

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

**Znečištění ovzduší přízemním ozonem v Olomouci  
v období let 1996–2005**

Diplomová práce

Bc. Jaromíra SKOČÍLKOVÁ

Studijní program: Matematika

Studijní obor: Učitelství geografie pro střední školy

Forma studia: prezenční

Vedoucí práce: RNDr. Martin JUREK, Ph.D.

Olomouc, 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací řešila samostatně a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu.

Ve Skutči, 1. 4. 2008

.....

Děkuji svému vedoucímu práce, panu RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a cenné rady a také děkuji svému manželovi Mgr. Martinu Skočílkovi nejen za pomoc při překladech cizojazyčných textů, ale hlavně za podporu po celou dobu práce.



**Vysoká škola:** Univerzita Palackého

**Fakulta:** Přírodovědecká

**Katedra:** Geografie

**Školní rok:** 2006/07

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student

*Jaromíra* **MÁROVÁ**

obor

**matematika-geografie**

### **Název práce:**

**Znečištění ovzduší přízemním ozonem v Olomouci v období let 1996–2005**

**Ground-level ozone air pollution in the city of Olomouc in 1996–2005**

### **Zásady pro vypracování:**

Cílem diplomové práce je vyhodnotit a popsat charakter znečištění venkovního ovzduší města Olomouce přízemním ozonem v letech 1996–2005 z dostupných dat měření koncentrací O<sub>3</sub> na stanicích olomouckého městského monitoringu kvality ovzduší (stanice Olomouc-hotel a Olomouc-Velkomoravská) a Zdravotního ústavu se sídlem v Olomouci (Olomouc-Šmeralova). Získané výsledky analýz prostorového rozložení koncentrací a jejich chodu v čase budou ohodnoceny ve vztahu k intenzitě silniční dopravy coby klíčovému zdroji prekursorů přízemního ozonu na území města.

Struktura práce:

1. Úvod a cíle práce.
2. Teoretická východiska studia znečištění ovzduší přízemním ozonem a zhodnocení dosud provedených studií pro město Olomouc.
3. Použitá data a metody zpracování.
4. Vlastní výsledky analýz datových řad, syntéza poznatků, diskuse.
5. Závěry práce.
6. Shrnutí (v angličtině).
7. Seznam použité literatury.

Diplomová práce bude zpracována v těchto kontrolovaných etapách:

- shromáždění podkladových dat (březen 2007)
- rešerše k teoretickým východiskům a metodám práce (duben 2007)
- analýza datových řad (říjen 2007)
- zpracování textové části a grafických příloh práce (březen 2008)

**Rozsah grafických prací:** grafy, tabulky, mapy

**Rozsah průvodní zprávy:** asi 20 000 slov základního textu + práce včetně všech příloh v elektronické podobě

**Seznam odborné literatury:**

Boubel, R. W. et al. 1994. *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Ed. San Diego, California, USA: Academic Press. ISBN 0-12-118930-9.

Griffin, R. D. 2007. *Principles of Air Quality Management*. 2nd Ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. ISBN 0-8493-7099-X.

Harrop, D. O. 2002. *Air Quality Assessment and Management : A Practical Guide*. London, UK: Spon Press. ISBN 0-415-23411-5.

Manahan, S. E. 2001. *Fundamentals of Atmospheric Chemistry*. 2nd Ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC. ISBN 156670491X.

Záznamy měřicích stanic kvality ovzduší  
Data ze sčítání dopravy v letech 1995, 2000 a 2005

**Časopisy:**

Ochrana ovzduší

Meteorologické zprávy

Atmospheric Environment

Atmospheric Chemistry and Physics

Science of the Total Environment

Water, Air, and Soil Pollution

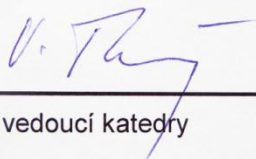
**Sborníky:**

Ovzduší '97, Ovzduší '99, Ovzduší 2001, Ovzduší 2003, Ovzduší 2005

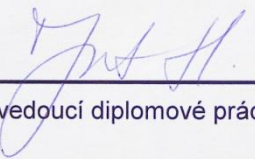
**Vedoucí diplomové práce:** Mgr. Martin Jurek

**Datum zadání diplomové práce:** 15. 11. 2006

**Termín odevzdání diplomové práce:** 15. 4. 2008



vedoucí katedry



vedoucí diplomové práce

# Obsah

Seznam tabulek .....	7
Seznam obrázků .....	8
Úvod .....	11
1 Cíle práce .....	12
2 Použitá data a metody zpracování .....	13
2.1 Použitá vstupní data .....	13
2.2 Metody zpracování .....	15
3 Přízemní ozon jako znečišťující látka .....	17
3.1 Ozon v atmosféře .....	17
3.2 Vliv dopravy na kvalitu ovzduší měst .....	24
3.3 Ochrana ovzduší před přízemním ozonem v ČR .....	29
3.4 Sledování kvality ovzduší v Olomouci .....	34
4 Výsledky práce .....	36
4.1 Intenzita dopravy ve městě .....	36
4.2 Průměrné měsíční koncentrace O <sub>3</sub> v Olomouci .....	36
4.3 Průměrné měsíční koncentrace NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Olomouci .....	41
4.4 Denní chod koncentrací O <sub>3</sub> a NO <sub>2</sub> .....	49
4.5 Vliv synoptických situací na denní chod koncentrací O <sub>3</sub> .....	54
4.6 Sluneční záření a koncentrace ozonu v Olomouci .....	56
4.7 Hodnocení závislosti průměrné denní teploty a průměrných denních koncentrací O <sub>3</sub> .....	60
4.8 Hodnocení závislosti průměrných denních koncentrací NO <sub>2</sub> a O <sub>3</sub> .....	61
5 Závěr .....	64
6 Shrnutí .....	66
7 Summary .....	68
8 Použitá literatura .....	70
9 Seznam příloh .....	74

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b> Přehled vybraných stanic a získaných dat průměrných denních koncentrací O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> .....	14
<b>Tab. 2</b> Významné vlivy na zdraví lidí ve vztahu k expozicím různým znečišťujícími látkám, které jsou obsažené v ovzduší (Health Aspects of Air Polluton-WHO) .....	21
<b>Tab. 3</b> Prahové koncentrace škodlivých účinků přízemního ozonu na lidský organismus (Ozon im Blickpunkt) .....	22
<b>Tab. 4</b> Infrastruktura silniční dopravy v km v ČR od roku 1995 do roku 2000 (Ročenka dopravy).....	24
<b>Tab. 5</b> Infrastruktura silniční dopravy v km v ČR od roku 2001 do roku 2006 (Ročenka dopravy).....	25
<b>Tab. 6</b> Emise oxidu dusíku (NO <sub>x</sub> ) v letech 1996-2010 (Adamec, Dufek: Centrum dopravního výzkumu v Brně) .....	27
<b>Tab. 7</b> Emisní bilance hlavních znečišťujících látek v ČR v roce 1990 (Machálek: ČHMÚ).....	31
<b>Tab. 8</b> Emisní bilance hlavních znečišťujících látek v ČR v roce 1999 (Machálek: ČHMÚ).....	32
<b>Tab. 9</b> Srovnání emisí ČR a Evropy (Machálek: ČHMÚ).....	33

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b> Stanice Olomouc-Velkomoravská (vlevo) a Olomouc-Šmeralova (vpravo) (Foto: J. Skočilková, 9. 4. 2008) .....	13
<b>Obr. 2</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (data z ISKO)... ..	37
<b>Obr. 3</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996-1998 a 2002-2003 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	38
<b>Obr. 4</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	38
<b>Obr. 5</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (data z ISKO)... ..	40
<b>Obr. 6</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996-1998 a 2002-2003 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	40
<b>Obr. 7</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	41
<b>Obr. 8</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace NO <sub>2</sub> naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (data z ISKO).....	42
<b>Obr. 9</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace NO <sub>x</sub> naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (data z ISKO).....	43
<b>Obr. 10</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční hodnoty NO <sub>2</sub> naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	44
<b>Obr. 11</b> Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace NO <sub>x</sub> naměřené v letech 1996-1998 a 2002 na stanici Olomouc-Hotel (data z ISKO) .....	45
<b>Obr. 12</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace NO <sub>2</sub> naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (data z ISKO).....	46



<b>Obr. 13</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace NO <sub>2</sub> naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z ISKO a Magistrátu města Olomouce) .....	47
<b>Obr. 14</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace NO <sub>x</sub> naměřené na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996-2005 (data z ISKO).....	48
<b>Obr. 15</b> Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace NO <sub>x</sub> naměřené v letech 1996-1998, 2002 na stanici Olomouc-Hotel (data z ISKO) .....	48
<b>Obr. 16</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací O <sub>3</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (data z Magistrátu města Olomouce).....	49
<b>Obr. 17</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací O <sub>3</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce).....	50
<b>Obr. 18</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací NO <sub>2</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené v roce 2003 na stanici Olomouc-Hotel (data z Magistrátu města Olomouce).....	51
<b>Obr. 19</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací NO <sub>2</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené v letech 2004-2006 na stanici Olomouc-Velkomoravská (data z Magistrátu města Olomouce).....	51
<b>Obr. 20</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací O <sub>3</sub> ve dnech pracovního týdne a o víkendu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (data z Magistrátu města Olomouce).....	53
<b>Obr. 21</b> Denní chod průměrných hodinových koncentrací O <sub>3</sub> ve dnech pracovního týdne a o víkendu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	53
<b>Obr. 22</b> Četnost synoptických situací v letech 2002-2006 nad územím České republiky (podklady z ČHMÚ, online).....	54
<b>Obr. 23</b> Roční chod extraterestrálního (Ra) a globálního (Rs) slunečního záření v průběhu let 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	57
<b>Obr. 24</b> Korelace hodnot Rs a průměrných denních koncentrací O <sub>3</sub> na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce).....	58

