} pro které máme data pouze z 1 stanice (Praha –Libuš).

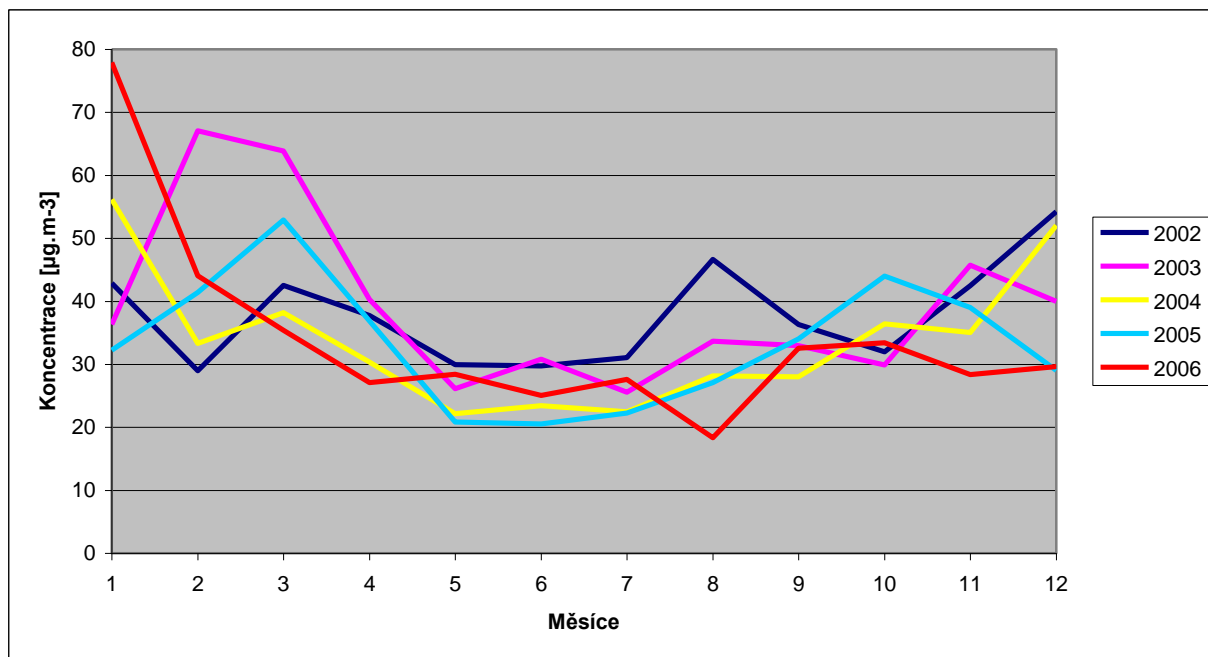
Na obr. 3 je znázorněn roční průběh koncentrací O₃. Z grafu je patrné, že nejvyšší koncentrace O₃ jsou na jaře a v létě (od března do září) a výrazně nižší koncentrace na podzim a v zimě v důsledku nahromadění prekurzorů O₃ v ovzduší a příznivých podmínek pro jeho vznik (vysoká intenzita slunečního záření, vysoké teploty, malá vlhkost). O₃ má zpravidla opačný roční chod než mají ostatní znečišťující látky. Z prezentovaných výsledků je patrné, že z let 2002–2006 byly nejvyšší denní průměrné koncentrace O₃ naměřeny v roce 2003, následně pak v roce 2006, což potvrzuje předpokládané vysoké koncentrace O₃ v průběhu vln vedra. Naopak nejnižší koncentrace byla v roce 2002.



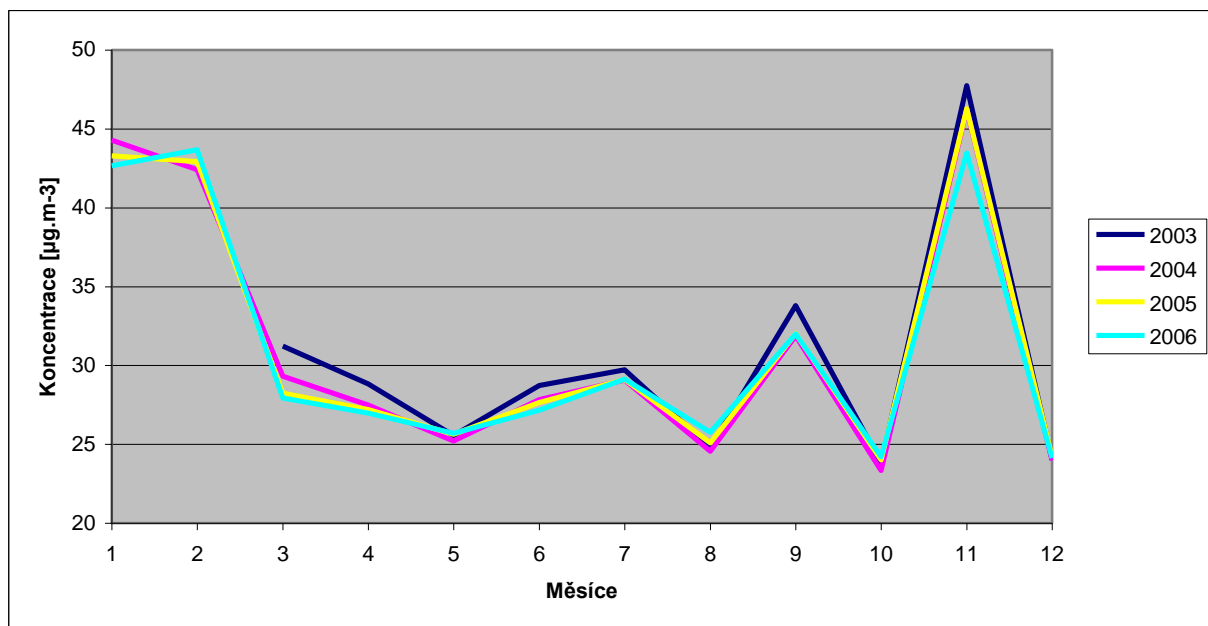
Obr. 3: Roční chod koncentrací O₃ v letech 2002–2006

Obr. 4 a 5 popisují roční průběh koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5}. Nejnižší koncentrace se vyskytují v letních měsících. U PM₁₀ jsou v ročních chodech poměrně velké výkyvy. PM_{2,5} má roční chod poměrně konstantní s nejvyššími koncentracemi v listopadu až únoru. K mírnému nárůstu dochází ještě v září. Zbytek roku jsou koncentrace výrazně nižší. Rozdíly mezi jednotlivými roky jsou u PM₁₀ poměrně významné. Při porovnání let mezi sebou dochází k výraznému zvýšení koncentrací PM₁₀ v létě 2002, naopak k poklesu

koncentrací v létě 2006. V roce 2003 se zvýšené koncentrace PM_{10} oproti ostatním rokům objevují v únoru a březnu. U $PM_{2,5}$ rozdíly mezi jednotlivými lety významné nejsou. Roční chody jsou velmi podobné. $PM_{2,5}$ má nejvyšší koncentraci v roce 2003. Naopak v roce 2006 jsou koncentrace nejnižší.



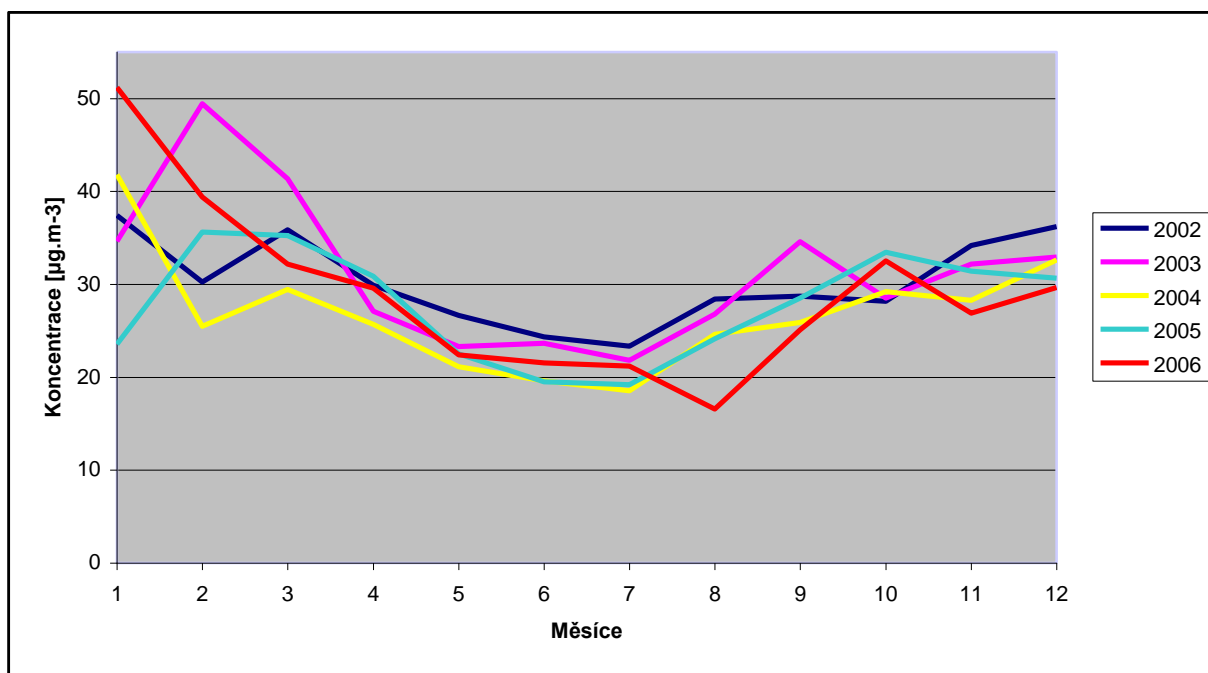
Obr. 4: Roční chod koncentrací PM_{10} v letech 2002–2006



Obr. 5: Roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ v letech 2003–2006

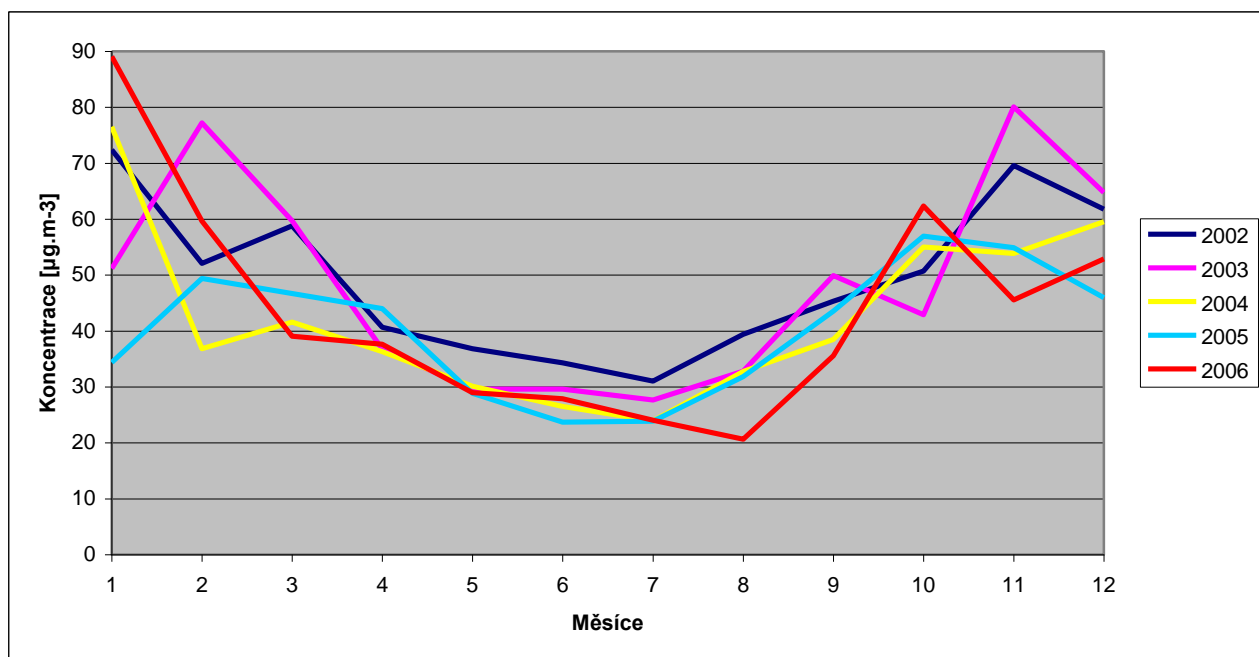
Na obr. 6 je roční chod koncentrací NO_2 . Z grafu je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v zimě (leden, únor), nejnižší koncentrace jsou naopak v létě (květen, červen a červenec).

Rok 2003 má dvě významná zvýšení koncentrací NO_2 v únoru a od srpna do září. V celoročním průměru jsou nejvyšší koncentrace právě v roce 2003. Rok 2006 v porovnání s ostatními nemá koncentrace zvýšené.