<b>Obr. 25</b> Korelace hodnot $R_s$ a maximálních denních koncentrací $O_3$ na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	58
<b>Obr. 26</b> Korelace hodnot $R_s$ a průměrných denních koncentrací $NO_2$ na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	59
<b>Obr. 27</b> Korelace hodnot $R_s$ a maximálních denních koncentrací $NO_2$ na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	59
<b>Obr. 28</b> Korelace průměrných denních koncentrací $O_3$ a průměrné denní teploty na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	60
<b>Obr. 29</b> Korelace průměrných denních koncentrací $O_3$ a průměrné denní teploty na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	61
<b>Obr. 30</b> Korelace průměrných denních koncentrací $NO_2$ a $O_3$ na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996-2005 (data z ISKO) .....	61
<b>Obr. 31</b> Korelace průměrných denních koncentrací $NO_2$ a $O_3$ na stanici Olomouc-Hotel v roce 2003 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	62
<b>Obr. 32</b> Korelace průměrných denních koncentrací $NO_2$ a $O_3$ na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (data z Magistrátu města Olomouce) .....	63

# Úvod

V posledních letech stále více lidí projevuje aktivní zájem o to, aby vzduch, který dýchají, byl co nejčistší. Vede je k tomu mimo jiné stále se zvyšující podíl nemocných s dýchacími potížemi. Byl by omyl myslet si, že než se o tomto problému začalo mluvit, byl vzduch bez škodlivých látek. V případě krajiny zatížené odpady a dalšími negativními projevy lidské činnosti byly vlivy zřejmé na první pohled. Znečištění ovzduší bývá vidět jen v těch nejzávažnějších situacích, ale přitom i okem neviditelné znečištění dokáže narušit lidské zdraví.

Přízemní ozon nepatřil mezi monitorované látky hned od počátku sledování kvality ovzduší. V první fázi se pozornost soustředovala na průmyslové exhalace oxidu siřičitého a popílku. Vysoké koncentrace přízemního ozonu vznikají zejména během slunečných dnů ve vazbě na hustý silniční provoz. Fenomén fotochemického smogu se poprvé naplno projevil v Los Angeles ve čtyřicátých letech 20. století. Později se ukázalo, že přízemní ozon netrápí pouze obyvatele velkoměst, ale snadno se přenáší i do oblastí dosti vzdálených od sídelních aglomerací.

Za zvyšováním koncentrací přízemního ozonu lze jako příčinu vidět zvyšující se objem emisí ze silniční dopravy a výroby energie. Vlastnit osobní automobil a nebýt tak závislý na hromadné dopravě se stalo očekávanou součástí vyspělého životního standardu, ale vybírá si svou daň na životním prostředí. Pouze zlomek populace vede individuální zodpovědnost za tyto dopady k aktivním zásahům do životního stylu. Instituce pověřené ochranou životního prostředí činí nezbytné kroky k regulaci dopadů emisí do ovzduší na zdraví obyvatel a ekosystémů systémem zákonů a navazujících legislativních opatření. V České republice je tímto úkolem primárně pověřeno ministerstvo životního prostředí, přičemž současná česká legislativa se i v otázkách ochrany ovzduší podřizuje platným směrnici Evropské unie.

I když město Olomouc nepatří mezi přízemním ozonem nejkritičtěji zatížená místa v ČR, nelze celkový stav imisí této sekundární znečišťující látky hodnotit jako příznivý. Bližší rozbor výstupů dosavadních měření si jistě zaslouží naši pozornost.

# 1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit a popsat charakter znečištění venkovního ovzduší na území města Olomouce přízemním ozonem v období let 1996 až 2005. K analýze byly vybrány celkem tři stanice – ze sítě městského monitoringu kvality ovzduší to jsou dopravně zatížené lokality Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská. Třetí stanice Olomouc-Šmeralova, spravovaná Zdravotním ústavem se sídlem v Olomouci, se nachází v dopravně klidnější části města. Analyzovaná data pocházejí z databáze Informačního systému kvality ovzduší (ISKO, spravuje Český hydrometeorologický ústav) a z archivu Magistrátu města Olomouce.

Při zkoumání dané problematiky jsou zohledněna i data o koncentracích  $\text{NO}_2$ , popř. koncentrace  $\text{NO}_x$ , která s cyklem vzniku přízemního ozonu bezprostředně souvisí. Do podrobných analýz jsou zahrnuta i dílčí meteorologická data, a to chod teploty vzduchu coby indikátor intenzity slunečního záření a charakter povětrnostních situací. Analyzován je také vliv rozdílného charakteru dopravní zátěže během jednotlivých dnů v týdnu s cílem vysledovat rozsah tzv. víkendového efektu na úroveň koncentrací přízemního ozonu.

## 2 Použitá data a metody zpracování

### 2.1 Použitá vstupní data

Základní vstupní data o koncentracích znečišťujících látek poskytl ČHMÚ, který na požádání zaslal z databáze ISKO údaje o průměrných denních koncentracích  $O_3$ ,  $NO_2$  a  $NO_x$  ze stanic Olomouc-Hotel, Olomouc-Šmeralova a Olomouc-Velkomoravská za období 1996–2005. Rozsah dat se přitom individuálně omezil na intervaly, kdy měření na dané stanici probíhala a mohla být ve verifikované podobě přejata do databáze. Další vstupní data poskytl Magistrát města Olomouce, konkrétně odbor životního prostředí, oddělení ochrany ovzduší. Statistiky o intenzitě dopravy byly vyžádány na Ředitelství silnic a dálnic ČR.

**Obr. 1** Stanice Olomouc-Velkomoravská (vlevo) a Olomouc-Šmeralova (vpravo)



Foto: J. Skočilková, 9. 4. 2008

Stanice Olomouc-Šmeralova se nachází v areálu vysokoškolských kolejí na ulici Šmeralově a jedná se o pozadřovou stanici v městské obytné zóně, s automatizovaným měřicím programem. V lokalitě Olomouc-Hotel byla umístěna dopravní stanice v předměstské obytně-obchodní zóně, rovněž s automatizovaným měřicím programem, s polohou v těsném sousedství mimoúrovňové křižovatky dvou dopravně velmi zatížených komunikací (tranzitní tah městem ve směru od Ostravy na Hradec Králové se zde kříží s komunikací směřující z centra města na Prostějov a Brno). Růstový vývoj přílehlé městské zeleně si vynutil přemístění této měřicí lokality o zhruba 1,3 km východním směrem podél jedné ze zatížených komunikací, do areálu středního odborného učiliště na ulici Velkomoravské. Lokalita Olomouc-Velkomoravská je opět dopravní stanicí, a to v městské obytné zóně s automatizovaným měřicím programem, který navazuje na měření v lokalitě Olomouc-Hotel.

**Tab. 1** Přehled vybraných stanic a získaných dat průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>

	Olomouc-Šmeralova			Olomouc-Hotel			Olomouc-Velkomoravská		
1996	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>		NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>			
1997	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>		NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>			
1998	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>		NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>			
1999	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>						
2000	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>						
2001	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>						
2002	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>		NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>			
2003	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>			
2004	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>				NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>
2005	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>				NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>
2006							NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>

Zatímco průměrné denní koncentrace znečišťujících látek byly dostupné z celého rozsahu měření jednotlivých stanic (viz tab. 1), k podrobnějším analýzám denního chodu koncentrací, založeným na hodinových průměrech, byla k dispozici z Magistrátu města Olomouce pouze data od roku 2002. Z předchozích let se v archivu nacházely jen tištěné ročenky s denními průměry (shodně s ISKO). Vzhledem k takto krátkému období byla do analýz denního chodu koncentrací zahrnuta i verifikovaná data za rok 2006 (pro rok 2007 mají být verifikovaná data dostupná až po termínu dokončení této diplomové práce). Vedle hodinových koncentrací analyzovaných znečišťujících

látek byly využity také údaje o teplotě vzduchu, měřené na stanici Olomouc-Velkomoravská ve výšce 2 m nad zemí.

Pro veškerou analýzu a zpracování dat je použit počítačový program Microsoft Office Excel 2007, který je součástí softwarového produktu Microsoft Office 2007 pro studenty a domácnosti.

## **2.2 Metody zpracování**

V první fázi hodnocení vývoje znečištění venkovního ovzduší přízemním ozonem v Olomouci v letech 1996–2005 je analyzován roční chod průměrných, maximálních a minimálních koncentrací (denních) přízemního ozonu,  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , a to jednak za celé sledované období, doplňkově pak podle jednotlivých let. Dále je provedeno vyhodnocení pro jednotlivé měsíce kalendářního roku.

V další části analýz jsou hodnoceny koncentrace posuzovaných znečišťujících látek podle jednotlivých dnů v týdnu (pondělí až neděle) a ve skupinách pracovní dny (pondělí–pátek) a víkend (sobota a neděle).

Dále jsou denní průměry znečišťujících látek roztríděny a vyhodnoceny podle výskytu typů synoptických situací, jak je uvádí Katalog povětrnostních situací ČHMÚ dostupný na webových stránkách ČHMÚ.

Předposledním krokem analýz je hodnocení závislosti denního chodu koncentrací ozonu na intenzitě slunečního záření. Protože přímá data o intenzitě slunečního záření nebyla na uvedených stanicích k dispozici, byly využity naměřené údaje o teplotě vzduchu. Jejich denní chod, zejména pak teplotní amplituda (rozdíl maxima a minima teploty vzduchu), zprostředkovaně vyjadřuje intenzitu prohřívání přízemní vrstvy vzduchu slunečním zářením. Je ovšem přitom brát ohled na skutečnost, že denní chod teploty vzduchu není ovlivněn pouze denním chodem intenzity slunečního záření, ale nezanedbatelný vliv může mít také advekce vzduchových hmot či přechod frontálního rozhraní. Obecně rozdílný přitom je rozsah teplotních amplitud v různých částech roku. V odborné literatuře lze dohledat metody, které odvozují denní úhrn slunečního záření z extraterestrální insolace a teplotní amplitudy. Tímto stanovením se zabýval např. Chineke (2008) nebo Meza a Varas (2000). Na základě jejich prací byl zvolen níže uvedený postup odhadu celkového denního úhrnu globálního slunečního záření.

Pro dané místo na zvolené zeměpisné šířce  $\varphi$  se v daný pořadový den roku (tzv. *juliánské datum*, počítá se od 1. ledna kalendářního roku ve vzestupné řadě přirozených čísel 1, 2, ... až 365, resp. nebo 366 pro 31. prosince) určí hodnota extraterestrální radiace  $R_a$  v následujících dílčích krocích:

Určení deklinace Slunce ze vzorce:

$$DEL = 23,45^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} \times \sin \frac{2\pi(284 + \text{juliánské datum})}{365}$$

Výpočet hodinového úhlu Slunce v okamžiku západu za obzor podle vzorce:

$$WS = \arccos(-\tan \varphi \times \tan DEL)$$

Výpočet faktoru vzdálenosti Země od Slunce podle vzorce:

$$DF = 1 + 0,033 \times \cos \frac{2\pi \times \text{juliánské datum}}{365}$$

Výpočet denního úhrnu extraterestrálního slunečního záření  $R_a$  (v jednotkách  $\text{J/m}^2/\text{den}$ ):

$$R_a = \frac{86400}{\pi} \times 1367 \times DF \times (\cos \varphi \times \cos(DEL) \times \sin(WS) + WS \times \sin \varphi \times \sin(DEL))$$

Denní úhrn globálního slunečního záření  $R_s$  (v jednotkách  $\text{J/m}^2/\text{den}$ ) se pak odvodí z  $R_a$  a z denní amplitudy teploty vzduchu  $\Delta t$  podle následujícího empirického vztahu:

$$R_s = 0,16 \times R_a \times \sqrt{\Delta t}$$

V závěrečné fázi analýz jsou posouzeny korelace  $R_s$  a přízemního ozonu a  $R_s$  a  $\text{NO}_2$ , a to jednak s průměrnými denními koncentracemi, jednak s maximálními denními koncentracemi uvedených sloučenin.

Práci uzavírá analýza závislosti průměrných denních teplot a průměrných denních koncentrací  $\text{O}_3$  a závislosti koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{O}_3$ .



## 3 Přízemní ozon jako znečišťující látka

### 3.1 Ozon v atmosféře

Ozon je alotropickou modifikací kyslíku. Tvoří jej trojatomární molekuly  $O_3$ , chemicky mnohem méně stabilní než dvouatomární modifikace kyslíku  $O_2$  (Timonen, 1988). Ozon je za standardní teploty a tlaku namodralý plyn s charakteristickým zápachem. Při teplotě  $-111,9\text{ °C}$  přechází v tmavomodrou kapalinu a při teplotách pod  $-192,5\text{ °C}$  se mění ve fialovočernou pevnou látku. Lidský čich dokáže rozeznat výskyt ozonu od prahové koncentrace přibližně  $0,0036\text{--}0,0076\text{ ppm}$  (Röth, 1994).

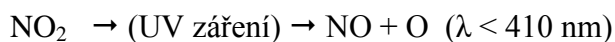
Ozon objevil v roce 1840 německý vědec Christian Friedrich Schönbein při pokusech s elektrolýzou zředěné kyseliny sírové (Encyklopedie Diderot, 1999). Pojmenování nového plynu odvodil z řeckého slova *ozein* („zapáchat“). Schönbein zjistil, že tato látka vzniká i při elektrických výbojích. Zaregistroval totiž její přítomnost pachem při bouřce.

Ozon se vyskytuje ve dvou různých výškových vrstvách atmosféry. Ve stratosféře se nalézá asi 90 % celkového množství atmosférického ozonu (kde vytváří tzv. ozonosféru), zbylých 10 % se nachází v troposféře – odtud označení troposférický, nebo též přízemní ozon.

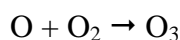
Roku 1857 zkonstruoval vědec Werner von Siemens přístroj, který produkuje ozon při pomalém elektrickém výboji. Dokonce se mu podařilo vyrobit ozon ve větším množství. Roku 1865 byl ozon identifikován i J. L. Soretim z Basileje. O šest let později změřil Walter Hartley v ultrafialové oblasti světla ozonové spektrum mezi 200 až 300 nm. V roce 1881 došel W. Hartley při zkoumání atmosféry k důležitému objevu, když potvrdil nezbytnost přítomnosti ozonu ve stratosféře (Röth, 1994).

První měření koncentrace ozonu v ovzduší proběhlo již v roce 1860 (Röth, 1994). Při měřeních prováděných v letech 1876–1906 v observatoři Montsouris v Paříži byly zaznamenány koncentrace přízemního ozonu kolem průměrné hodnoty  $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Ozon im Blickpunkt, on-line). Na sklonku 19. století se pozornost vědců soustředila k stratosférickému ozonu. Teprve od šedesátých let 20. století se začal dostávat do popředí ozon přízemní.

A. Haagen-Smit zjistil, že k tvorbě přízemního ozonu nejvíce přispívá oxid dusičitý  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_2$  absorbuje sluneční světlo ze spektra kolem 410 nm a je tímto rozštěpen:

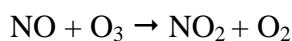


Uvolněný atom kyslíku společně okamžitě reaguje s dvouatomární molekulou kyslíku a vytváří tříatomární molekulu ozonu:

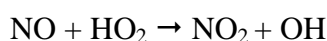


Při této reakci se uvolňuje reakční energie, která je odváděna pryč prostřednictvím doprovodné reakční molekuly, která uvolněnou energii mění na kinetickou.

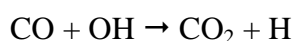
Kromě vzniku molekul ozonu dochází také k jejich odbourávání, a to ve zpětné reakci s  $\text{NO}$ , kdy se ozon opět rozpadá:



Z výše popisovaných chemických reakcí vyplývá, že koncentrace ozonu a oxidů dusíku se vzájemně ovlivňují v uzavřeném reakčním cyklu, který má tendenci dosáhnout fotostacionárního stavu (Boubel et al., 1994).  $\text{NO}$ , který v tomto cyklu stojí za rozpadem ozonu, ovšem může reagovat také s jinými sloučeninami. Tyto konkurenční reakce pak způsobují, že se odbourává málo ozonu. Těmito jinými sloučeninami jsou především organické peroxidy a  $\text{HO}_2$ -radikály. Při reakci  $\text{NO}$  s  $\text{HO}_2$ -radikálem vzniká  $\text{NO}_2$  a  $\text{OH}$ :



Radikál  $\text{OH}$  reaguje dále s  $\text{CO}$ , což vede ke vzniku  $\text{CO}_2$  a cyklické tvorbě  $\text{HO}_2$ :



$\text{NO}$  je tedy oxidován na  $\text{NO}_2$  bez rozpadu ozonu, jehož koncentrace následně narůstají. Přítomnost  $\text{CO}$  a  $\text{HO}_2$ -radikálů úzce souvisí s emisemi ze spalovacích motorů, tedy především s automobilovou dopravou.

Zprvu se vědci domnívali, že přízemní ozon se vyskytuje pouze v tropických a subtropických zeměpisných šířkách a při vysoké intenzitě slunečního záření, jak tomu bylo například v Los Angeles (Tilling, 1992). Když byly ale zvýšené koncentrace ozonu naměřeny i ve městech mírných zeměpisných šířek, došlo k vyvrácení tohoto omylu. Ukázalo se, že se přízemní ozon nachází především v průmyslových oblastech. Toto

zjištění zároveň zpochybnilo domněnky, že hlavním zdrojem ozonu v troposféře je přenos prouděním ze stratosféry přes tropopauzu.

Znečištění ovzduší v lokálním měřítku závisí na celé řadě faktorů. Zejména na typu a množství emisních zdrojů, na reliéfu a také na meteorologických podmínkách lokality.

V roce 1952 bylo A. Haagenem-Smitem poprvé vysloveno slovo smog v přímé souvislosti s přízemním ozonem. Tento pojem je složený z anglických slov **smoke** (kouř) a **fog** (mlha). Smog samotný se dělí na dva typy: zimní a letní. Zimní smog (redukční smog neboli smog londýnského typu) obsahuje směs primárních znečišťujících látek, které se do ovzduší dostávají zejména v souvislosti s vytápěním fosilními palivy: jedná se o SO<sub>2</sub>, prašný aerosol (SPM z anglického termínu suspended particulate matter), dále CO, NO<sub>2</sub> a různé organické složky (Říha, 2005). Na území České republiky se v zimních měsících vyskytne obvykle několik epizod, při kterých koncentrace znečišťujících látek nabývají vysokých hodnot. Zejména v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století byla nad územím ČR v souvislosti s výskytem zimních anticyklon typická vysoká úroveň znečištění oxidem siřičitým a prašným aerosolem. Zvýšená úroveň znečištění ovzduší se při takových situacích projevovala prakticky na celém území České republiky, s výjimkou vyšších poloh.

Tzv. fotochemický smog, smog oxidační, letní či smog losangeleského typu, je jiným druhem smogu. Tento jev se vyskytuje zejména v letním období. Látky, které jej tvoří, vznikají fotochemickými reakcemi a mají silné oxidační účinky. Poprvé byl popsán v oblasti Los Angeles v USA, kde vzniká v důsledku značného dopravního zatížení města a intenzivního slunečního záření. Podstatnou složkou oxidačního smogu a současně jeho významným indikátorem je přízemní ozon. Přízemním ozonem jsou zatíženy zejména oblasti ležící v závětrí velkých městských a průmyslových aglomerací. Vysoké koncentrace jsou ale měřeny i na horských stanicích (v důsledku zvyšující se intenzity sluneční radiace s rostoucí nadmořskou výškou).