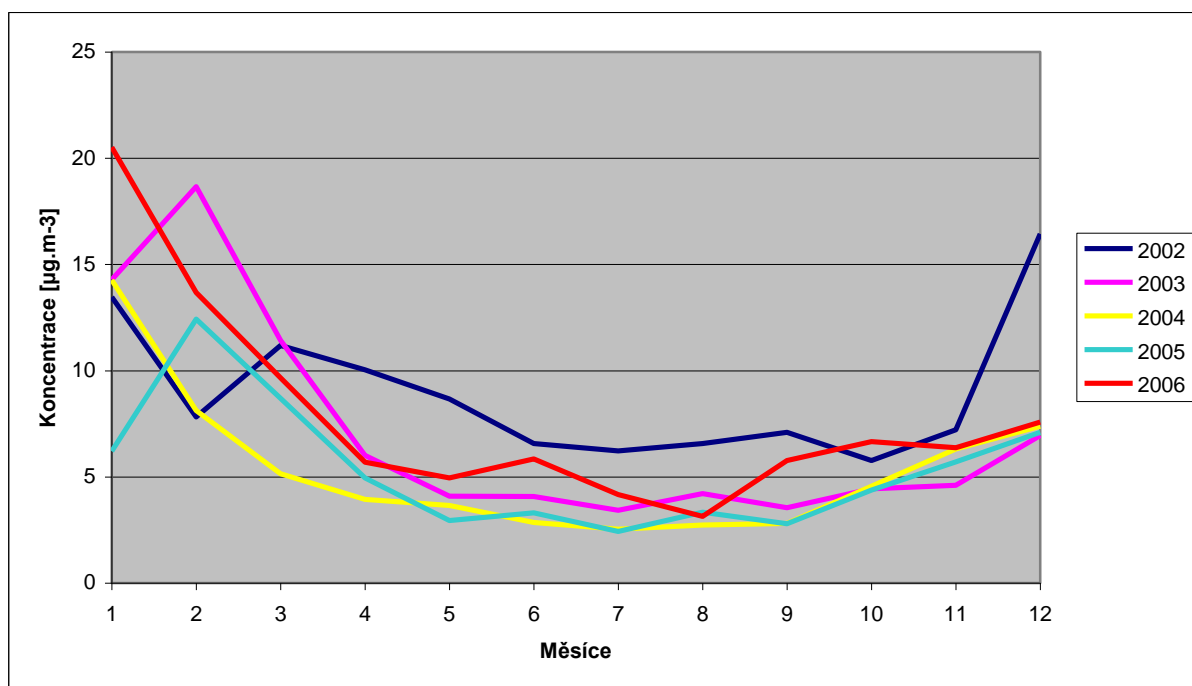
Obr. 6: Roční chod koncentrací NO_2 v letech 2002–2006

Podobný roční průběh mají i koncentrace NO_x na obr. 7. Nejvyšší koncentrace je v zimním období (listopad až únor), nejnižší koncentrace jsou opět v letním období. To je způsobeno tím, že NO_x jsou prekurzory pro vznik O_3 , který má nejvyšší koncentrace naopak na jaře a v létě, kdy je nejvíce slunečního záření. Při porovnání let mezi sebou je nejvyšší průměrná roční koncentrace v roce 2003. Zvýšené koncentrace jsou i v roce 2002. V létě jsou koncentrace obecně nižší, nejnižší pak v létě roku 2006. Mezi jednotlivými roky jsou významnější rozdíly.



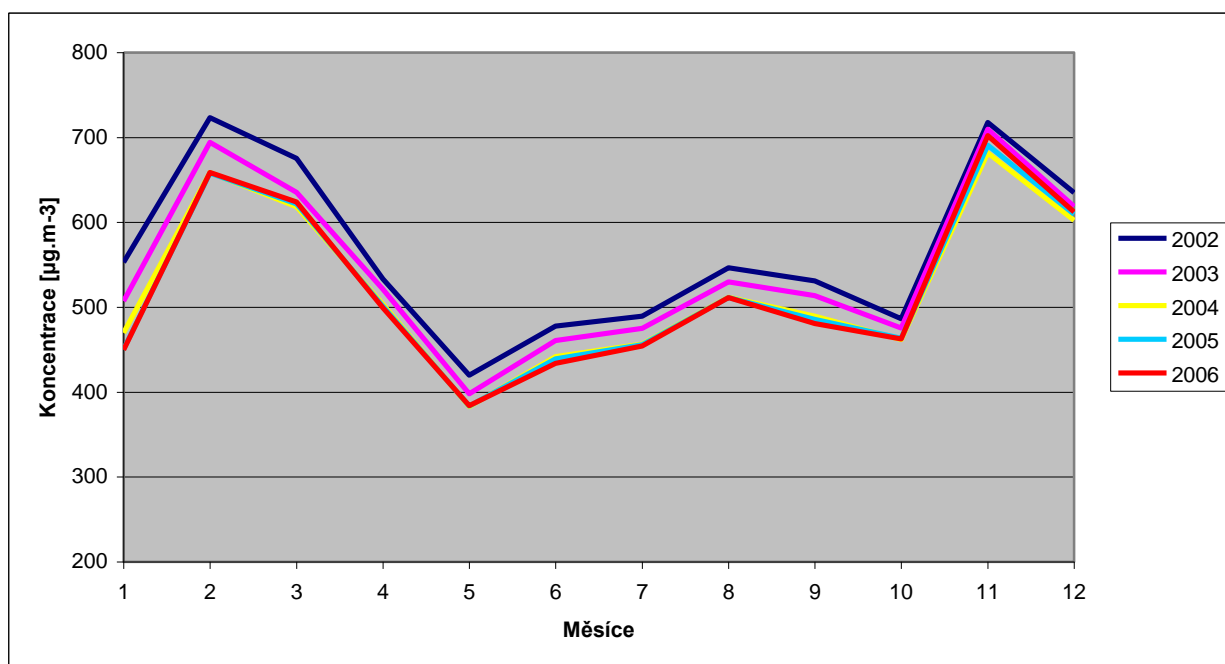
Obr. 7: Roční chod koncentrací NO_x v letech 2002–2006

Obr. 8 ukazuje roční průběh koncentrací SO₂. Nejvyšší koncentrace jsou v prosinci, lednu a únoru. Po zbytek roku jsou pak koncentrace SO₂ nižší. Nejvyšší koncentrace jsou zaznamenány v roce 2002. Rok 2003 a 2006 není z hlediska koncentrací SO₂ významný.



Obr. 8: Roční chod koncentrací SO₂ v letech 2002–2006

Na obr. 9 je roční chod koncentrací CO. Ve všech pěti letech studie (2002–2006) je průběh koncentrace CO velmi podobný. Nejvyšší koncentrace jsou vždy v zimním období (listopad až únor). V květnu jsou koncentrace nejnižší, poté postupně narůstají až k následně prudkému nárůstu v listopadu. Při porovnání koncentrací jednotlivých let jsou nejvyšší koncentrace CO v roce 2002, následně pak v roce 2003. V roce 2006 jsou koncentrace v průměru nejnižší. Rozdíly mezi jednotlivými roky nejsou významné. Roční chody jsou si velmi podobné.



Obr. 9: Roční chod koncentrací CO v letech 2002–2006

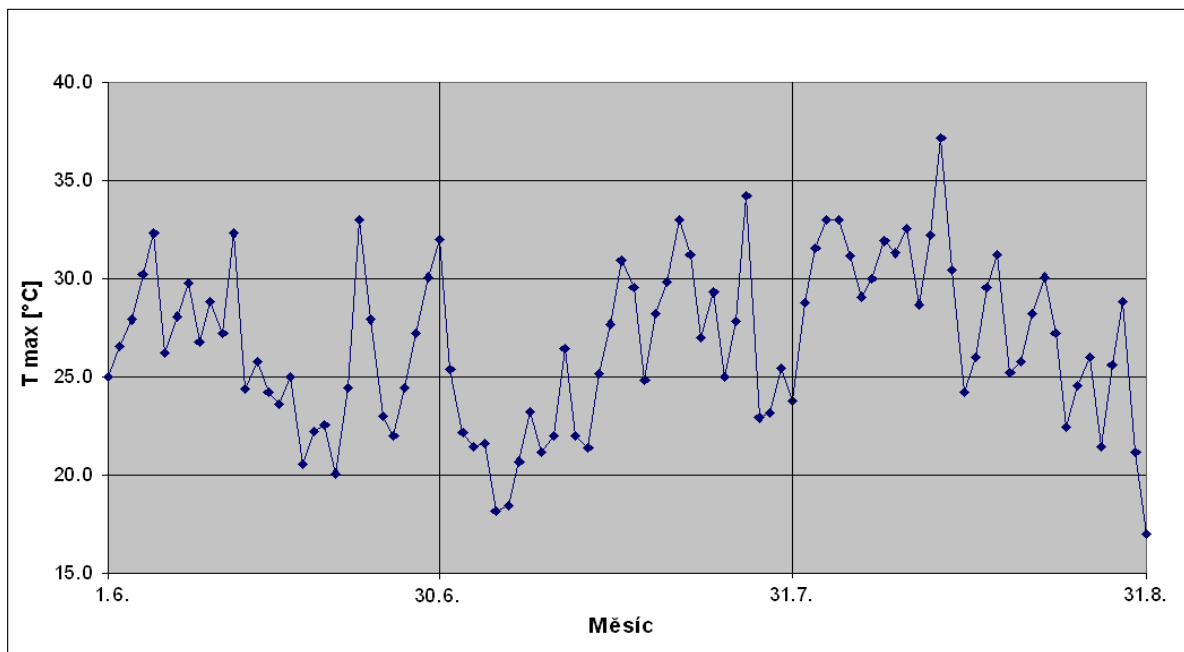
Průběh teplot v létě 2003 a 2006 je znázorněn na obr. 10 a 11. Z prezentovaných výsledků vyplývá, že z let 2002–2006 byly nejvyšší denní průměrné teploty zaznamenány v roce 2003.

Celé léto 2003 (červen, červenec i srpen) byly teploty nadprůměrné. Nejvyšších hodnot dosahovaly v první polovině srpna, vysoké byly i koncem června a července. Nejvyšší naměřená teplota byla 13. srpna (37,2 °C).

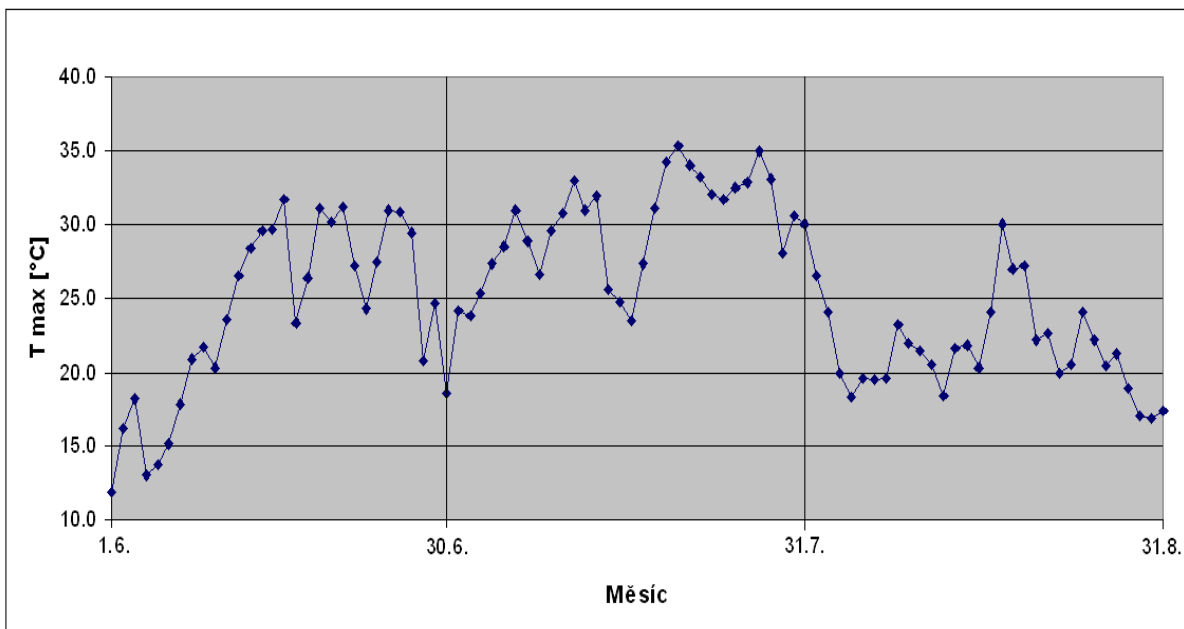
V roce 2006 byly velmi vysoké teploty v druhé polovině července, začátkem srpna pak klesly na běžné hodnoty. Nejvyšší teplota byla zaznamenána 20. července (35,3 °C).

V létě 2003 došlo k překročení hranice 30 °C celkem dvacettřikrát. Šestkrát v červnu 2003, čtyřikrát v červenci 2003 a třináctkrát v srpnu 2003. V létě 2006 byla hranice 30 °C překročena dokonce dvacetpětkrát, a to šestkrát v červnu, jednou v srpnu a dokonce osmnáctkrát v červenci. Je tedy zřejmé, že charakteristika vln vedra v roce 2003 a

2006 je mírně odlišná. Zatímco v létě 2003 byly kromě vysokých teplot především extrémně vysoké koncentrace O_3 a dalších znečišťujících látek, v létě 2006 byly koncentrace znečišťujících látek o nižší, ale skoro celý červenec byly velmi vysoké teploty, překračující hranici $30\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 10: Průběh maximální teploty (T_{max}) od 1. června do 31. srpna 2003

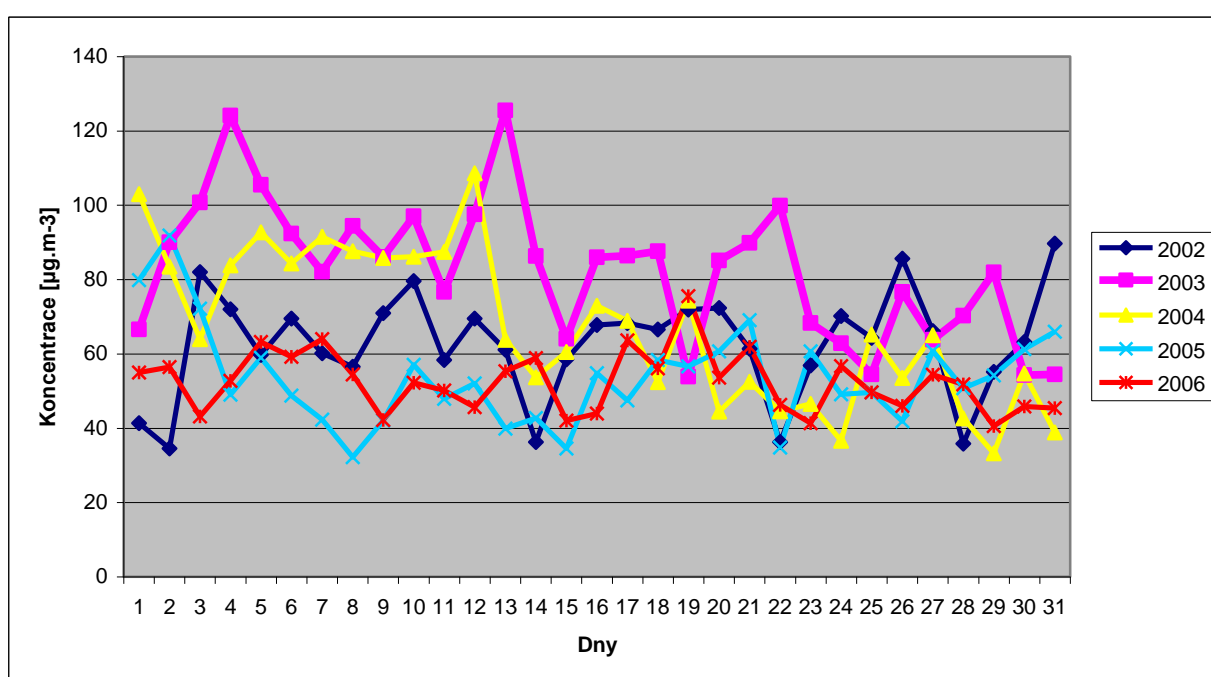


Obr. 11: Průběh maximální teploty (T_{max}) od 1. června do 31. srpna 2006

V srpnové vlně vedra roku 2003 i ve druhé vlně vedra v červenci 2006 byly velmi vysoké koncentrace O_3 .

Na obr. 12 jsou znázorněny koncentrace O_3 v srpnu 2003 v porovnání se srpnem dalších let (2002, 2004–2006). Především v první polovině měsíce roku 2003 jsou koncentrace O_3 velmi vysoké. Maximální hodnoty průměrné denní koncentrace pro rok 2003 jsou ze dne 4. srpna ($124,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a 13. srpna ($125,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Při porovnání srpnů let 2002–2006 je zřejmé, že nejvyšší průměrná koncentrace O_3 byla v srpnu 2003 ($82,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V srpnu 2002 a 2004 byly koncentrace nižší ($62,6$ a $67,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V letech 2005 a 2006 byly průměrné koncentrace pouze $53,8$ a $52,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

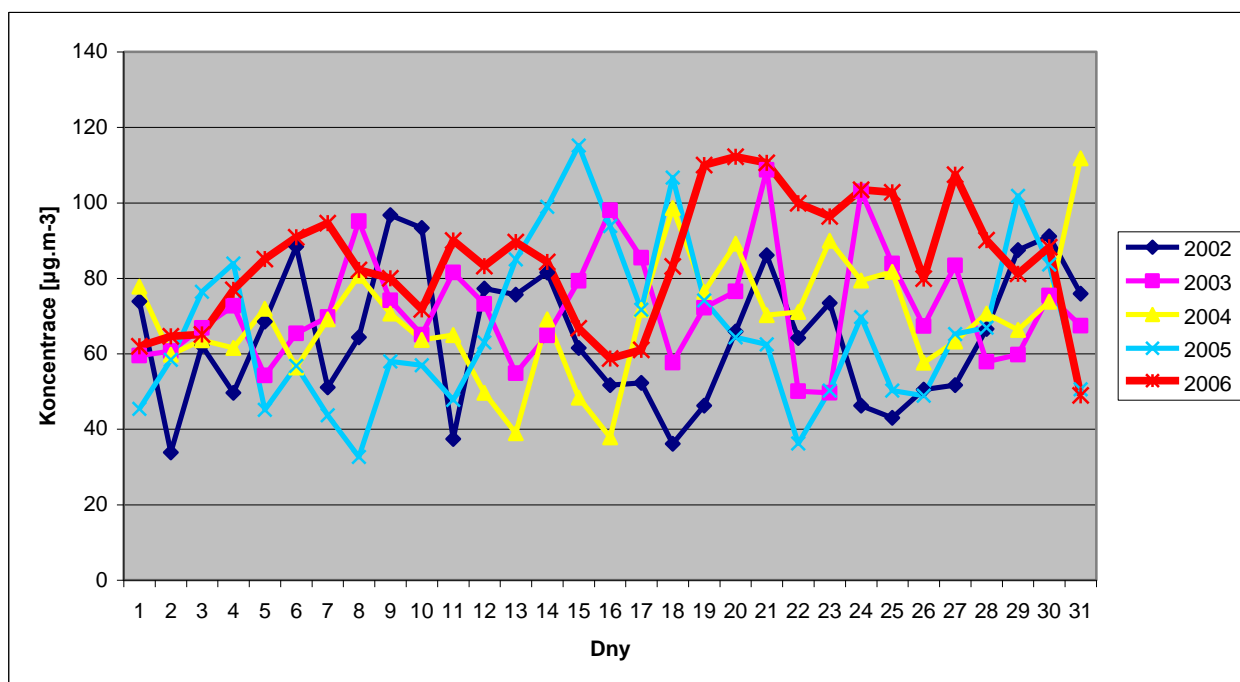


Obr. 12: Průměrné denní koncentrace O_3 v srpnu v letech 2002–2006

Obr. 13 porovnává července let 2002–2006 z hlediska koncentrací O_3 . Především v druhé polovině července 2006, kdy byla v České republice vlna vedra, jsou zřejmé vysoké koncentrace O_3 . Nejvyšší hodnoty jsou ve třech za sebou jdoucích dnech (19., 20. a 21. července 2006 s hodnotami $110,0$; $112,2$ a $110,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Vysoké koncentrace byly i 24., 25. a 27. července 2006 ($103,4$; $102,7$ a $107,4$). V červenci 2003 byly zaznamenány vysoké koncentrace 21. ($109,8$) a 24. ($102,9$).

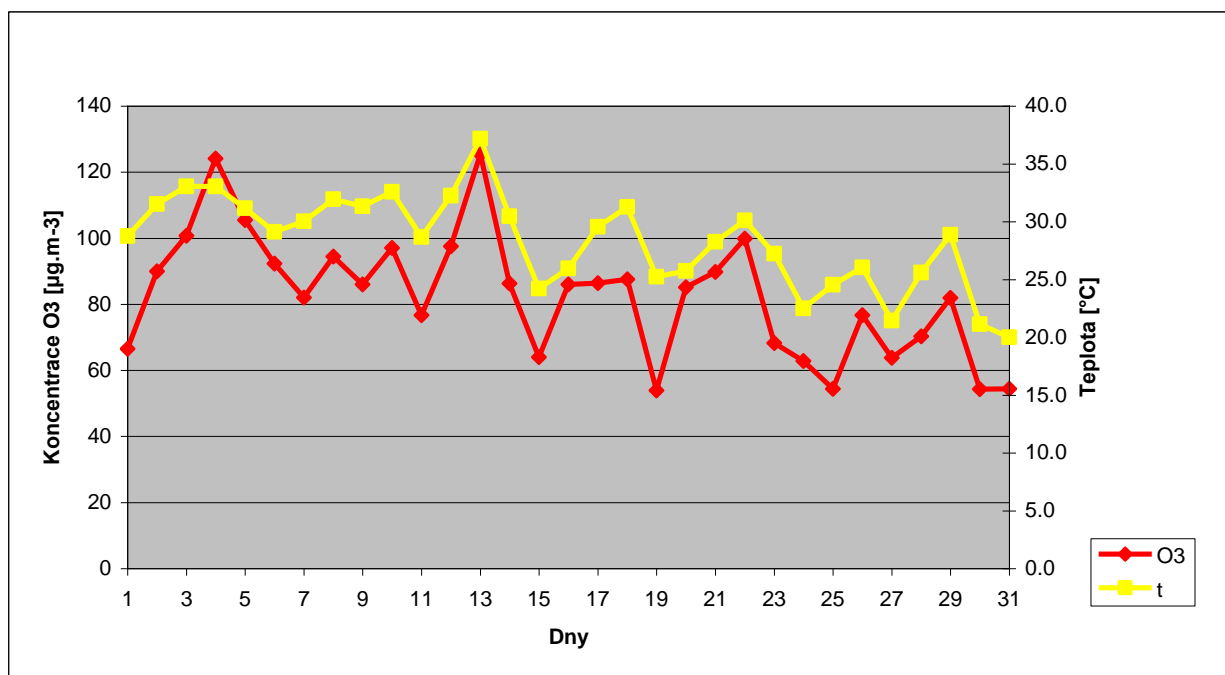
Při porovnání červenců let 2002–2006 zjistíme, že nejvyšší průměrná koncentrace O_3 byla v roce 2006 ($84,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), dále vysoká byla v červenci 2003 ($72,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a 2004

(69,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V srpnu 2002 a 2005 byly hodnoty průměrné koncentrace O_3 64,6 a 66,6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



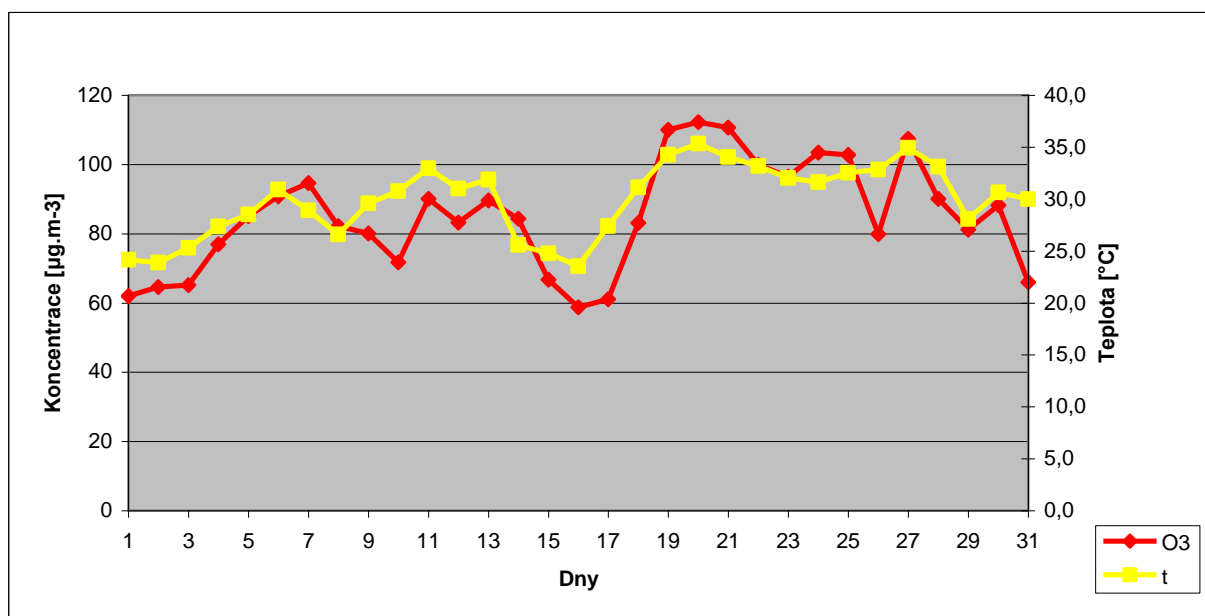
Obr. 13: Průměrné denní koncentrace O_3 v červenci v letech 2002–2006

Po srovnání dat o průměrné denní koncentraci O_3 a průměrné denní teplotě v srpnu 2003, vidíme na obr. 14, že O_3 a teplota mají obdobný průběh. Při nárůstu teploty dochází i k nárůstu koncentrace O_3 . Maximální hodnoty teplota (37,2 °C) dosáhla ve stejném dni jako maximální koncentrace O_3 (125,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 13. srpna 2003.