Ozon má silné oxidační vlastnosti. Oxiduje téměř všechny kovy až k nejvyšším oxidačním stupňům, proto vysoké koncentrace přízemního ozonu přispívají k únavě materiálů. Přízemní ozon má nežádoucí účinky také na zemědělské plodiny. Působením ozonu na rostliny se narušuje chlorofyl v listech, což vede k výraznému žloutnutí listů. Při překročení koncentrace 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  může u obilí snížit úrodu až o 50 % (Ozon im Blickpunkt, on-line).

Mnohem závažnější oxidační účinek přízemního ozonu je však při vlivu na lidské zdraví. Ozon urychluje oxidaci lidských tkání. Je velice špatně rozpustný ve vodě, proto není zachytáván hlenem v dýchacích cestách a dostává se až do alveol, kde ničí plicní tkáň. Plíce reagují zvýšením tvorby hlenu a zúžením hrtanu. Po třech až šesti dnech vystavení vysokým koncentracím ozonu tento obranný mechanismus ochabuje a člověk přestává cítit jakékoliv symptomy působení ozonu. Se snížením tvorby hlenu může ozon proniknout hlouběji do tkání.

Mimo poškozování plic dráždí vysoká koncentrace ozonu i oči, což se v první fázi projevuje nepříjemným pálením očí. Při dlouhodobém vlivu může docházet i ke zhoršování zraku.

Podrobnější popis účinků na lidské zdraví podává například Symon et al. (1988) nebo studie „Health Aspects of Air Polluton“ vydaná v červnu 2004 Regionální kanceláří Světové zdravotnické organizace (WHO) v Kodani.

Expozice znečištěného venkovního ovzduší má za následek značné množství různých zdravotních potíží, počínaje mírnými přechodnými změnami v respiračním traktu a zhoršenou funkcí plic, přes snížení výkonu, nutnost vyhledání první pomoci až po hospitalizaci nebo dokonce úmrtí. Roste množství důkazů o negativních účincích znečištění ovzduší nejen na respirační, ale i na kardiovaskulární systém. Tyto důkazy vyplývají z vědeckých prací zabývajících se jak akutní, tak i chronickou expozicí.

Mezi nejzávažnější účinky (z hlediska celkového zdravotního zatížení), které mají vztah k dlouhodobé expozici vysokým hladinám polévatého prachu, patří významné zkrácení předpokládané délky života průměrné populace (o rok či více). Výběr významných vlivů znečištění ovzduší na zdraví člověka je uveden v tabulce 2.

Podle WHO jsou hodinové koncentrace přízemního ozonu  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  příčinou podráždění očí, nosu a jícnu, bolesti na hrudi, kašle a bolesti hlavy. Ohrožení při koncentracích  $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  představují hlavně záněty dýchacích cest a dále změny funkce plic. Při koncentracích přízemního ozonu mezi hodnotami 300 až  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  se může poškodit mechanismus funkce plic a dále způsobit u citlivých jedinců respirační a jiné problémy (Harrop, 2002).

Denní chod ozonu se liší podle lokality v závislosti na faktorech ovlivňujících tvorbu ozonu, jeho přenos a rozklad (ráno trvá určitou dobu, než dojde k rozvinutí fotochemických procesů). Sezónní chod je ovlivněn zejména změnami meteorologických procesů. Nejvyšší koncentrace jsou pozorovány ve 2. a 3. čtvrtině

roku, tedy v dubnu a září (Říha, 2005). Prostorové rozložení koncentrací ozonu je celkem rovnoměrné (ověřeno údaji ze zahraničních monitorovacích sítí a leteckými měřeními v malých výškách nad územím České republiky prováděných ČHMÚ).

**Tab. 2** Významné vlivy na zdraví lidí ve vztahu k expozicím různým znečišťujícím látkám, které jsou obsažené v ovzduší

Znečišťující látka	Účinky vztažené ke krátkodobému vystavení se znečišťujícím látkám	Účinky vztažené k dlouhodobému vystavení se znečišťujícím látkám
Prachové částičky/ Polévatý prach	Onemocnění plic	Zvýšení respiračních příznaků dolních dýchacích cest
	Respirační příznaky	Pokles plicních funkcí u dětí
	Nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém	Zvýšení počtu chronických obstruktivních onemocnění plic
	Zvýšené používání léčiv	Pokles plicních funkcí u dospělé populace
	Zvýšení počtu hospitalizací	Snížení předpokládané průměrné délky života – převážně v důsledku úmrtnosti vztažené k srdečním a plicním onemocněním a pravděpodobně také k rakovině plic
	Zvýšení úmrtnosti	
Přízemní ozon	Nepříznivé účinky na funkci	Snížení vývoje funkce plic
	Zánětlivá onemocnění plic	
	Nepříznivý vliv na respirační příznaky	
	Zvýšené používání léčiv	
	Zvýšení počtu hospitalizací ve zdravotnických zařízeních	
	Zvýšení úmrtnosti	
Oxid dusičitý *	Účinky na plicní funkce, především u lidí postižených astmatickým onemocněním	Pokles plicních funkcí
	Zvýšení zánětlivých alergických reakcí dýchacích	Zvýšená pravděpodobnost respiračních příznaků
	Zvýšení počtu hospitalizací ve zdravotnických zařízeních	
	Zvýšení úmrtnosti	
* Oxid dusičitý obsažený ve venkovním ovzduší slouží jako indikátor pro komplexní směsici znečištění ovzduší, které je způsobené převážně dopravou.		

Pramen: Health Aspects of Air Polluton (WHO), 2004

**Tab. 3** Prahové koncentrace škodlivých účinků přízemního ozonu na lidský organismus

Koncentrace ozonu ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Působení na lidský organismus
do 50	Zápach
60	U citlivých jedinců dochází k nevysvětlitelné únavě
90	Dráždivý kašel a pálení očí
120	Častější záněty plic u seniorů
150	Nástup astmatických záchvatů
160	Záněty dýchacích cest
200	Přibývání astmatických záchvatů, aktivování imunitního systému
240	Varování pro alergiky – nutnost klidového stavu

Pramen: Ozon im Blickpunkt (on-line)

K přízemnímu ozonu jsou rostliny velmi citlivé, jak už bylo popsáno výše. Největší riziko nesou dlouho rostoucí zemědělské plodiny a lesní ekosystémy (Vysoudil, 2002). V Ochráně ovzduší 3/2007 byl zveřejněn článek o zkoumání vlivu nadmořské výšky na koncentrace přízemního ozonu. Doc. Ing. Miloš Zapletal, Dr. a Bc. Petr Chroust z EKOTOXY s.r.o. Opava vytvořili projekt, zabývající se depozičním tokem do lesních ekosystémů na území České republiky, který by měl přesvědčit veřejnost o nutnosti zavést nové prostorově diferencované kritické limity pro ozon. Tyto limity jsou v současnosti navrhované v rámci výzkumných aktivit UNECE CLRTAP.

Pro tento projekt byla použita data z dvaceti venkovských stanic ČHMÚ a z jedné stanice patřící přímo společnosti EKOTOXA s.r.o. Zkoumáno bylo: rychlost větru, globální záření, teplota vzduchu a relativní vlhkost. Na konci projektu byl nalezen vztah mezi hodnotami koncentrací přízemního ozonu a nadmořskou výškou. Denní cyklus ozonu totiž v letní periodě (od dubna do září) ukazuje, že v průběhu odpoledních hodin má mnoho monitorovacích stanic ve stejném regionu, které nejsou od sebe vzdálené více než 100 km, podobné koncentrace přízemního ozonu. A to i přesto, že se jejich nadmořské výšky výrazně liší. Tento jev byl pak pozorován na celém území České republiky. Velmi podobné koncentrace v průběhu odpolední periody s nejučinnějším vertikálním promícháváním na sousedních stanicích ukazují, že v průběhu této periody jsou data o imisních koncentracích ozonu z venkovských

monitorovacích stanic reprezentativní pro mnohem větší geografická území než v průběhu noci.

Posledním jejich poznatkem bylo, že vstup ozonu do lesních ekosystémů ovlivňuje samotná vegetace. Nejpříhodnější doba je v průběhu dne. Depoziční tok ozonu do vegetace se provádí ve dvou fázích. Tou první je turbulentní difuzní přenos ozonu z ovzduší na povrch listů a jehlic. Druhou fází je příjmový mechanismus listů a jehlic, který je dále ovlivňován např. velikostí listů a jehlic.

V období let 2002–2004 bylo provedeno ČHMÚ sledování překračování imisních limitů pro přízemní ozon. K této situaci došlo celkem na 16 měřících stanicích. Cílový imisní limit je definován jako maximální denní osmihodinový klouzavý průměr a je roven hodnotě  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , přičemž tato hodnota nesmí být překročena ve více než 25 dnech za kalendářní rok, v průměru za tři roky. V tomto případě průměr počtu překročení za uvažované tři roky přesáhl povolenou mez 25 dnů na 49 stanicích z celkového počtu 75 stanic. V roce 2002 byla koncentrace  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  překročena ve více než 25 dnech celkem na 31 stanicích, v roce 2003 na 43 stanicích a v roce 2004 na 12 stanicích. Vyšší počet stanic v roce 2003 byl způsoben dlouhotrvajícími vysokými teplotami, vysokými hodnotami slunečního záření a významným výskytem sucha v letním období. Stanice, kterých se tato situace týká a na kterých byl překročen speciálně limit pro ozon, jsou tyto: Krkonoše-Rýchory, Šerlich, Churáňov, Rudolice v Horách, Přebuz, Mikulov-Sedlec, Hodonín, Bílý Kříž, Přimda, Brno-Tuřany, Žďár nad Sázavou, Košetice, Jeseník, Souš, Svratouch a Litoměřice (Novák, Prošková, 2005).