Obr. 14: Průměrné denní koncentrace O₃ a průměrné denní teploty v srpnu 2003

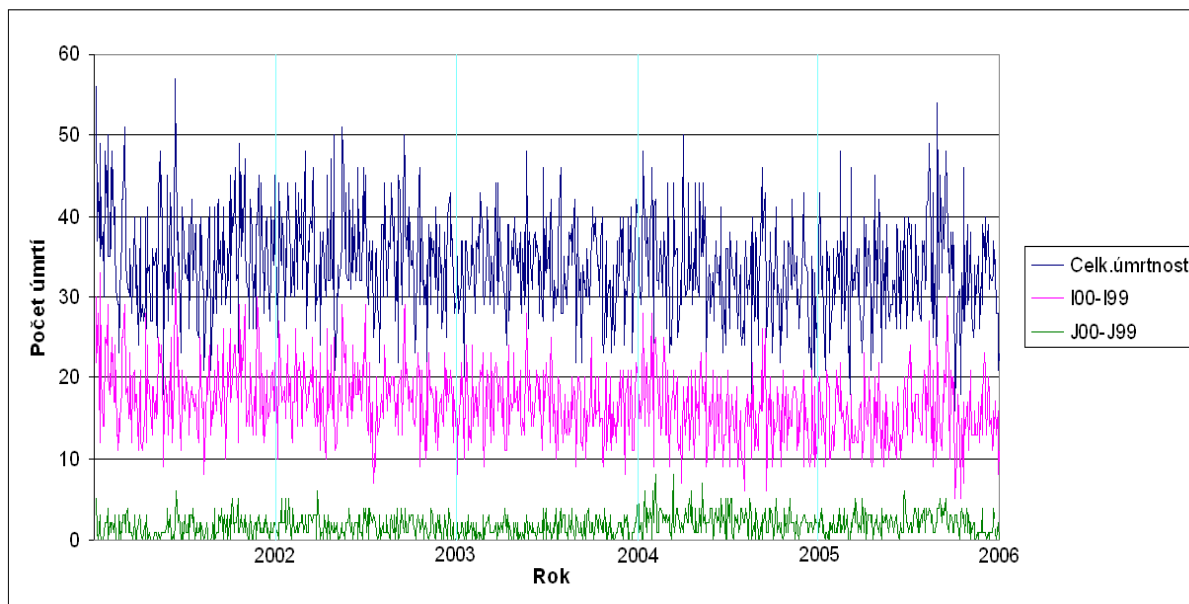
Obr. 15 ukazuje průběh průměrných denních koncentrací O₃ a průměrných denních teplot v červenci 2006. Koncentrace O₃ a teplota vykazují i v tomto případě obdobný průběh.



Obr. 15: Průměrné denní koncentrace O₃ a průměrné denní teploty v červenci 2006

Obr. 16 zaznamenává chod denních úmrtností z kardiovaskulárních (Dg I00–I99) a respiračních (Dg J00–J99) příčin a celkovou úmrtnost v Praze v průběhu „letního“ období

(vždy od 1. dubna do 30. září) v letech 2002–2006. Je zde patrné, že úmrtnost z kardiovaskulárních příčin je výrazně vyšší než úmrtnost z respiračních příčin. Dále lze vidět, že úmrtí z kardiovaskulárních příčin mají velký podíl na celkové úmrtnosti.



Obr. 16: Chod úmrtností z kardiovaskulárních (Dg I00–I99) a respiračních (Dg J00–J99) příčin a celková úmrtnost v letním období (1. dubna–30. září) pěti let (2002–2006).

3.2 Korelační analýza

V tab. 11 a 12 jsou uvedeny Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými znečišťujícími látkami a teplotami pro období 19.–27. 7. a 2.–22. 8. let 2002–2006 a zvlášť pouze pro období 2.–22. 8. 2003. Pro snadnější orientaci v tabulkách slouží tab. 13 vysvětlující zkratky jednotlivých proměnných.

Tab. 13: Použité zkratky

Proměnná	Označení
denní průměrná koncentrace O ₃	o3_avg
denní maximální 8-hodinová průměrná koncentrace O ₃	o3_8max
denní průměrná koncentrace CO	co
denní průměrná koncentrace SO ₂	so2
denní průměrná koncentrace NO ₂	no2
denní průměrná koncentrace NO _x	nox
denní průměrná koncentrace PM ₁₀	pm10
denní průměrná koncentrace PM _{2,5}	pm25
denní průměrná teplota	t_avg
denní maximální teplota	t_max
denní minimální teplota	t_min

V tab. 11 jsou uvedeny korelační koeficienty za období 19.–27. 7. a 2.–22. 8. let 2002–2006. Podle tab. 11 je těsná pozitivní závislost zřejmá mezi NO₂ a NO_x (0,972), a to z důvodu, že NO_x se skládá z NO a NO₂. Z tohoto důvodu bylo NO_x vyřazeno ze statistického modelu negativní binomické regrese. Těsná pozitivní korelace je podle očekávání i mezi průměrnou koncentrací O₃ a maximální 8-hodinovou průměrnou koncentrací O₃ (0,929), v modelu je proto jako proměnná používána pouze maximální 8-hodinová průměrná koncentrace O₃. Patrná je i významná korelace mezi PM₁₀ a PM_{2,5} (0,848).

Ze znečišťujících látek je dále těsná pozitivní korelace mezi PM₁₀ a NO₂ (0,732) a mezi PM_{2,5} a maximální 8-hodinovou průměrnou koncentrací O₃ (0,777). Co se týče korelace mezi znečišťující látkou a teplotou, je patrná významná závislost mezi denní maximální 8-hodinovou průměrnou koncentrací O₃ a průměrnou denní teplotou (0,883) a taktéž mezi denní průměrnou koncentrací O₃ a průměrnou denní teplotou (0,839). S průměrnou denní teplotou poměrně korelují i denní koncentrace PM_{2,5} (0,703). Statisticky významná závislost je i mezi maximální denní teplotou a koncentrací O₃, jak průměrnou denní (0,824), tak i maximální 8-hodinovou průměrnou (0,982).

V tab. 12 jsou uvedeny Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými veličinami pouze pro období 2.–22. 8. 2003.

V tab. 11 je oproti tab. 12 značný rozdíl v korelaci mezi koncentrací NO₂ (příp. NO_x) a průměrnou koncentrací O₃. Pro pětileté období (tab. 11) jsou korelace mezi NO₂ (NO_x) a průměrnou koncentrací O₃ mnohem silnější než v období srpna 2003 (tab. 12). Totéž platí i pro průměrnou koncentraci NO₂ (NO_x) a maximální 8-hodinovou průměrnou koncentraci O₃.

V srpnu 2003 (tab. 12) byly silné korelace mezi CO a ostatními znečišťujícími látkami (především NO₂, NO_x, PM₁₀ a PM_{2,5}) na rozdíl od pětileté periody (tab. 11), kdy jsou korelace CO slabé. Naopak oproti srpnu 2003 (tab. 12) jsou silnější korelace v pětiletém období mezi SO₂ a NO₂ a SO₂ a PM₁₀ (tab. 11). V srpnu 2003 (tab. 12) je oproti pětiletému období (tab. 11) jen velmi slabá korelace průměrné a maximální teploty s průměrnou koncentrací NO₂ a NO_x.

V závislosti na počtu hodnot použitých pro výpočet a velikosti p-hodnot, lze již za prakticky významné považovat Spearmanovy korelační koeficienty s hodnotami většími než 0,400.

Tab. 11: Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými veličinami pro období 19.–27. 7. a 2.–22. 8. let 2002–2006

	o3_avg	o3_8max	co	so2	no2	nox	pm10	pm25	t_avg	t_max	t_min
o3_avg	1										
o3_8max	0,929	1									
co	-0,274	-0,208	1								
so2	0,234	0,274	0,125	1							
no2	0,417	0,601	0,127	0,319	1						
nox	0,282	0,484	0,166	0,278	0,972	1					
pm10	0,574	0,682	0,181	0,515	0,732	0,673	1				
pm25	0,704	0,777	-0,138	0,461	0,647	0,584	0,848	1			
t_avg	0,839	0,883	-0,166	0,200	0,618	0,518	0,695	0,703	1		
t_max	0,824	0,892	-0,160	0,166	0,639	0,539	0,682	0,678	0,966	1	
t_min	0,489	0,516	-0,109	0,102	0,301	0,220	0,410	0,357	0,644	0,606	1

Tab. 12: Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými veličinami pro období 2.–22. 8. 2003

	o3_avg	o3_8max	co	so2	no2	nox	pm10	pm25	t_avg	t_max	t_min
o3_avg	1										
o3_8max	0,827	1									
co	0,147	0,400	1								
so2	0,333	0,478	-0,146	1							
no2	0,039	0,291	0,422	0,160	1						
nox	0,056	0,300	0,394	0,147	0,995	1					
pm10	0,604	0,625	0,674	0,142	0,517	0,503	1				
pm25	0,536	0,636	0,648	0,239	0,453	0,420	0,931	1			
t_avg	0,795	0,826	0,269	0,508	0,057	0,066	0,481	0,507	1		
t_max	0,800	0,776	0,292	0,418	0,146	0,157	0,597	0,531	0,882	1	
t_min	0,512	0,297	0,243	-0,209	-0,318	-0,304	0,384	0,261	0,494	0,416	1

3.3 Regresní analýza

Výsledný nejvhodnější model negativní binomické regrese zahrnuje tyto proměnné: celkové úmrtnosti, úmrtnosti z kardiovaskulární příčin a úmrtnosti z respirační příčin, dále maximální denní teplotu, ze znečišťujících látek maximální denní 8-hodinovou průměrnou koncentraci O_3 , denní průměrnou koncentraci PM_{10} , denní průměrnou koncentraci NO_2 , denní průměrnou koncentraci SO_2 , denní průměrnou koncentraci CO . Do modelu nebyla zahrnuta denní průměrná koncentrace O_3 a denní průměrná koncentrace NO_x , z důvodu silných korelačních vazeb s maximální denní 8-hodinovou průměrnou koncentrací O_3 , resp. denní průměrnou koncentrací NO_2 , uvedených v korelační analýze v kapitole 3.2. Dále byla z modelu vyřazena denní průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ z důvodů silné korelace s PM_{10} a především z důvodu nedostatku dat. Do roku 2003 se $PM_{2,5}$ neměřilo vůbec, následující roky jen omezeně. V současnosti většina běžných monitorovacích systémů pro sledování kvality ovzduší měří hlavně částice PM_{10} , v důsledku toho většina epidemiologických studií používá PM_{10} jako ukazatel celkové expozice PM (WHO, 2006). Model zahrnuje i kalendářní jevy jako den v týdnu, volné dny a svátky.

Z dílčích modelů vytvořených pro zpoždění 1 až 7 dní jako nejvhodnější vyšlo 1-denní zpoždění (lag1), kdy byla nejsilnější vazba mezi ukazateli vlny vedra a počty úmrtí. Jednoznačně hůře vycházelo zpoždění 3, 4 a 5 dní (lag3, lag4, lag5), ostatní dny byly příznivější (lag2, lag4, lag7), avšak celkově nejlépe vycházelo zpoždění 1-denní (lag1).

Výsledky modelu negativní binomické regrese jsou popsány ve formě relativního rizika (RR). Dále je uveden 95 % interval spolehlivosti (95 % CI), vyjadřující informaci o přesnosti odhadu a o statistické významnosti. V tomto intervalu leží s 95 % pravděpodobností populační hodnota relativního rizika (Bencko et al., 2002). Testy byly provedeny na 5 % hladině významnosti.

V tab. 14 jsou uvedeny relativní rizika a 95 % intervaly spolehlivosti pro celková úmrtí, úmrtí na kardiovaskulární příčiny a úmrtí na respirační příčiny vždy pro obě pohlaví dohromady, dále odděleně pro muže a odděleně pro ženy. Tab. 14 se týká období 2. 8.–22. 8. 2003, období 4. 8.–13. 8. 2003 a období 19. 7.–27. 7. 2006.

Tab. 14: Relativní rizika a 95 % intervaly spolehlivosti pro celkovou úmrtnost (umrt_celk), úmrtnost z kardiovaskulárních příčin (umrt_kardio) a úmrtnost z respiračních příčin (umrt_resp) pro obě pohlaví dohromady, zvlášť pro muže a pro ženy v období 2. 8.–22. 8. 2003; 4. 8.–13. 8. 2003 a 19. 7.–27. 7. 2006.

	umrt_celk			umrt_kardio			umrt_resp		
	RR	95 % CI		RR	95 % CI		RR	95 % CI	
2. 8.–22. 8. 2003									
obě pohlaví	1,032	0,449	2,370	1,130	0,480	2,663	1,178	0,408	3,405
muži	0,924	0,397	2,151	0,934	0,377	2,314	0,759	0,208	2,765
ženy	1,147	0,493	2,672	1,270	0,534	3,020	1,633	0,469	5,685
4. 8.–13. 8. 2003									
obě pohlaví	1,042	0,216	5,019	1,291	0,254	6,579	1,031	0,151	7,053
muži	0,842	0,168	4,233	1,064	0,185	6,127	0,861	0,785	9,433
ženy	1,247	0,256	6,069	1,358	0,265	6,955	1,801	0,169	19,35
19. 7.–27. 7. 2006									
obě pohlaví	1,191	0,208	6,833	1,031	0,179	5,939	1,148	0,117	11,23
muži	1,267	0,220	7,321	1,044	0,163	6,706	0,983	0,081	11,88
ženy	1,101	0,182	6,649	0,987	0,167	5,822	1,514	0,108	21,14

RR = relativní riziko (Relative risk)

95 % CI = 95 % interval spolehlivosti (Confidence Interval)

p < 0,05

V období 2.–22. 8. 2003 vychází relativní riziko (RR) celkové úmrtnosti 1,032 (CI: 0,449–2,370), došlo tedy ke zvýšení celkové úmrtnosti u obou pohlaví o 3,2 %. Úmrtnost z kardiovaskulárních příčin pro obě pohlaví se zvýšila o 13,0 % (RR = 1,130; CI: 0,480–

2,663). Ke zvýšení došlo i u úmrtností z respiračních příčin, a to o 17,8 % (RR = 1,178; CI: 0,408–3,405). Je tedy zřejmé, že v době vlny vedra (zvýšených teplot a koncentrací znečišťujících látek) dochází k nárůstu úmrtnosti především z respiračních příčin. Rozdíl mezi muži a ženami vychází lépe pro muže, u kterých se v tomto období neprojevuje zvýšená celková úmrtnost ani úmrtnost z kardiovaskulárních či respiračních příčin. Ženy jsou naopak více ohroženy, celková úmrtnost se u nich zvýšila o 14,7 % (RR = 1,147; CI: 0,193–2,672). Zvýšení je viditelné i u úmrtí žen z kardiovaskulárních příčin (27,0 %; RR = 1,270; CI: 0,534–3,020) a především z příčin respiračních (63,3 %; RR = 1,633; CI: 0,469–5,685).

V „užším“ období srpna 2003 (4.–13. 8. 2003) došlo ke zvýšení celkové úmrtnosti obou pohlaví o 4,2 % (RR = 1,042; CI: 0,216–5,019). Úmrtnost z kardiovaskulárních příčin se zvýšila o 29,1 % (RR = 1,291; CI: 0,254–6,579) pro obě pohlaví, úmrtnost z respiračních příčin zaznamenala nárůst jen o 3,1 % (RR = 1,031; CI: 0,151–7,053). Při rozlišení pohlaví opět vychází zvýšená úmrtnost u žen. Zvýšení celkové úmrtnosti žen je o 24,7 % (RR = 1,247; CI: 0,256–6,069), zvýšení úmrtnosti z kardiovaskulárních příčin je o 35,8 % (RR = 1,358; CI: 0,265–6,955) a zvýšení úmrtnosti z respiračních příčin je dokonce o 80,1 % (RR = 1,801). U mužů došlo ke zvýšení úmrtnosti pouze z kardiovaskulárních příčin o 6,4 % (RR = 1,064; CI: 0,169–19,35).

V období červencové vlny vedra v roce 2006 (19.–27. 7. 2006) se celková úmrtnost mužů i žen zvýšila o 19,1 % (RR = 1,191; CI: 0,208–6,833). Úmrtnost z kardiovaskulárních příčin pro obě pohlaví se zvýšila o 3,1 % (RR = 1,031; CI: 0,179–5,939). Respirační potíže byly příčinou zvýšeného úmrtí obou pohlaví o 14,8 % (RR = 1,148; CI: 0,117–11,23). V případě celkové úmrtnosti a úmrtnosti z kardiovaskulárních příčin jsme zaznamenali oproti předchozím obdobím vyšší úmrtnost u mužů. Celková úmrtnost mužů se zvýšila o 27,0 % (RR = 1,267; CI: 0,220–7,321) narozdíl od žen, u kterých došlo ke zvýšení úmrtnosti o 10,1 % (RR = 1,101; CI: 0,182–6,649). Úmrtnost z kardiovaskulárních příčin se u mužů zvýšila o 4,4 % (RR = 1,044), zatímco u žen k jejímu zvýšení nedošlo. Úmrtnost z respiračních příčin vychází stejně jako v předchozích obdobích vyšší u žen o 51,4 % (RR = 1,514; CI: 0,108–21,14), u mužů k zvýšené úmrtnosti nedochází.

Souhrnně lze říci, že ve dvou námi sledovaných vlnách vedra v létě 2003 a 2006 jsou ve většině případů zvýšená rizika úmrtnosti v důsledku působení vlny vedra. Ačkoliv se tedy zvýšené riziko úmrtností potvrdilo, žádné z výše uvedených zvýšení není statisticky významné.

Vlny vedra se obecně projevují spíše na zvýšení kardiovaskulárních a zejména respiračních úmrtností a již méně na celkových úmrtnostech, což naše výsledky mohou potvrdit. Oproti kardiovaskulárním příčinám úmrtí je ve většině případů více úmrtí na respirační příčiny. U žen dochází k velkému zvýšení rizika úmrtnosti především z respiračních příčin, v období 4. 8.–13. 8. 2003 dokonce až o 80,1 % (RR = 1,801), to je dáno tím, že obecně počet úmrtí na respirační příčiny je u nás nižší než na příčiny kardiovaskulární, případně jiné, proto i pár případů úmrtí se projeví velkou hodnotou v koeficientu relativního rizika.

Vyšší úmrtnost vychází u žen, kromě července 2006, kde je v případě celkové úmrtnosti a úmrtnosti na kardiovaskulární příčiny vyšší u mužů.

U úmrtnosti z respiračních příčin jsou širší intervaly spolehlivosti než u kardiovaskulárních a celkových úmrtností. To je pravděpodobně způsobeno nízkým počtem úmrtí na respirační příčiny v Praze.

Porovnáme-li obě zvolená období v srpnu 2003, vyšší celková úmrtnost je podle očekávání v „užším“ období (4.–13. 8.), kdy by měl být efekt vlny vedra silnější (RR = 1,032 v období 8.–22. 8. vs. RR = 1,042 v období 4.–13. 8.). Vyšší úmrtnost je i z kardiovaskulárních příčin (RR = 1,130 v období 2.–22. 8. vs. RR = 1,291 v období 4.–13. 8.). U úmrtí z respiračních příčin se tento předpoklad nepotvrdil.

Porovnáme-li vlnu vedra v roce 2003 s vlnou vedra v roce 2006, nemůžeme jednoznačně říci, která vlna vedra se projevila více na zvýšené úmrtnosti. V červenci 2006 byla vyšší celková úmrtnost obou pohlaví, v srpnu 2003 byla vyšší úmrtnost z kardiovaskulárních příčin u obou pohlaví.

4. Diskuze

Existuje řada zahraničních studií, zabývající se problémem vlivu vln vedra na zvýšení nemocnosti a úmrtnosti obyvatel. Každá studie používá odlišné metody a různá vstupní data, a proto je velmi obtížné tyto studie mezi sebou porovnávat. Pro každou oblast jsou dále typické jiné faktory, které způsobují rozdíly ve výsledcích. Zdravotní dopady vlny vedra se liší město od města, což potvrzuje i studie Filleul et al. (2006) popsána níže. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny i rozdílnou geografickou oblastí a environmentální charakteristikou, jako je například efekt tepelného ostrova, který je spojen s hustotou zástavby a ovlivňuje vztah mezi hodnotami naměřenými meteorologickými stanicemi a hodnotami teploty, kterým jsou obyvatelé města skutečně vystaveni (WHO, 2004 [3]). Důležitou roli hraje i populační charakteristika jednotlivých zkoumaných oblastí. Primárně zranitelnější jsou děti a starší lidé (McGeehin & Mirabelli, 2001). Další rizikové faktory jsou chudoba, sociální izolace a některé užívané léky (McGeehin & Mirabelli, 2001; Semenza et al., 1996). Přesto se pokusím naše výsledky v rámci možností porovnat s vybranými zahraničními studii.

Výsledky provedené studie ukázaly pozitivní vazbu mezi vlnou vedra v létě 2003 a 2006 a celkovou úmrtností i úmrtností z kardiovaskulárních a respiračních příčin. Zjištěné asociace však nejsou statisticky významné.

Nejvýraznější zvýšení rizika úmrtnosti bylo nalezeno v srpnu 2003 (2. 8.–22. 8.) mezi vlnou vedra a denními počty úmrtí obou pohlaví na respirační příčiny (RR = 1,178; CI: 0,408–3,405). V „užším“ srpnovém období (4. 8.–13. 8. 2003) je naopak výraznější zvýšení rizika úmrtnosti mezi vlnou vedra a denními počty úmrtí na kardiovaskulární příčiny (RR = 1,291; CI: 0,254–6,579).

Nejllepší výsledky vyšly pro model vytvořený s 1-denním zpožděním (lag1). Použití toto zpoždění jako nejvhodnější potvrdily i zahraniční studie, které pro vztah mezi letními vedry a úmrtností použily výpočet s odstupem jednoho dne (lag1) (Almeida et al., 2011; Davis et al., 2003; Díaz et al., 2002; Grize et al., 2005; Kosatsky, 2005; Kyselý & Kříž, 2008; Pirard et al., 2005).

Vliv na zvýšenou úmrtnost ve vlně vedra má kromě teploty i znečištění ovzduší O₃ a dalšími znečišťujícími látkami (Grize et al., 2005; Filleul et al., 2006). V důsledku působení PM₁₀, CO, NO₂ a SO₂ dochází ke zvýšení úmrtnosti především z respiračních příčin (Stieb et al., 2002). Z našich výsledků nemůžeme přesně určit, zda se na zvýšení

relativních rizik úmrtností v ČR více podílela vysoká teplota nebo vysoké koncentrace znečišťujících látek.

Studie z Athén upozornila, že vysoké teploty a vysoké koncentrace znečištění ovzduší spolu vytváří větší efekt než kdyby každý faktor působil sám (Katsouyanni et al., 1993).

Některé jiné studie naopak tvrdí, že znečištění ovzduší ve vlně vedra nemělo významný vliv na úmrtnost (Le Tertre, 2006) a uvádí jiné faktory, jako může být sluneční svit, rychlost větru, příliš krátká doba na schopnost těla aklimatizovat se na vedro (Keatinge & Donaldson, 2006).

Většina studií, které se zabývají znečištěním ovzduší a vlivem na zdraví zohledňuje meteorologii, zejména teplotu jako matoucí faktor. Naproti tomu většina studií, které se zabývají meteorologickou situací a vlivem na zdraví, znečištění ovzduší vůbec neuvažuje.

Studie Fisher et al. (2004) z Nizozemí odhadla 1 400 nadbytečných úmrtí pouze v důsledku zvýšených koncentrací O_3 v období června až srpna 2003 a 1 460 nadbytečných úmrtí v důsledku zvýšených koncentrací PM_{10} . Nárůst celkové úmrtnosti za tyto tři měsíce byl o 8 %. Tyto tři letní měsíce autoři porovnávali se stejnými měsíci v roce 2000 a 2002. Data získali ze 14 stanic rozmístěných po celé zemi. Jiná studie (Filleul et al., 2006) ovšem upozornila, že autoři této nizozemské studie vycházeli z vymezení vypracovaných pro standardní podmínky a nebrali ve zřetel naprosto nestandardní meteorologické podmínky léta 2003.

Studie Anenberg et al. (2010) zkoumala počet úmrtí na kardiovaskulární a respirační příčiny způsobených PM a O_3 ve všech světadílech. Autoři odhadli, že ročně je v důsledku působení O_3 0,7+/-0,3 milionu úmrtí z respiračních příčin. 3,5+/-0,9 milionů úmrtí ročně z kardiovaskulárních příčin je spojeno s působením $PM_{2,5}$. V důsledku působení $PM_{2,5}$ odhadují na celé Zemi nárůst rakoviny plic ročně o 220+/-80 tisíc případů.

4.1 Rozsah zkoumaného období

Vybraná období studie, co se týče počtu dní, byla sice krátká, pro Českou republiku však nejlépe pokrývaly vlny vedra. S tímto rozsahem dnů vlny vedra jsou publikovány i zahraniční studie. Například studie, kterou publikoval Stedman (2004) porovnávala období 4.–13. 8. 2003 se stejným obdobím let 1998–2002 z hlediska vlivu znečištění ovzduší na úmrtnost v důsledku vlny vedra v srpnu 2003. Studie se zabývala celou Anglií a Walesem a autoři odhadli zvýšení celkové úmrtnosti o 21–38 % (225–593

úmrť). Jiná studie také pro oblast Anglie (Johnson et al., 2005) zvolila pro zjištění vlivu O_3 , PM_{10} a teploty na úmrtnost stejné období jako naše studie a studie Stedman (2004) 4.–13. 8. 2003. Nárůst úmrtnosti byl v Anglii podle Johnsona et al. (2005) o 16 % (2 139 úmrtí). Počtem zjištěných úmrtí se tyto dvě studie z Anglie (Stedman, 2004 a Johnson et al., 2005) velmi liší (225–593 úmrtí vs. 2 139 úmrtí), i přesto že zkoumaná období byla stejná a autoři Johnson et al. (2005) na rozdíl od Stedman (2004) nezahrnuli do výzkumu Wales ale pouze Anglii.

V Portugalsku autoři Nogueira et al. (2005) zvolili období 30. 7.–12. 8. 2003 a vypočítali zvýšení úmrtnosti v celé zemi o 37,7 % (1 316 úmrtí). Ve Francii bylo pro zjištění vlivu teploty a koncentrací O_3 na úmrtnost vybráno období 3.–17. 8. 2003 (Filleul et al., 2006). Studie zkoumala vliv teploty a vysokých koncentrací O_3 na zvýšenou úmrtnost v devíti francouzských městech. Bylo zřejmé zvýšení rizika úmrtnosti, nárůst byl od 10,6 % v Le Havre do 174,7 % v Paříži (Filleul et al., 2006).

4.2 Rozsah zkoumaného území

Výsledky prezentované studie se váží na data z hlavního města ČR s počtem obyvatel 1 262 106 (ČSÚ, 2012). Tato oblast není příliš velká na zkoumání vlivu teploty a znečištění ovzduší na zdraví, neboť je zde relativně malý počet denních úmrtí. Takto velká oblast byla ovšem předmětem zkoumání vlivu vlny vedra na úmrtnost i v zahraničních studiích.