V květnu 2006 byl v časopise Ochrana ovzduší otištěn článek zabývající se tematikou znečištění ovzduší v jednotlivých aglomeracích naší vlasti v roce 2005. Autorkou byla Ing. Jana Ostatnická z ČHMÚ. Došla k závěru, že nejzávažnějšími znečišťujícími látkami ovzduší v aglomeracích, stejně jako v dalších oblastech Česka, jsou částice  $\text{PM}_{10}$ , benzo(a)pyren a právě přízemní ozon. V oblastech zatížených dopravou pak ještě látka  $\text{NO}_2$ . Na celém území republiky byl v roce 2005 podle ČHMÚ překračován cílový limit pro přízemní ozon. V aglomeracích Praha a Brno, stejně jako v jiných dopravou zatížených lokalitách, je přízemní ozon v důsledku vyšších koncentrací oxidu dusíku rychleji odbouráván a jeho koncentrace nedosahují tak vysokých hodnot. V Praze je překračován cílový limit na 66 % území, v Brně na 77 % území v hodnocení za rok 2005. V aglomeraci Moravskoslezské je situace jiná. Jsou zde místa méně dopravně zatížená a naopak se tu vyskytují oblasti s vyšší nadmořskou

výškou. Překračování cílového limitu nastává na téměř 99 % území Moravskoslezské aglomerace (Ostatnická, 2006).

### 3.2 Vliv dopravy na kvalitu ovzduší měst

Nejrozšířenějším zdrojem znečištění ovzduší je pět skupin primárních škodlivin, a to oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), těkavé sloučeniny (VOC) a celkové rozptýlené pevné částice (TSP nebo SPM). Další významná škodlivina je olovo z olovnatého benzínu pro automobily.

V posledních letech můžeme registrovat změny palivové základny a systémů používaných pro vytápění. Ty se příznivě projeví na kvalitě ovzduší v sídelních aglomeracích. Tento kladný vývoj byl však rychle překryt důsledky zvyšujících se objemů silniční dopravy (Keder a kol., 2004). Podle Statistiky dopravy bylo v ČR v roce 1995 registrováno 3 043 316 osobních vozidel a 202 929 vozidel nákladních. V roce 2006 to už ale bylo 4 108 610 osobních a 468 282 nákladních vozidel (Ministerstvo dopravy ČR, online).

V tabulkách 4 a 5 máme vývoj infrastruktury dopravy v km v ČR od roku 1995 do roku 2006. Jak vidíme, délka komunikací celkem se nijak výrazně po toto sledované období nezměnila. Rozdíl je pouze v délce dálnic, která neustále vzrůstá. Další nápadné změny v délkách jednotlivých typů silnic jsou způsobeny tím, že v roce 1997 došlo ke změně číslování silnic I., II. a III. třídy.

**Tab. 4** Infrastruktura silniční dopravy v km v ČR od roku 1995 do roku 2000

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Délka silnic a dálnic celkem	55500	55511	55394	55394	55432	55408
Dálnice v provozu	414	423	486	499	499	499
Silnice	55086	55088	54908	54895	54933	54909
v tom silnice I. tř.	6459	6460	6264	5993	6005	6031
v tom silnice II. tř.	14273	14270	14362	14660	14686	14688
v tom silnice III. tř.	34354	34358	34283	34242	34242	34190
Místní komunikace	66449	70520	72300	72300	72300	72300

Pramen: Ročenka dopravy, online



**Tab. 5** Infrastruktura silniční dopravy v km v ČR od roku 2001 do roku 2006

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Délka silnic a dálnic celkem	55427	55422	55447	55500	55510	55585
Dálnice v provozu	518	518	518	546	564	633
Silnice	54909	54904	54929	54953	54945	54952
v tom silnice I. tř.	6090	6102	6121	6156	6154	6174
v tom silnice II. tř.	14636	14668	14667	14669	14668	14660
v tom silnice III. tř.	34183	34134	34141	34128	34124	34118
Místní komunikace	72300	72300	72927	72927	72927	72927

Pramen: Ročenka dopravy, online

Všechny komunikace a vozidla, která se po nich pohybují, představují zdroje znečištění ovzduší, které svým narůstajícím významem do značné míry odsunuly do pozadí dříve přednostně sledované stacionární zdroje. Liniové zdroje se v důsledku celé škály svých negativních vlivů, jako jsou znečišťování ovzduší, hluk nebo znečišťování povrchových a podzemních vod, vypracovaly na první místo v žebříčku potencionálních znečišťovatelů životního prostředí, především ve velkých městech. Největším problémem je v mnoha městech České republiky to, že se bohužel dosud setkáváme s absencí obchvatových komunikací, což sebou přináší velkou zátěž, zvláště z tranzitní dopravy. Příznivý vliv modernizace vozového parku a snížení emisí je tak anulován a podle údajů monitorovacích systémů imisní zátěž, jejíž původ je nutno hledat v dopravě, výrazně narůstá (Keder a kol., 2004).

Vědomí narůstajícího významu dopravy pro ovlivnění kvality životního prostředí v celé Evropě našlo vyjádření již v roce 1999 v materiálu přijatém na londýnské konferenci ministrů životního prostředí a ministrů zdravotnictví s názvem Charta o dopravě, životním prostředí a zdraví. Cíle této charty i navazujícího Celoevropského programu, zpracovaného pod záštitou WHO a UN-ECE směřují k udržitelné dopravě, k prosazování všech variant preventivních, technických a legislativních opatření, která mohou snížit negativní dopad současných forem dopravy na zdraví a životní prostředí. Sledování vývoje expozice znečišťujícími látkami z ovzduší a vývoje expozice hluku, ve vztahu k možným zdravotním dopadům z dopravy, tak

představuje jednu ze základních informací pro hodnocení míry rizika požadovanou zákonem o ochraně veřejného zdraví a hodnocení zdravotní zátěže obyvatelstva.

Nařízením vlády č. 355/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 509/2005 Sb. (Věstník MŽP, 2008) byly stanoveny emisní a další limity pro liniové zdroje. V návaznosti na předpisy EU bylo schváleno Nařízení vlády č. 250/2002 Sb., které nově obsahuje i limity pro suspendované částice frakce  $PM_{10}$ , benzenu, PAU a požadavek na měření vybraných těkavých organických látek jakožto prekurzorů ozonu. Nařízením vlády č. 350/2002 Sb. (Věstník MŽP, 2008) byly mimo jiné stanoveny zásady pro umíst'ování monitorovacích stanic a postupy vzorkování, včetně stanic zaměřených na dopravu. Tím bylo dosaženo základního sjednocení postupů monitorování kvality ovzduší v případě stacionárních měřících sítí. Stabilní sítě imisního monitoringu mohou být výhodně doplňovány mobilními měřícími jednotkami.

Stanovení množství emisí za jednotlivé druhy dopravy vychází ze skutečných hodnot z roku 1996 a prognózy vývoje přepravních objemů a výkonů dopravy, zpracovaných ze zdrojů Ministerstva dopravy ČR, Českého statistického úřadu, Generálního ředitelství ČD a organizace TRANIS. Pro výpočet jednotlivých druhů emisí byla použita Metodika stanovení emisí znečišťujících ovzduší pro všechny druhy dopravy, zpracovaná *CENTREM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU*. Metodika respektuje potřebu porovnávat hodnoty emisí za jednotlivé druhy dopravy a reálné možnosti zajištění vstupních údajů. Vychází z aktualizovaných ročních přepravních výkonů jednotlivých druhů osobní dopravy (počet osobokilometrů) a nákladní dopravy (počet tunokilometrů). Dalšími vstupními údaji jsou výhřevnost paliva, měrná spotřeba pohonných hmot na jednotku přepravního výkonu a aktualizované příslušné emisní koeficienty charakterizující konkrétní procesy. Výsledná množství emisí jednotlivých druhů dopravy jsou součty hodnot emisí pro jednotlivé druhy paliv. Ve stanoveném množství emisí nejsou zahrnuty emise z oborů zemědělství, lesnictví, stavebnictví a obrany.

Pro bližší představu máme tabulku 6, která popisuje množství emisí oxidu dusíku v letech 1996-2010. V případě oxidu dusíku měl přechod od sledování jejich celkové sumy  $NO_x$  k oxidu dusičitému  $NO_2$  za následek pokles jejich významu pro hodnocení kvality ovzduší. Imisní limity totiž pro tuto znečišťující látku nejsou ve významné míře překračovány ani v nejvíce dopravně zatížených lokalitách. Podobná situace je rovněž v případě oxidu uhelnatého (Adamec, Dufek, 1999).

**Tab. 6** Emise oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>) v letech 1996-2010

Rok	Doprava celkem	Emise (t)						
		IAD	Silniční veřejná osobní	Silniční nákladní	MHD autobusy	Železniční motorová trakce	Vodní doprava	Letecká doprava
1996	174747	58922	6703	91709	3666	10684	1328	1735
1997	172325	57999	5815	92670	3490	10008	819	1524
1998	173283	57148	5365	95463	3313	9454	873	1667
1999	175455	57116	5397	98183	3234	8698	1096	1731
2000	178161	57310	5419	101866	3172	7409	1177	1808
2003	172687	53133	5204	101709	2907	6442	1568	1724
2005	172807	50377	5103	103833	2713	6589	1954	2238
2010	154153	44279	4343	92703	2261	6671	2065	1831

Pramen: Ovzduší 1999 (Adamec V., Dufek J., Centrum dopravního výzkumu v Brně)

Dopravní politika ČR pro roky 2005–2013 byla schválena vládou dne 13. 7. 2005 usnesením č. 882. Tento dokument stanovuje strategické a koncepční cíle v oblasti dopravy a dopravních sítí. Doposud platná dopravní politika musela být tímto nahrazena, protože definovala strategii pro tuto oblast před vstupem ČR do EU. Hlavním důvodem změny dokumentů bylo vydání Bílé knihy EU v roce 2001 s názvem Evropská dopravní politika pro rok 2010 – čas rozhodnout (Machálek, 2006). Tento dokument je velice kritický k oborům dopravy, které nejvíce znečišťují ovzduší, a naopak vyzdvihuje obory šetrné k prostředí. Hlavně dává tento materiál podnět ke změnám, což je důležité.