Studie Almeida et al. (2011) se zabývala oblastí počtem obyvatel velkou jako Praha, průmyslovým městem Oporto v Portugalsku s 1 200 000 obyvateli. Studie zjistila vliv znečišťujících látek O_3 , PM_{10} a NO_2 na zvýšení celkové úmrtnosti v létě 2003. Autoři porovnávali letní období vlny vedra 2003 (červen až srpen) se stejným obdobím v letech 2000–2004. Do statistického modelu zahrnuli maximální teplotu, relativní vlhkost, maximální 8-hodinovou průměrnou koncentraci O_3 , denní průměrnou koncentraci PM_{10} a denní průměrnou koncentraci NO_2 , v naší studii je navíc denní průměrná koncentrace SO_2 a CO. Jako nejvhodnější zvolili 1-denní zpoždění (lag 1). Studie zjistila asociaci mezi koncentrací O_3 a kardiovaskulární úmrtností (RR = 1,089 CI: 0,320–1,470) (Almeida et al., 2011). Výsledky studie nejsou, stejně jako v naší studii, statisticky významné v žádném ukazateli úmrtnosti. Úmrtnost na kardiovaskulární příčiny byla v Portugalsku silnější než celková úmrtnost a úmrtnost z respiračních příčin (Almeida et al., 2011). Asociace mezi vlnou vedra a úmrtností z kardiovaskulárních příčin je i v naší studii zřejmá, a to pro

všechna tři sledovaná období (RR = 1,130 CI: 0,480–2,663; RR = 1,291 CI: 0,254–6579; RR = 1,031 CI: 0,179–5,939). Studie Almeida et al. (2011) na rozdíl od naší studie nepotvrdila vliv znečišťujících látek na zvýšenou úmrtnost z respiračních příčin. Pravděpodobně z důvodu, že počet úmrtí z respiračních příčin je menší než počet úmrtí z kardiovaskulárních příčin (Bell, 2005). Ve všech námi zvolených obdobích vlny veder došlo ke zvýšení relativního rizika úmrtnosti mezi vlnou vedra a počtem úmrtí z respiračních příčin (RR = 1,178 CI: 0,408–3,405; RR = 1,031 CI: 0,151–7,053; RR = 1,148 CI: 0,117–11,23).

I studie Michelozzi et al. (2005) zkoumala vliv vlny vedra v létě 2003 na celkovou úmrtnost v jednotlivých čtyřech vybraných italských městech, počtem obyvatel srovnatelných s Prahou (Boloň: 375 000 obyvatel; Miláno: 1 295 000 obyvatel; Turín: 909 193 obyvatel; Řím: 2 705 600 obyvatel). Studie se zabývala obdobím 1. 6.–31. 8. 2003, toto období srovnávala se stejným obdobím v letech 1995–2002. Jako indikátor charakterizující vlnu vedra autoři zvolili maximální teplotu. Maximální teplota jako proměnná byla zvolena i v naší studii. V Turíně se úmrtnost zvýšila o 33 % (577 úmrtí), v Miláně o 23 % (559 úmrtí), v Římě o 19 % (944 úmrtí) a v Boloni o 14 % (175 úmrtí) (Michelozzi et al., 2005).

Vliv na výsledky může mít i fakt, zda se jedná o městskou nebo předměstskou oblast. V Praze probíhalo měření v městských oblastech. Například vlna vedra v roce 2003 ve Švýcarsku způsobila nárůst celkové úmrtnosti o 6,9 % (975 úmrtí; CI: 4,9–8,8), z toho k nejvyššímu nárůstu úmrtnosti došlo v předměstských oblastech (Grize et al., 2005).

4.3 Vlivy pro rozdělení podle věku

Podle řady studií je prokázáno, že nejvyšší úmrtnost se projevuje na starších osobách. Nemohli jsme bohužel zjistit úmrtnost podle věkových skupin, tato data jsme neměli k dispozici. Ve velké většině zahraničních studií je signifikantní úmrtnost zjišťována zpravidla ve věkové skupině od 60 let výše (např. Grize et al., 2005; Johnson et al., 2005; Michelozzi et al., 2005; Pirard et al., 2005; Simón et al., 2005; Trigo et al., 2009). V těchto věkových skupinách je prokazatelný vliv vlny vedra na úmrtnost jak z respiračních tak z kardiovaskulárních příčin. Hlavním důvodem je, že staří lidé již ve většině případů trpí respiračními či kardiovaskulárními obtížemi, a proto jsou na znečištění ovzduší a vysoké teploty náchylnější (Katsouyanni et al., 2001).

Vlna vedra v létě 2003 ve Švýcarsku (Grize et al., 2005) způsobila nárůst celkové úmrtnosti u lidí starších 80 let o 8,8 % (CI: 6,0–11,6), na rozdíl od věkové skupiny 60–79 let, kde došlo k nárůstu úmrtnosti jen o 3,3 % (CI: 0,1–6,7). Studie z Itálie (Michelozzi et al., 2005) za nejprokazatelnější věk pro zjišťování dopadů vlny vedra na úmrtnost určila věkovou skupinu nad 75 let. V Nizozemí Garssen et al. (2005) shledal největší nárůst úmrtnosti z důsledky vlny vedra v létě 2003 u populace starší 59 let, u které došlo k prokazatelnému zvýšení celkové úmrtnosti o 11 %. K nárůstu celkové úmrtnosti o 7,9 % (3 166 úmrtí) v létě 2003 došlo i ve Španělsku, ve věkové skupině 75–85 let se úmrtnost zvýšila o 15 %, ve věkové skupině nad 85 let dokonce o 29 % (Simón et al., 2005). Ve Francii se celková úmrtnost v období 1.–20. 8. 2003 ve věkové skupině 75–94 let zvýšila dokonce až o 70 % (Pirard et al., 2005). Studie Trigo et al. (2009) zaznamenala z celé populace první zvýšení úmrtnosti až do věkové skupiny nad 45 let, největší úmrtnost pak zaznamenala ve věku nad 75 let. V Anglii došlo ke zvýšení celkové úmrtnosti v období 4.–13. 8. 2003 o 16 %, z čehož 59 % bylo zaznamenáno u lidí starších 75 let (Johnson et al., 2005).

Z výše uvedených příkladů je zřejmé, že pokud zkoumáme vliv vlny vedra (resp. vysokých teplot a vysokých koncentrací znečištění ovzduší) na úmrtnost, je všeobecně prokázáno, že více ohroženi jsou starší lidé a lidé s kardiovaskulárními a respiračními nemocemi.

Avšak podle studie Kyselý & Kříž (2008) byl v České republice nárůst úmrtnosti u lidí starších 70 let v průběhu vlny vedra v srpnu jen nepatrně vyšší než u celé populace, což je v kontrastu se zeměmi západní a jižní Evropy, kde byly dopady u starších lidí mnohem zřetelnější (Borrell et al., 2006; Garssen et al. 2005; Grize et al., 2005; MMWR, 2004; Navarro et al., 2004; Pirard et al., 2005; Poumadere et al., 2005; Simón et al., 2005).

Studie Laaidi et al., 2012 prokázala, že vliv na úmrtnost v srpnu 2003 v Paříži měly nejen vysoké denní teploty, ale i noční teploty. U starších lidí, kteří byly několik dní během srpnové vlny vedra vystaveni vysokým nočním teplotám, vzrostla pravděpodobnost úmrtí o 2,17 %. Kombinace horkých dnů a horkých nocí více oslabuje organismus a více přispívá ke zvýšené úmrtnosti (Laaidi et al., 2012).

4.4 Vlivy pro rozdělení podle pohlaví

Při porovnání úmrtnosti mužů a žen jsme zjistili vyšší úmrtnost u žen ve všech sledovaných ukazatelích, výjimkou je červenec 2006, kde v případě celkové úmrtnosti a úmrtnosti z kardiovaskulárních příčin byla vyšší u mužů.

Tento výsledek zvýšené úmrtnosti u žen v době vlny vedra v České republice potvrzují i zahraniční studie ze západní a jižní Evropy (Borrell et al., 2006; Grize et al., 2005; Michelozzi et al., 2005; Pirard et al., 2005; Trigo et al., 2009). Vlna vedra 2003 ve Švýcarsku způsobila vyšší celkovou úmrtnost u žen (o 7,5 %; CI: 4,7–10,3), nižší u mužů (6,1 %; CI: 3,3–9,0) (Grize et al., 2005). Studie Trigo et al. (2009) z Portugalska taktéž potvrdila vyšší míru úmrtnosti u žen. V Portugalsku došlo ke zvýšení celkové úmrtnosti v období 30. 7.–15. 8. 2003 o 58 % (2 399 úmrtí), z toho u žen o 79 % (1 535 úmrtí), u mužů o 41 % (864 úmrtí) (Trigo et al., 2009). Vyšší úmrtnost u žen potvrdily i studie Michelozzi et al. (2005) pro Itálii a studie Pirard et al. (2005) pro Francii. Ve Francii došlo ke zvýšení úmrtí v období 1.–20. 8. 2003 o 60 % (14 800), z toho u žen o 70 %, u mužů o 40 % (Pirard et al., 2005). Tyto výsledky jsou v rozporu s očekávanými výsledky WHO (2004 [3]), které předpokládaly, že vyšší úmrtnost nastane u mužů.

Průměrný věk v Evropě je vyšší u žen než u mužů, to bychom mohli považovat za důvod, proč ve všech námi zvolených studiích byla vyšší úmrtnost v důsledku vlny vedra u žen. Obecně v demografické struktuře evropské populace je vyšší zastoupení žen, především pak starých a ovdovělých (INSTRAW, 2004). Podíl žen a mužů v západní Evropě ve věku 70 let je 1,74, zatímco u 80letých to je 2,32 (Fisher 2004).

4.5 Vlna vedra v létě 2006

Vlna vedra v červenci 2006 nebyla počtem nadbytečných úmrtí ve srovnání s vlnou vedra v létě 2003 příliš významná (Rey et al., 2007). Ve Francii bylo v létě 2003 zaznamenáno téměř 15 000 nadbytečných úmrtí, zatímco v létě 2006 Francie zaznamenala nárůst o 2 065 úmrtí (o 9 %; CI: 1,630–2,499), což bylo méně než se očekávalo (Fouillet et al., 2008). Z toho 1 254 úmrtí bylo ve věkové skupině nad 75 let (CI: 0,907–1,601) a 399 úmrtí ve věkové skupině 55–74 (CI: 0,226–0,572), výsledky nebyly statisticky významné (Fouillet et al., 2008). Ve Francii bylo jako nejlepší období pro vlnu vedra 2006 vybráno období 11.–28. 7. 2006. (Fouillet et al., 2008). V ČR v červenci 2006 (19.–27. 7.) došlo ke zvýšení rizika úmrtnosti o 19,1 % (CI: 0,208–6,833) u celkové úmrtnosti, o 3,1 % (CI: 0,179–5,939) u úmrtnosti z kardiovaskulárních příčin a o 14,8 % (CI: 0,117–11,23) u úmrtnosti z respiračních příčin. Výsledky taktéž nejsou statisticky významné.

4.6 Ostatní studie z ČR

V České republice se letní vlnou vedra v srpnu 2003 zabývala ještě studie, kterou publikovali autoři Kyselý a Kříž (2008). Tito autoři zjistili, že zatímco většina teplých vln od roku 1986 byla spojena s nárůstem úmrtnosti, tato vlna vedra v srpnu 2003 s nárůstem úmrtnosti spojena nebyla. Studie zaznamenala v srpnu 2003 v ČR nárůst úmrtnosti o 2,6 %, tento nárůst však nebyl, stejně jako v naší studii, statisticky významný. Za celé léto 2003 byl nárůst úmrtnosti o 236 úmrtí. U starších lidí byl dopad na celkovou úmrtnost jen o trochu větší (nárůst 3,7 %) než u celé populace. Více viditelný nárůst úmrtnosti byl u žen (5 %) než u mužů (0,9 %). Největší nárůst úmrtnosti byl pak zaznamenán u žen starších 80 let (8,5 %).

Co do statistické nevýznamnosti výsledků a vyššího podílu úmrtnosti u žen se naše práce shodují a potvrzují, že dopad vln vedra v České republice byl mnohem menší než v zemích západní a jižní Evropy (jako je Francie, Itálie, Nizozemí, Španělsko). To mohlo být způsobeno tím, že vlny vedra v létě 2003 v západní Evropě byly v porovnání se střední Evropou mnohem výraznější. Například ve Francii byla zasažena skoro celá země 5 denní periodou denních teplot vyšších než 35 °C přičemž minimální teplota byla po celou tuto periodu vyšší než 20 °C (Robine et al., 2008).

V České republice byla průměrná denní anomálie teploty +3 °C až +5 °C, podobně jako ve Švýcarsku (Grize et al., 2005), Nizozemí (Garssen et al., 2005) a Velké Británii (Johnson et al., 2005). Přesto vlna vedra v České republice nebyla ani tak výrazná jako u těchto států, především z důvodu nižší odchylky teploty od běžných hodnot (Kyselý & Kříž, 2008).

5. Závěr

Výsledky ukazují, že i v Praze měly vlny vedra v létě 2003 a 2006 dopad na úmrtnost obyvatel. Ve všech námi zvolených případech bez rozlišení pohlaví došlo ke zvýšení relativních rizik úmrtnosti. Vlny vedra se obecně projevují na zvýšení kardiovaskulární a zejména respirační úmrtnosti a již méně na celkové úmrtnosti, což naše výsledky mohou potvrdit. Oproti kardiovaskulárním příčinám úmrtí bylo ve většině případů více úmrtí z respiračních příčin. U žen došlo oproti mužům k většímu zvýšení rizika úmrtnosti, a to především z respiračních příčin. Výsledky tedy potvrzují nezanedbatelný efekt vlny vedra na zdraví veřejnosti.

Ačkoliv zvýšení úmrtnosti nebylo statisticky významné, hypotézu můžeme považovat za potvrzenou. Vlny vedra tedy vedou ke zvýšeným projevům na zdravotní stav obyvatel a k navýšení celkové úmrtnosti a úmrtnosti z kardiovaskulárních a respiračních příčin.

Vezmeme-li v úvahu, že globální klima Země se mění, pak pravděpodobně bude docházet ke zvýšení extrémních projevů počasí a v letních měsících ke zvyšování počtu horkých slunečních dní. Proto by se tyto extrémní projevy počasí měly dále zkoumat s cílem, připravit preventivní opatření pro snížení možných dopadů budoucích vln vedra.

6. Použitá literatura

Almeida S.P., Casimiro E., Calheiros J., 2011: Short-term association between exposure to ozone and mortality in Oporto, Portugal. *Environmental Research* 111: 406–410.

Anenberg S.C., Horowitz L.W., Tong D.Q., West J.J., 2010: An estimated of the global burden of antropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Envirnmental Heath Perpectives* 118 (9): 1189-1195.

Anderson H.R., 2009: Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment* 43: 142-152.

Anderson G.B., Bell M.L., 2011: Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives* 119 (2): 210-218.

Applegate W.B., Runyan J.W., Brasfield L., Williams M.L., Konigsberg C., Fouche C., 1981: Analysis of the 1980 heat wave in Memphis. *Journal of the American Geriatrics Society* 29 (8): 337-342.

Atkinson R.W., Anderson H.R., Sunyer J., 2001: Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 164: 1860–1866.

Avol E.L., Gauderman W.J., Tan S.M., London S.J., Peters J.M., 2001: Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 164: 2067–2072.

Ayres J., Maynard R., Richards R., 2006: Air pollution and health. *Air Pollution Reviews* 3: 264 p.

Ballester F., Corella D., Pérez-Hoyos S., Sáez M., Hervás A., 1997: Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *International Journal of Epidemiology* 26 (3): 551-561.

Basu R., Samet J.M., 2002: Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews* 24 (2): 190-202.

Bell M.L., Dominici F., Samet J.M., 2005: A Meta-Analysis of Time-Series Studies of Ozone and Mortality With Comparison to the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. *Epidemiology* 16: 436–445.

Bencko V., Hrach K., Malý M., Pikhart H., Reissigová J., Svačina Š., Tomečková M., Zvárová J., 2002: Statistické metody v epidemiologii. Dostupné na <http://ucebnice.euromise.cz/index.php?conn=0§ion=epidem> (staženo 15. 3. 2012).

Beniston M., Diaz F.H., 2004: The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global and Planetary Change* 44: 73–81.

Borrell C., Marí-Dell'Olmo M., Rodríguez-Sanz M., Garcia-Olalla P., Cayla J.A., Benach J., Muntaner C., 2006: Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona. *European Journal of Epidemiology* 21: 633–640.

Braniš M., Hůnová I., et al., 2009: *Atmosféra a klima, Aktuální otázky ochrany ovzduší*. Karolinum, Praha, 121 p.

Brunekreef B., Dockery D.W., Krzyzanowski M., 1995: Epidemiologic studies on short-term effects of low levels of major ambient air pollution components. *Environmental Health Perspect* 103 (2): 3–13.

Brunekreef B., Holgate S.T., 2002: Air pollution and health. *The Lancet* 360 (9341): 1233-1242.

Burnett R.T., et al., 2004: Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Environmental Health* 59: 228-236.

Cakmak S., Burnett R.T., Krewski D., 1999: Methods for detecting and estimating population threshold concentrations for air pollution-related mortality with exposure measurement error. *Risk Analysis* 19: 487–496.

Cerutti B., Tereanu C., Domenighetti G., Cantoni E., Gaia M., 2005: Temperature related mortality and ambulance service interventions during the heat waves of 2003 in Ticino (Switzerland). *Social and Preventive Medicine* 51: 185–193.

Chan-Yeung M.N.W., 2000: Air pollution and health. *Hong Kong Medical Journal* 6 (4): 390-398.

Cheung S.L.K., Robine J.-M., van Oyen H., Griffiths C., Herrmann F.R., 2007: The 2003 heat wave in Europe, a review of the literature, The 2003 Heat Wave Project, Montpellier (EU Community Action Programme for Public Health. Grant Agreement 2005114) in: Robine J.M., et al., 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331: 171–178

Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Daux V., Le Roy Ladurie E., 2004: Grape ripening as a past climate indicator. *Nature* 432: 289–290.

COMEAP, 2007: COMEAP statement on banding of air quality. Dostupné na: <http://www.advisorybodies.doh.gov.uk/comeap/statementsreports/airpol9.htm> (staženo 17. 7. 2011).

Conti S., Mel, P., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L., 2005: Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental Research* 98: 390–399.

ČHMÚ, 2002–2011: Znečištění ovzduší na území České republiky. Český hydrometeorologický ústav, Úsek ochrany čistoty ovzduší, Praha. Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html (grafické ročenky); http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html (tabelární ročenky)

ČHMÚ, 2004: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2003. Český hydrometeorologický ústav, Úsek ochrany čistoty ovzduší, Praha 2004. dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html (grafické ročenky); http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html (tabelární ročenky)

ČHMÚ, 2010: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2009. Český hydrometeorologický ústav - Úsek ochrany čistoty ovzduší, Praha 2010. dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html (grafické ročenky); http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html (tabelární ročenky)

ČHMÚ, 2011: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010. Český hydrometeorologický ústav - Úsek ochrany čistoty ovzduší, Praha 2011. dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html (grafické ročenky); http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html (tabelární ročenky)

ČSÚ, 2012: <http://www.czso.cz/> (staženo 10. 4. 2012).

Daniels M.J., Dominici F., Samet J.M., Zeger S.L., 2000: Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: an analysis of daily time-series for the 20 largest US cities. *American Journal of Epidemiology* 152: 397–406.

Davis R.E., Knappenberger P.C., Novicoff W.M., Michaels P.J., 2003: Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *International Journal of Biometeorology* 47:166–175.

De Bono A., Giuliani G., Kluser S., Peduzzi P., 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Europe Environment Alert Bulletin* 2: 1–4.

Devlin R.B., Raub J.A., Folinsbee J.L., 1997: Health Effects of Ozone. *Science & Medicine* 4 (3): 8-17.

Díaz J., García R., Velázquez de Castro F., Hernández E., López C., Otero A., 2002: Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology* 46:145–149.

Donaldson K., Stone V., Clouter A., Renwick L., MacNee W., 2001: Ultrafine Particles. *Occupational and Environmental Medicine* 58: 211–216.

EC, 2008: Directive 2008/50/ES of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal of European Communities*.

EEA, 2002: Annual European Community CLRTAP emission inventory 1990–2000. EEA Technical Report 91, Copenhagen, 31 p.

EEA, 2003: Air pollution by Ozone in Europe in Summer 2003: Overview of Exceedances of EC Ozone Threshold Values during the Summer Season April–August 2003 and Comparisons with Previous Year. Topic report No 3/2003: 33 p.

EEA, 2007. Air Pollution in Europe 1990–2004. EEA report. No 2/2007. Copenhagen: 84 p.

EEA, 2010. Air pollution by ozone across Europe during summer 2009: overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2009. EEA report. No. 2/2010. Copenhagen: 40 p.

EPA, 2004: The Ozone Report. EPA454/K-01-001. Research Triangle Park, NSCEP: US EPA; Office of Air Quality Planning and Standards, 14 p. Dostupné na: <http://nepis.epa.gov/> (staženo 1. 10. 2011).

EPA, 2012: <http://www.epa.gov/air/nitrogenoxides/> (staženo 21. 3. 2012).

Ezzati M., Kammen D., 2001: Indoor air pollution from biomass combustion and acute respiratory infections in Kenya: an exposure-response study. *The Lancet* 358: 619–624.

Ezzati M., Rodgers A., Lopez A.D., Vander Hoorn S., Murray C.J.L., 2004: Mortality and burden of disease attributable to individual risk factors. In: *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Due to Selected Major Risk Factors* (Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, eds). Geneva: World Health Organization, 2141–2166.

Fiala, 2000: Hodnocení kvality ovzduší podle EU. ČHMÚ, dostupné na: <http://old.chmi.cz/uoco/isko/projekt/vav00/du02-2e3.html> (staženo 14. 3. 2012).

Filleul L., Cassadou S., Médina S., Fabres P., Lefranc A., Eilstein D., 2006: The Relation Between Temperature, Ozone, and Mortality in Nine French Cities During the Heat Wave of 2003. *Environmental Health Perspectives* 114 (6): 1344–1347.

Filleul L., Le Tertre A., Baldi I., Tessier J.F., 2004: Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. *Environmental Research* 94: 249–253.

Fischer P.H., Brunekreef B., Lebreton E., 2004: Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 38: 1083–1085.

Fouillet A., Rey G., Laurent F., Pavillon G., Bellec S., Guihenneuc-Jouyaux C., Clavel J., Jouglu E., Hémon D., 2006: Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 80: 16–24.

Fouillet A., Rey G., Wagner V., Laaidi K., Empereur-Bissonnet P., Le Tertre A., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P., Jouglu E., Hémon D., 2008: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European

heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology* 37: 309-317.

Gardnes W., Mulvey E.P., Shaw E.C., 1995: Regression Analyses of Counts and Rates: Poisson, Overdispersed Poisson and Negative Binomial Models. *Psychological Bulletin* 118 (3): 392-404.

Garssen C., Harmsen J., De Beer J., 2005: The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance* 10 (7-9): 150-153.

Gauderman W.J., et al., 2000: Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *American journal of respiratory and critical care medicine* 162: 1383–1390.

Gauderman W.J., et al., 2002: Association between air pollution and lung function growth in southern California children. Results from a second cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine* 166: 76–84.

Gosling S.N., Lowe J.A., McGregor G.R., Pelling M., Malamud B.D., 2009: Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: A critical review of the literature. *Climatic Change* 92(3-4): 299–341.

Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fahrlander C., 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medicinal Weekly* 135: 200-205.

Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Samoli E., et al., 2004: Acute Effects of Ozone on Mortality, from the Air Pollution and Health. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 170 (10): 1080-1087.

Haines A., Kovats R.S., Campbell-Lendrum D., Corvalan C., 2006: Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *The Lancet* 367 (9528): 2101–2109.

Hajat S., Kovats R.S., Atkinson R.W., Haines A., 2002: Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of Epidemiology and Community Health* 56: 367–372.

Harrison R.M., Yin J., 2000: Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Science of The Total Environment* 249 (1-3): 85-101.

Havenith G., 2001: Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology* 90 (5): 1943-1954.

HEI, 2004. Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review. Boston, MA, Health Effects Institute: Special report 15: 284 p..

Hémon D., Jouglu E., 2004: The heat wave in France in August 2003. *Revue Epidemiology Sante Public* 52: 3-5.

- Hodzic A., Madronich S., Bohn B., Massie S., Menut L., Wiedinmyer C., 2007: Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: Meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion* 7 (2): 4705–4760.
- Hodzic A., Vautard R., Bessagnet B., Lattuati M., Moreto F., 2005: Long-term urban aerosol simulation versus routine particulate matter observations. *Atmospheric Environment* 39: 5851–5864.
- Holgate S., Samet J.M., Koren H.S., Maynard L.R., 1999: *Air pollution and health*. Academic Press, London, 1066 p.
- Holland W.W., Bennett A.E., Cameron I.R., 1979: Health effects of particulate pollution: reappraising the evidence. *American Journal of Epidemiology* 110: 527–659.
- Hsu J.C., Nelson B., 1998: Multiple comparisons in the general linear model. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 7 (1): 23-41.
- Hůnová I., Malý M., Řezáčová J., Braniš M., 2012: Association between ambient ozone and health outcomes in Prague. *International archives of occupational and environmental health* 2012, 8 p.
- Hutchinson M.K., Holtman M.C., 2005: Focus on Research Methods. Analysis of Count Data Using Poisson Regression. *Research in Nursing and Health* 28: 408-418.
- Huynen M.M.T.E., Martens P., Schram D., Weijenberg M.P., Kunst A.E., 2001: The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental Health Perspect* 109: 463–470.
- INSTRAW, 2004: The situation of elderly women: available statistics and indicators. Joint publication of the United Nations International Research and Training Institute for the Advancement of Women (INSTRAW) and the Statistics Division of the United Nations Secretariat, 72 p.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007. Synthesis report*. IPCC, Geneva, 104 p.
- Jerrett M., Burnett R.T., Brook J., Kanaroglou P., Giovis C., Finkelstein N., et al., 2004: Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *J Epidemiol Community Health* 58: 31–40.
- Johnson H., Kovats S., McGregor G., et al., 2005: The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Euro Surveill* 10 (7): 168-171.
- Katsouyanni K., Pantazopoulou A., Touloumi G., 1993: Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health* 48 (4): 235-242.

Katsouyanni K., Toulomi G., Samoli E., 2001: Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12 (5): 521-531.

Katsouyanni K., Zmirou D., Spix C., Sunyer J., Schouten J.P., Ponka A., Anderson H.R., Le Moullec Y., Wojtyniak B., Vigotti M.A., et al., 1995: Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design. *European Respiratory Journal* 8(6):1030-1038.

Kazmarová H., 2010: Vlivy znečišťujících látek z ovzduší na zdraví. Státní zdravotní ústav (přednáška), 15 p.

Keatinge W.R., Donaldson G.C., 2006: Heat acclimatization and sunshine cause false indications of mortality due to ozone. *Environmental Research* 100: 387–393.

Klinenberg E., 2002: *Heat Wave: A Social Autopsy of Disasters in Chicago*. University of Chicago Press, Chicago, 328 p.

Koppe C., Kovats R.S., Jendritzky G., Menna B., 2004: Heat-waves: impacts and responses. *Health and Global Environmental Change, Series 2*, WHO, Copenhagen, 12 p.

Kosatsky T., 2005: The 2003 European heat waves. *Eurosurveillance* 10 (7-9): 148-149.