Dalším impulsem pro změnu byl závěr summitu o udržitelném rozvoji konaný v Johannesburgu v roce 2002. Pojetí udržitelného rozvoje na základě tří pilířů – ekonomický, environmentální a sociální – je důvodem přehodnocení vývoje v dopravě ve prospěch té, která přináší nejmenší negativní vlivy na životní prostředí. V neposlední řadě je důvodem k aktualizaci dopravní politiky i schválení Strategie udržitelného rozvoje ČR, která se tímto stává základním kamenem pro další politiku.

Mezi nejdůležitější cíle současné dopravní politiky ČR patří rozvoj a budování dopravních integrovaných systémů. Dále v oblasti technického stavu vozidel zvýšit důraz na kvalitu státního odborného dozoru, zajištění dodržování limitů znečištění způsobeného dopravou a snížení procenta znečištění, kterým se doprava podílí na emisních stropech ČR, zkvalitnění přepravní práce ve veřejné dopravě a postupně budovat infrastrukturu cyklistické dopravy zejména pro kratší vzdálenosti a segregace cyklistického provozu od ostatních druhů dopravy. Z uvedených skutečností je zřejmé, že i realizace záměrů Dopravní politiky ČR pro léta 2005–2013 by měla vést k omezení emisí znečišťujících látek do ovzduší z mobilních zdrojů (Machálek, 2006).

V letech 2002 a 2003 se skupina z Arizonské státní univerzity v USA složená z Carola M. Atkinsona–Palomba, Jamese A. Mlynáře a Robera C. Ballinga Jr. zabývala studii tzv. víkendového efektu. Postupně zaznamenávala měření znečištěného ovzduší, a to po oba roky v pěti po sobě jdoucích měsících, od května do září. K monitorování byla vybrána Maricopa Country v Arizoně.

Jak původně vědci předpokládali, byly odhaleny značné rozdíly v naměřených hodnotách znečištění ovzduší podle toho, kde a kdy se měřilo. Toto zjištění pak nazvali termínem „víkendový efekt“. Následně využili čtyři různé metody pro spočítání účinků během jednotlivých dnů v týdnu. Díky tomu bylo zjištěno, že je sledovaný problém mnohem horší v městském jádru než na předměstí právě proto, že je zde hustší automobilová doprava. Stejně tak se potvrdila hypotéza, že je situace se znečištěným ovzduším mnohem horší o víkendech než během pracovních dnů. To ale platí pouze pro městské jádro. V okrajových částech města toto zjištění nebylo potvrzeno. Příčinou by mohla být přítomnost emisí oxidu dusíku v ovzduší a tím umožnění vzniku přízemního ozonu, zvýšení koncentrace slunečního záření v důsledku víkendového snížení množství sazí v ovzduší, přítomnost škodlivých emisí z motorových vozidel blízko povrchu vozovky a zvýšení emisí ze strojů, jako jsou např. sekačky na trávu, které se používají skoro pravidelně jen o víkendech.

Bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace oxidu dusíku začínají kolem 15. hodiny odpoledne a trvají až do 6. hodiny ranní. Tato situace je typická pro centrum města. Naopak směrem ven z města dochází ke kulminaci hladiny škodlivin v ovzduší později odpoledne, a to v souvislosti s koncentrací dopravy v jádru města. Během noci zde pak byly naměřeny vyšší průměrné koncentrace než v centru.

Pro centra měst platí, že koncentrace jsou nejvyšší v neděli, ostře klesnou každé pondělí a až do pátku se drží na stejné úrovni. Prudce pak stoupnou v sobotu a drží se opět až do neděle.

V okrajových částech města bylo zjištěno, že zde funguje tzv. týdenní cyklus. Nedělní koncentrace jsou zde nejnižší. V pondělí stoupnou a drží se do úterý na maximu. Ve středu mírně poklesnou a ve čtvrtek a v pátek dochází opět k vzestupu. V devíti z deseti měřících stanic v centru byla sobota dnem s nejvyššími koncentracemi. Dalším dnem po sobotě byla neděle. Nejnižší hodnoty byly na čtyřech stanicích naměřeny v pondělí, na dalších čtyřech stanicích v úterý a na dvou stanicích ve středu (Atkinson-Palombo, 2006).

### **3.3 Ochrana ovzduší před přízemním ozonem v ČR**

Monitorování znečištění ovzduší nad Českou republikou nebylo vždy na takové úrovni, jako je dnes. Po krizové situaci v 80. letech, kdy dosáhly v severních Čechách koncentrace NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub> svých historických maxim, nastal zlom po roce 1989. Po masivním poklesu průmyslové výroby se výrazně snížily emise a energetická náročnost.

Dne 1. ledna 1990 se vytvořilo nové ministerstvo – Ministerstvo životního prostředí ČR. To převzalo nejen kompetence týkající se životního prostředí, ale i zodpovědnost za kroky směřující k likvidaci zdrojů znečišťujících ovzduší. Již první rok vlády přinesl plody ve formě schválení zákona č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší a jeho následné novelizaci zákonem č. 218/1992 Sb., čímž byly přijaty právní normy upravující měření znečištění, evidence zdrojů znečištění a výši poplatků za překročení emisních limitů (Virtanen, 1999).

Další významnou událostí bylo zřízení Státního fondu životního prostředí ČR na základě přijetí zákona č. 388/1991 Sb. Do tohoto fondu jsou odváděny poplatky placené znečišťovateli vod, ovzduší a půdy. S těmito vybranými prostředky fond podporuje projekty, které vedou k ozdravování životního prostředí, a to buď formou dotace, nebo půjček.

Díky prostředkům z privatizace, které činily bezmála 6,1 miliard Kč, schválil parlament v roce 1994 novelu zákona č. 500/1994 Sb. a vytvoření tzv. „Národního programu ozdravení ovzduší“. Konečný efekt ale zdaleka předčil očekávání. Tím, že se finance rozprostřely rovnoměrně po celé České republice, došlo k ozdravení nejpostiženějších míst jen ve velmi malém měřítku. Většina těchto financí byla použita

na přechod lokálních zdrojů znečištění, jako jsou kotelny a jednotlivé kotle. Zvláště hnědé uhlí a mazut byl zaměněn za ekologicky šetrnější média, jako jsou zemní plyn, dálkové vytápění nebo elektrifikace.

Od konce roku 1998 musely splňovat velké zdroje znečištění ovzduší (hutě, elektrárny nebo teplárny) kriteria a limity srovnatelné s normami platnými v zemích EU. Těmto podnikům tedy nezbylo nic jiného, než do potřebných zařízení umožňujících splnění daných limitů investovat mnohdy nemalé částky. Vše ale přineslo plody ve formě pozvolného ozdravování ovzduší.

Důležitým orgánem v této oblasti je i Český hydrometeorologický ústav. Ten má jako jeden z hlavních cílů mapování imisních zátěží ve vymezených oblastech případného překračování imisních limitů stanovených Opatřením FVŽP k zákonu č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami. Toto dlouhodobé územní hodnocení sleduje hlavně odhalení časových tendencí a změn v územních rozložení znečištění ovzduší, odhalení příčin vývoje a předložení objektivních hodnocení k posouzení dlouhodobých dopadů znečištěného ovzduší na zdraví lidí, zvířat, vegetace nebo na poškozování majetku. Tato hodnocení a výzkumy jsou pravidelně prezentovány v ročence Znečištění ovzduší na území České republiky, kterou vydává ČHMÚ.

Hodnocení imisní situace vychází především z monitorování koncentrací znečišťujících látek v přízemní vrstvě atmosféry v síti měřících stanic. Zejména je zde sledován vztah zjištěných imisních hodnot k příslušným imisním limitům. Větší důraz je zde kladen především na sledování koncentrací oxidu siřičitého, prашného aerosolu, oxidu dusíku a dalších látek, jako je přízemní ozon, kadmium a olovo. Vše se hodnotí na základě dat shromažďovaných v Informačním systému kvality ovzduší České republiky (ISKO). Do této databáze přispívá nejen ČHMÚ, ale v poslední době i další organizace podílející se na sledování kvality ovzduší v ČR. Jmenovitě to jsou Státní zdravotní ústav, hygienické služby, Organizace pro racionalizaci energetických zařízení, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumný ústav rostlinné výroby, společnost Ekotoxa spol. s r. o., společnost Opava a další. V roce 1995 bylo v imisní agendě registrováno více než 630 aktivně měřících stanic (Fiala a kol., 1997).

Díky těmto podkladům a vyhodnocením vzniklo třídění území podle kvality ovzduší. Těchto tříd je 5. Třída I. je klasifikována jako čisté nebo téměř čisté ovzduší. Imisní hodnoty všech sledovaných látek jsou nejvýše rovny polovině imisních limitů. Třída II. znamená mírně znečištěné ovzduší. Imisní hodnoty některých látek jsou větší

než polovina povolených limitů, ale žádná hodnota ještě tento limit nepřekračuje. III. třída už ukazuje na znečištěné ovzduší, kde jsou imisní limity jedné látky překročeny. Ostatní hodnoty dosahují poloviny povolených hodnot. Silně znečištěné ovzduší patří do IV. třídy této klasifikace. Imisní limity jedné látky překračují povolenou mez, ostatní hodnoty jsou větší než polovina povolených limitů. Poslední V. třídou je velmi silně znečištěné ovzduší. Imisní limity více než jedné látky jsou překročeny. Podle tohoto třídění se na začátku našeho sledovaného desetiletí zjistilo, že do poslední V. třídy spadá kolem 7 % celkového území České republiky, což postihuje přes 30 % populace (Fiala a kol., 1997).

Na území České republiky se samotná koncentrace přízemního ozonu sleduje od roku 1992, v roce 1995 se měřil ozon celkem na 39 stanicích. V síti automatizovaného imisního monitoringu se měří koncentrace přízemního ozonu v půlhodinových intervalech metodou UV-absorbance. Naměřené údaje z celého území České republiky jsou shromažďovány v databázi ISKO ČHMÚ a jsou každoročně pravidelně analyzovány a prezentovány v publikacích Numerická a Grafická ročenka znečištění ovzduší v České republice (Fiala, 1996).

**Tab. 7** Emisní bilance hlavních znečišťujících látek v ČR v roce 1990

Kategorie zdrojů	Tuhé látky		SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		CO	
	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%
Velké zdr. (REZZO 1)	401,5	64	1596,0	85	493,9	67	269,4	26
Střední zdr. (REZZO 2)	74,8	12	102,5	5	19,0	3	219,8	21
Malé zdr. (REZZO 3)	155,1	25	177,2	9	18,6	3	355,6	34
CELKEM stacionární zdr.	631,4	100	1875,7	100	531,6	72	844,7	80
Mobilní zdr. (REZZO 4)					210,4	28	210,3	20
Celkem	631,4	100	1875,7	100	741,9	100	1055,0	100

Pramen: Machálek, ČHMÚ, Ovzduší 2001

**Tab. 8** Emisní bilance hlavních znečišťujících látek v ČR v roce 1999

Kategorie zdrojů	Tuhé látky		SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		CO	
	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%	tis. t/rok	%
Velké zdr. (REZZO 1)	16,1	24	193,1	72	135,0	35	159,9	23
Střední zdr. (REZZO 2)	8,7	13	10,5	4	5,9	1	16,0	2
Malé zdr. (REZZO 3)	33,0	49	58,1	21	14,9	4	177,1	26
CELKEM stacionární zdr.	57,8	86	216,7	97	155,8	40	353,0	51
Mobilní zdr. (REZZO 4)	9,2	14	7,3	3	234,1	60	332,8	49
Celkem	67,0	100	269,0	100	389,9	100	685,8	100

Pramen: Machálek, ČHMÚ, Ovzduší 2001

Podle Pavla Michálka z ČHMÚ můžeme konstatovat, že v závislosti na legislativních změnách zavedených Zákonem o ovzduší č. 309/1991 Sb. a následných prováděcích předpisů, byla do 31. 12. 1998 většina velkých a středních zdrojů znečišťování ovzduší uvedena do souladu s limity na ochranu ovzduší. To se projevilo výrazným zlepšením stavu ovzduší a mírnějšími průběhy inverzních situací zejména od topné sezóny 1997/98 do současnosti. V řadě obcí až doposud přetrvávají problémy s emisemi z lokálních zdrojů a z prudce narůstající silniční dopravy. K doplnění vyřčených tvrzení slouží tabulky 7 a 8.

Na základě těchto tabulek je jasně viditelné, že nejvýraznějším úspěchem České republiky, je viditelný pokles emisí oxidu siřičitého od roku 1990 do roku 1999 o více než 85 %. Zlepšení kvality ovzduší v této době je způsobeno zvláště celkovým útlumem průmyslové výroby. Projevují se zde ale i ozdravná opatření a vložené investice. Podle ČHMÚ dosáhla k roku 1999 peněžní částka vložená do boje proti znečištěnému ovzduší skoro 240 mld Kč (Elfenbein a kol., 2001). V souvislosti s přízemním ozonem jsou ale důležitější čísla v oddělení NO<sub>x</sub>. Celkové koncentrace oxidu dusíku se zvýšily pouze mírně, ale oproti roku 1990, kdy měly mobilní zdroje pouze třetinový podíl na jejich vypouštění, došlo v roce 1999 k navýšení podílu o další celou třetinu, a to na celé dvě třetiny podílu.



V další tabulce (tab. 9) máme srovnání emisí ČR v evropském měřítku. Sledovaný stav se beze sporu od roku 1990 výrazně zlepšil, ale je zapotřebí dále na snižování emisí pracovat.

**Tab. 9** Srovnání emisí ČR a Evropy

Stát	Rozloha km <sup>2</sup>	Hustota obyv./km <sup>2</sup>	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC <sub>s</sub>
ČR 1990	78866	131	8,0	23,8	9,4	13,4	5,5
ČR 1999	78866	131	0,8	3,4	4,9	8,7	3,4
SRN	357022	230		3,6	5,0	15,2	4,8
Rakousko	83859	96		0,5	2,0	11,9	2,8
Nizozemí	41526	376		2,7	10,6	17,4	7,3
Polsko	323250	120		5,9	3,1	13,3	2,3
Slovensko	49012	110		3,7	2,7	6,4	2,1

Pramen: Machálek, ČHMÚ, Ovzduší 2001

Na přelomu tisíciletí se na většině stanic zastavil pozitivní trend zlepšování kvality ovzduší. V posledních letech naopak dochází ke zhoršování některých ukazatelů. Například došlo ke zhoršení kvality ovzduší v případě přízemního ozonu a oxidu dusičitého. U přízemního ozonu je ovšem tento trend způsoben zejména meteorologickými podmínkami, které byly například v roce 2003 mimořádně příznivé pro jeho tvorbu (vysoké teploty, trvající epizody slunečních dní beze srážek). V tomto roce vzrostl oproti roku 2002 i počet stanic, kde byly překročeny imisní limitní hodnoty. Ty jsou překročeny na většině stanic měřících PM<sub>10</sub>, na několika stanicích měřících NO<sub>2</sub> a na převážné většině stanic měřících O<sub>3</sub> (Horálek a kol., 2004).

Koncem srpna 2005 byl ze strany Ministerstva životního prostředí zveřejněn návrh aktualizovaného Integrovaného národního programu snižování emisí České republiky, jehož součástí je i Národní program ke zlepšení kvality ovzduší. Kromě prezentací a aktualizací dat týkajících se ovzduší, jako jsou úrovně emisí škodlivin, imisní situace nebo příslušné prognózy podle různých scénářů, přebírá a diskutuje tento materiál i relativně programové body z vybraných politických a strategických dokumentů významných pro ochranu ovzduší v ČR. U řady těchto dokumentů ale bohužel chybí jejich aktualizace. Například se jedná o Průmyslovou politiku z roku

2000 nebo o Akční plán zdraví a Životního prostředí v ČR z roku 1998. Řada dokumentů byla aktualizována až v době, kdy již byly jejich starší verze zahrnuty v Integrovaném národním programu snižování emisí České republiky. Jsou to jmenovitě Národní program hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů na roky 2006–2009, Strategie udržitelného rozvoje ČR včetně první Situační zprávy, Návrh koncepce hospodárského růstu ČR, Dopravní politika ČR 2005–2013 a Koncepce agrární politiky ČR pro období po vstupu do EU 2004–2013. Nejsou ale zohledněny ani mezinárodní dokumenty týkající se ČR, které byly zveřejněny v devadesátých letech a naposledy v průběhu září a října 2005. Jedná se o OECD Environmental Performance Reviews – Czech Republic (Zpráva OECD o politice, stavu a vývoji životního prostředí v České republice – říjen 2005). Zpráva z prvního cyklu byla publikována v roce 1999. Druhým dokumentem je IEA In-Depth Review of Czech Energy Policies 2005 (Mezinárodní audit IEA energetických politik ČR – září 2005). Zpráva z prvního cyklu byla publikována v roce 2001 (Machálek, 2006).

Některé současné platné zákony, které jsou v přímé souvislosti s přízemním ozonem, již byly jmenovány. Jenom pro doplnění je třeba zmínit Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (Zákon o ochraně ovzduší), ve znění zákona č. 521/2002 Sb., zákona č. 92/2004 Sb., zákona č. 186/2004 Sb., zákona č. 695/2004 Sb. a zákona č. 180/2005 Sb., zákona č. 385/2005 Sb. a zákona č. 444/2005 Sb. (úplné znění zákona vyhlášené ve Sbírce zákonů pod číslem 472/2005 Sb.), ve znění zákona č. 186/2006 Sb., zákona č. 212/2006 Sb., zákona č. 222/2006 Sb., zákona č. 230/2006 Sb. a zákona č. 180/2007 Sb. Důležitým nařízením je také Nařízení č. 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší (Věstník MŽP, 2008).

### **3.4 Sledování kvality ovzduší v Olomouci**

Samotné počátky sledování kvality ovzduší na území města Olomouce se datují na přelomu 60. a 70. let 20. století. Začala s ním Hygienická stanice v Olomouci a v prvním kroku vznikla na území města síť 30 stanic měřících prašný spad a SO<sub>2</sub> (Jurek, 2007). V 80. letech byla tato síť nahrazena pouze třemi stanicemi: OHS, Čapka Choda a Flóra. V roce 1994 došlo k další změně. Od tohoto roku začalo fungovat celkem 5 měřících stanic. Byly to stanice Olomouc (spravována ČHMÚ), Olomouc-Šmeralova (spravována Zdravotním ústavem) a tři stanice městského monitoringu: Radnice, Olomouc-Hotel (nahrazena od II./2004 stanicí Olomouc-Velkomoravská) a Olomouc-

Hodolany. Tyto stanice měly zmapovat tři různá místa ve městě. Stanice Radnice reprezentovala klidovou zónu v centru města, stanice Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská oblast hustě obydlenou a zatíženou dopravou a stanice Olomouc-Hodolany průmyslovou zónu. Na těchto třech, resp. čtyřech stanicích se začalo s měřením teploty, času, vodních srážek, koncentrací SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, poléťavého prachu a O<sub>3</sub>.