Kotlík B., 2008: *Ovzduší a zdraví*. Státní zdravotní ústav Praha, Centrum hygieny životního prostředí, 12 p.

Kovats R.S., Ebi K.L., 2006: Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health* 16 (6): 592–599.

Kovats R., Jendritzky G., 2006: Heat waves and human health, in: Menne B.E., Kristie L., 2006: *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Springer, New York, 449 p.

Kyselý J., 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague Klementinum, The Czech Republic, from 1901-1997, and their relationships to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 22: 33-50.

Kyselý J., 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology* 49: 91–97.

Kyselý J., Kříž B., 2008: Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response?. *International Journal of Biometeorology* 52: 733–745.

Laaidi K., Zeghnoun A., Dousset B., Bretin P., Vandentorren S., Giraudet E., Beaudou P., 2012: The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave. *Environmental Health Perspectives* 120 (2): 254-259.

Larrieu S., Jusot J.F., Blanchard M., Prouvost H., Declercq Ch., Fabre P., Pascal L., Le Tertre A., Wagner V., et al., 2007: Short term effects of air pollution on hospitalizations

for cardiovascular diseases in eight French cities: The PSAS program. *Science of The Total Environment* 387 (1–3) : 105–112

Larsen J., 2006: Setting the record straight: More than 52 000 Europeans died from heat in summer 2003. Earth Policy Institute, dostupné na <http://www.earthpolicy.org/Updates/2006/Update56.htm> (staženo 5. 10. 2011).

Lawless J.F, 1987: Negative binomial and mixed Poisson regression. *The Canadian Journal of Statistics*, 15 (3): 209-225.

Le Tertre A., Lefranc A., Eilstein D., 2006: Impacts of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology* 17: 75–79.

Le Tertre A., Quenel P., Eilstein D., et al., 2002: Short-term effects of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary. *Archives of Environmental Health* 57: 311–319.

Lin S., Bell L.M., Liu W., Walker R.J., Kim N.K., Hwang S., 2008: Ambient ozone concentration and hospital admissions due to childhood respiratory diseases in New York State, 1991– 2001. *Environmental Research* 108: 42– 47.

Lindsey J.K., 2001: *Nonlinear Models in Medical Statistics*. Oxford University Press. 292 p.

Lipmann M., 2003: Surface Ozone (Human Health). In: Holton J.R., Curry J.A., Pyle J.A., 2003: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. Volume 4. Academic Press, Elsevier Science, London, 1655 – 1663.

Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H., 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499-1503.

McConnell R., Berhane K., Gilliland F., 2002: Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *The Lancet* 359: 386–91.

McConnell R., Berane K., Yao L., Jerrett M., Lurmann F., Gilliland F., Künzli N., Gauderman J., Avol E., Thomas D., Peters J., 2006: Traffic, Susceptibility, and Childhood Astma. *Environmental Health Perspectives* 114 (5): 766–772.

McGeehin M.A., Mirabelli M., 2001: The potential impacts of climate change variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environmental Health Perspect* 109 (2): 185-189.

Meehl G.A., Tebaldi C., 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305 (5686): 994–997.

Michelozzi P., de Donato F., Bisanti A.L., Cadum E., DeMaria M., D’Ovidio, Costa G., Perucci C.A., 2005: The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *Euro Surveill* 10 (7): 161-165.

- MMWR, 2004: Impact of heat waves on mortality – Rome, Italy, June-August 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 53: 369–371.
- Namdeo A., Tiwary A., Farrow E., 2011: Estimation of age-related vulnerability to air pollution: Assessment of respiratory health at local scale. *Environment International* 37: 829–837.
- Navarro F.M., Simon-Soria F., Lopez-Abente G., 2004: Evaluation of the impact of the heat wave in the summer of 2003 on mortality. *Gaceta Sanitaria* 18: 250-258.
- Nogueira P.J., Falcao J.M., Contreiras M., et al., 2005: Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *Euro Surveill* 10 (7): 150-153.
- Pace G., Meloni D., di Sarra A., 2005: Forest fire aerosol over the Mediterranean basin during summer 2003. *Journal of Geophysical Research* 110 (D21202): 11 p.
- Pavlík J., Němec L., Tolasz R., Valter J., 2003: Mimořádné léto roku 2003 v České republice. *Meteorologické zprávy* 53 (6): 161-165.
- Pirard P., Vandentorren S., Pascal M., Laaidi K., Le Tertre A., Cassadou S., Ledrans M., 2005: Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *Eurosurveillance* 10 (7-9): 153-156.
- Poumadere M., Mays C., Le Mer S., Blong R., 2005: The 2003 heat wave in France: dangerous climate here and now. *Risk Analysis* 25: 1483–1494.
- Rebetez M., Dupont O., Giroud M., 2009: An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003. *Theoretical and Applied Climatology* 95: 1-7.
- Rey G., Jougl E., Fouillet A., 2007: The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 80: 615–26.
- Robine, J.M., Cheung, S.L.K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.P., Herrmann, F.R., 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331: 171–178.
- Řezáčová J., 2010: Vliv přízemního ozonu na kardiovaskulární a respirační onemocnění lidí žijících v Praze v letech 2002–2006. Diplomová práce PŘF UK Praha, 60 p.
- Saez M., Sunyer J., Castellsagué J., Murillo C., Antó J.M., 1995: Relationship between Weather Temperature and Mortality: A Time Series Analysis Approach in Barcelona. *International Journal of Epidemiology* 24 (3): 575-582.
- Samet J.M., Dominici F., Curriero F., Coursac I., Zeger S.L., 2000: Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities: 1987–1994. *The New England Journal of Medicine* 343: 1742–1749.

- Samoli E., Aga E., Touloumi G., Nisiotis K., Forsberg B., Lefranc A., Pekkanen J., Wojtyniak B., Schindler C., Niciu E., Brunstein R., Fikfak M.D., Schwartz J., Katsouyanni K., 2006: Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *European Respiratory Journal* 27: 1129–1137.
- Sardon J.P., 2006: Recent demographic trends in developed countries. *Population E* 61 (3): 197–266.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2006: *Atmospheric Chemistry and Physics. From Air pollution to Climate change*. Second Edition. New York, J. Wiley & Sons, Inc., 1203 p.
- Semenza J.C., Rubin C.H., Falter K.H., Selanikio J.D., Flanders W.D., Howe H.L., 1996: Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England Journal of Medicine* 335 (2): 84-90.
- Schär C., Vidal P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332–336.
- Schwartz J., Zanobetti A., Bateson T., 2003: Morbidity and mortality among elderly residents of cities with daily PM measurements. In: *Revised analyses of time-series studies of air pollution and health*. Special report. Boston, MA: Health Effects Institute, 2003: 25–58.
- Simón F., Lopez-Abente G., Ballester E., Martinez F., 2005: Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Eurosurveillance* 10 (7-9):156-160.
- Smith K.R., Samet J.M., Romieu I., Bruce N., 2000: Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children. *Thorax* 55: 518–32.
- Stedman R. J., 2004: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmospheric Environment* 38: 1087–1090.
- Stedman R.J., Kent A.J, 2008: An analysis of the spatial patterns of human health related surface ozone metrics across the UK in 1995, 2003 and 2005. *Atmospheric Environment* 42: 1702–1716.
- Stieb D.M., Judek S., Burnett R.T., 2002: Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: Effects of gases and particles and the influence of cause of death, age and season. *Journal of the air and waste management association* 52: 470-484.
- Sybdom A., Blomberg A., Parnia S., Stenfors N., Sandström T., Dahlén S.E., 2001: Health effect of diesel exhaust emissions. *European Respiratory Journal* 17: 733-746.
- Talbot T.O., Haley V.B., Dimmick W.F., Paulu C., Talbott E.O., Rager J., 2010: Developing consistent data and methods to measure the public health impacts of ambient air quality for Environmental Public Health Tracking: progress to date and future directions. *Air Quality Atmosphere Health* 2: 199–206.

Touloumi G., Katsouyanni K., Zmirou D., 1997: Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach. American Journal of Epidemiology* 146: 177–85.

Trigo R.M., Ramos A., Nogueira P., Santos F., Garcia-Herrera R., Gouveia C., Santo F., 2009: Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. *Environmental science & policy* 12: 844-854.

UNEP, 2004: Impact of summer 2003 heat wave in Europe. United Nations Environment Programme, Nairobi, 4 p.

Vautard R., Beekmann M., Desplat J., Hodzic A., Morel S., 2007: Air quality in Europe during the summer of 2003 as a prototype of air quality in a warmer climate. *Comptes Rendus Geoscience* 339: 747–763.

Vautard R., Honoré C., Beekmann M., Rouil L., 2004: Simulation of ozone during the August 2003 heat wave and emission control scenarios. *Atmospheric Environment* 39: 2957–2967.

Vichit-Vadakan N., Ostro B.D., Chestnut L.G., 2001: Air pollution and respiratory symptoms: results from three panel studies in Bangkok, Thailand. *Environmental Health Perspectives* 109 (3): 381–87.

Vyškovská J., 2009: Vliv četnosti koncentrace aerosolu na kardiovaskulární a respirační onemocnění v Praze. Diplomová práce PřF UK Praha, 60 p.

WHO, 2003: Climate change and human health - risks and responses. World Health Organization, Geneva, 37 p.

WHO, 2003 (2): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organization report, Bonn, Germany, 98 p.

WHO, 2004: Health aspects of air pollution. World Health Organization report, Copenhagen, Denmark, 30 p.

WHO, 2004 (2): International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Tenth Revision, Volume 1, Second Edition, Geneva 2004: 201 p.

WHO, 2004 (3): Heat waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change. Series 2: 124 p.

WHO, 2005: Health and climate change: the now and how. Apolicy action guide, World Health Organization report, Copenhagen, Denmark, 35 p.

WHO, 2006: Air Quality Guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Copenhagen, Denmark. 484 p.

Zemp E., Elsasser S., Schindler C., et al., 1999: Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (SAPALDIA study). *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 159: 1257–1266.

Zvárová J., Malý M., 2003: Statistické metody v epidemiologii - soubor. Praha, Karolinum: 506 p.

7. Seznam tabulek a obrázků

Tab. 1: Limitní hodnoty EU

Tab. 2: Směrné hodnoty WHO

Tab. 3: Výběr důležitých zdravotních účinků vázaných na konkrétní znečišťující látky

Tab. 4: Stanice s nejvyššími maximálními denními 8-hodinovými průměrnými koncentrace O₃ a počty překročení imisního limitu pro ochranu lidského zdraví

Tab. 5: Počty hodin, kdy došlo k překročení zvláštního imisního limitu pro O₃ (180 µg.m³) v letech 2000–2004 na vybraných stanicích

Tab. 6: Překročení prahové hodnoty pro varování veřejnosti v roce 2003 (hodinová koncentrace ozonu > 360 µg.m⁻³)

Tab. 7: Počty a procenta chybějících dat souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Tab. 8: Počty a procenta chybějících dat v letním období (1. 4.–31. 9.) souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Tab. 9: Počty a procenta chybějících dat v zimním období (1. 10.–31. 3.) souhrnně za roky 2002–2006 ze všech tří pražských stanic

Tab. 10: Počty a procenta chybějících dat za jednotlivé roky 2002–2006 pro jednotlivé pražské stanice

Tab. 11: Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými veličinami pro období 19.–27. 7. a 2.–22. 8. let 2002–2006

Tab. 12: Spearmanovy korelační koeficienty mezi jednotlivými veličinami pro období 2.–22. 8. 2003

Tab. 13: Použité zkratky

Tab. 14: Relativní rizika a 95 % intervaly spolehlivosti pro celkovou úmrtnost (umrt_celk), úmrtnost z kardiovaskulárních příčin (umrt_kardio) a úmrtnost z respiračních příčin (umrt_resp) pro obě pohlaví dohromady, zvlášť pro muže a pro ženy v období 2. 8.–22. 8. 2003; 4. 8.–13. 8. 2003 a 19. 7.–27. 7. 2006.

Obr. 1: Teplotní anomálie průměrné, minimální a maximální teploty v červenci 2006 a červnu a srpnu 2003

Obr. 2: Rozmístění stanic měřících meteorologické ukazatele a stanic měřících koncentrace znečišťujících látek v Praze.

- Obr. 3:* Roční chod koncentrací O₃ v letech 2002–2006
- Obr. 4:* Roční chod koncentrací PM₁₀ v letech 2002–2006
- Obr. 5:* Roční chod koncentrací PM_{2,5} v letech 2003–2006
- Obr. 6:* Roční chod koncentrací NO₂ v letech 2002–2006
- Obr. 7:* Roční chod koncentrací NO_x v letech 2002–2006
- Obr. 8:* Roční chod koncentrací SO₂ v letech 2002–2006
- Obr. 9:* Roční chod koncentrací CO v letech 2002–2006
- Obr. 10:* Průběh maximální teploty (T_{max}) od 1. června do 31. srpna 2003
- Obr. 11:* Průběh maximální teploty (T_{max}) od 1. června do 31. srpna 2006
- Obr. 12:* Průměrné denní koncentrace O₃ v srpnu v letech 2002–2006
- Obr. 13:* Průměrné denní koncentrace O₃ v červenci v letech 2002–2006
- Obr. 14:* Průměrné denní koncentrace O₃ a průměrné denní teploty v srpnu 2003
- Obr. 15:* Průměrné denní koncentrace O₃ a průměrné denní teploty v červenci 2006
- Obr. 16:* Chod úmrtností z kardiovaskulárních (Dg I00–I99) a respiračních (Dg J00–J99) příčin a celková úmrtnost v letním období (1. dubna–30. září) pěti let (2002–2006).