Výsledky měření ze stanic městského monitoringu byly každoročně zpracovány do ročenky Monitoring ovzduší města Olomouce, která pak sloužila jako podklad pro Územní plán města Olomouce, projektantům, investorům a studentům. Výsledky byly také předávány ČHMÚ, který je pak zveřejňoval ve svých ročenkách. Ze zpracovaných měření vyplynulo, že ovzduší na území města Olomouce je hodnoceno jako mírně zhoršené.

V roce 2004 byla zrušena stanice Radnice na Horním náměstí, protože dlouhodobě vykazovala nízké koncentrace škodlivin a díky dokončené plynofikaci v centru pozbyla svoji funkci. Na počátku roku 2008 byla ale opět uvedena do provozu.

Díky Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., která přebírá definice právních předpisů EU, a díky přerostlé zeleni kolem stanice, bylo nutno stanici umístěnou v Hotelovém domě na ulici Velkomoravská přemístit. Stalo se tak na začátku roku 2004. Náhradní stanoviště se nachází ve stejné ulici, v areálu středního odborného učiliště. Díky přemístění je zde možnost zachytit změny po otevření jižní rychlostní komunikace R 35 09 (Monitoring ovzduší, online).

Jediná stanice v Hodolanech, umístěná v areálu podniku České droždářenské a.s. Olomouc, zůstala beze změny.

## 4 Výsledky práce

### 4.1 Intenzita dopravy ve městě

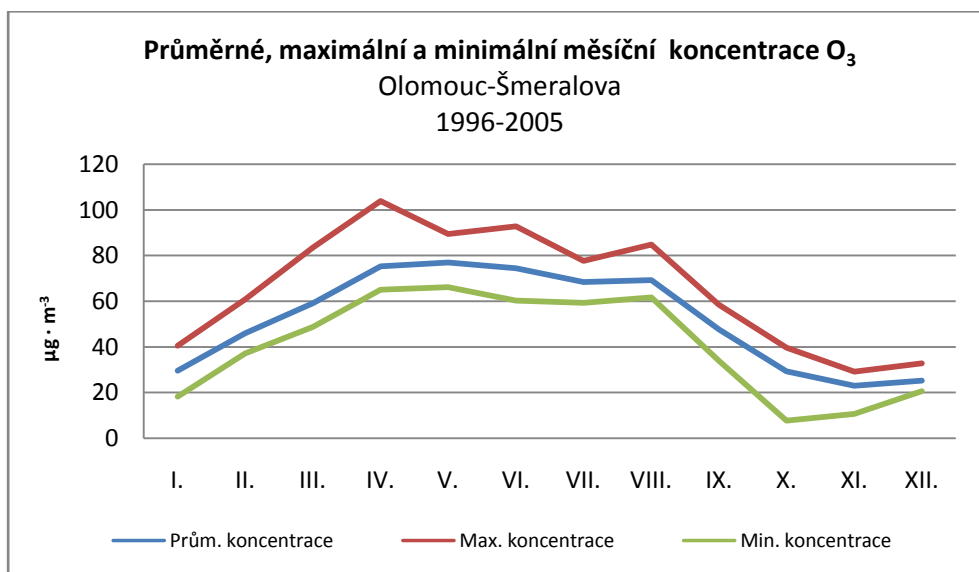
Již několik desítek let funguje v Olomouci síť monitorovacích stanic. Jak už bylo řečeno, cílem této diplomové práce je zachytit, popsat a zanalyzovat stav venkovního ovzduší znečištěného přízemním ozonem v Olomouci. To vše za období 1996–2005.

Jedním z významných zdrojů znečištění ovzduší je bezesporu silniční doprava. V příloze B máme výsledky ze sčítání dopravy, které mapují situaci v Olomouci za posledních deset let. Např. stanice Olomouc-Hotel, resp. Olomouc-Velkomoravská se nachází poblíž silnice číslo 35 s označením 7-5381 a 7-5382. Na úseku 7-5381 se intenzita dopravy za posledních deset let zvýšila z 16027 vozů na 32446 vozů, což je o celý dvojnásobek. Bezesporu se tato situace negativně odrazí na stavu ovzduší ve sledované lokalitě. Tato problematika by si ale vyžadovala samostatnou studii.

### 4.2 Průměrné měsíční koncentrace $O_3$ v Olomouci

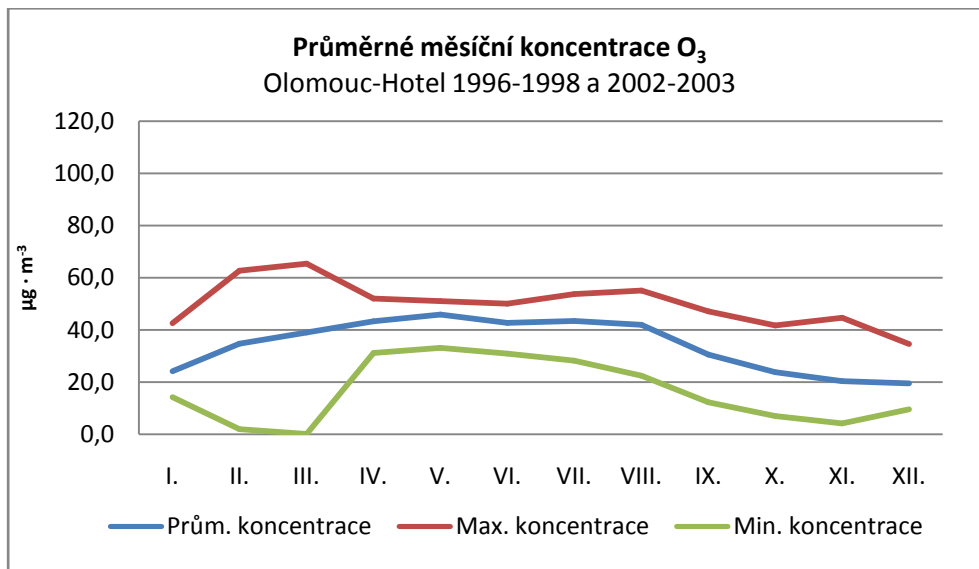
Naměřené koncentrace přízemního ozonu na všech sledovaných stanicích vykazují během kalendářního roku stejné trendy. Nejnížší koncentrace jsou zaznamenány v chladných měsících (v zimě), nejvyšší pak v měsících teplých (v létě), což odpovídá teorii, kdy a za jakých podmínek přízemní ozon vzniká. Důležitým poznatkem je bezesporu fakt, že se nejvyšší hodnoty vyskytují zpravidla v první polovině roku, což jde velice dobře poznat například z grafu na obrázku 2. V měsících dubnu a květnu se zaznamenávají nejen nejvyšší průměrné koncentrace, ale i nejvyšší maximální a minimální koncentrace. V příloze C.1 máme přehledně zpracované grafy průměrných měsíčních koncentrací přízemního ozonu naměřených na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996 až 2005 pro každý rok sledovaného desetiletí zvlášť. Z těchto grafů je zřejmé, že byla koncentrace  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  překročena na stanici Olomouc-Šmeralova pouze v dubnu 1996. Již následujícího roku došlo k výraznému zlepšení. Trend, kdy se nejvyšší hodnoty koncentrací přízemního ozonu pohybovaly kolem hranice  $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , byl porušen až v letech 2000, 2001, 2002 a 2003.

**Obr. 2** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (podle podkladů z databáze ISKO)

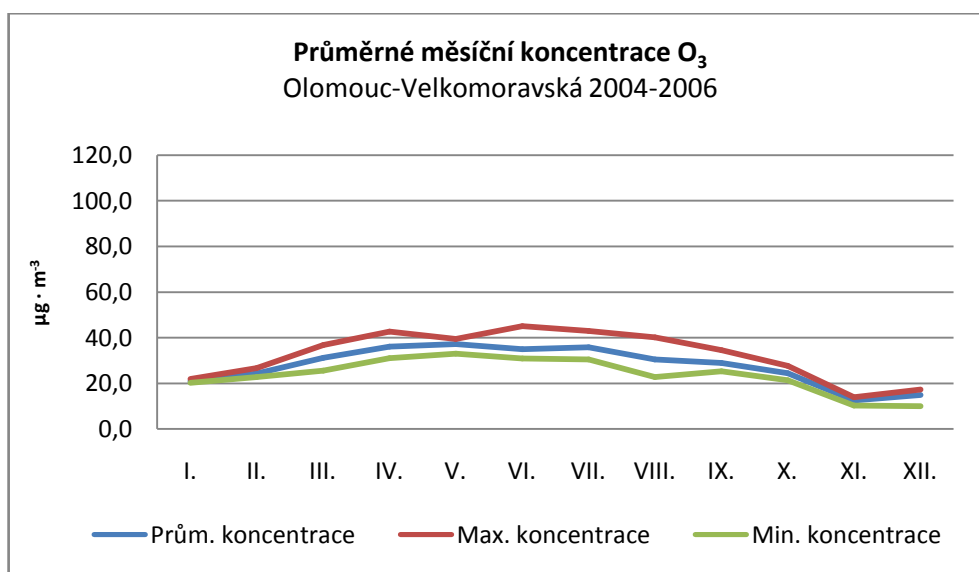


V březnu 1996 se začalo s měřením přízemního ozonu i na stanici Olomouc-Hotel. S přestávkou v letech 1999–2001 trvalo měření až do roku 2003. Na ně pak navazovalo měření na stanici Olomouc-Velkomoravská, která se nachází ve stejné lokalitě. V grafu na obrázku 3 si můžeme povšimnout, že se průběh průměrných koncentrací O<sub>3</sub> během roku na stanici Olomouc-Hotel výrazně neliší od průběhu, který byl zaznamenán na stanici Olomouc-Šmeralova. Opět se nejnižší koncentrace vyskytují v chladných měsících roku a vyšší koncentrace naopak v měsících teplých. Zarážející je nečekaný pokles minimálních koncentrací O<sub>3</sub> v únoru a březnu, který je způsoben rokem 2002, kdy se po třech letech začal přízemní ozon na této stanici znovu měřit. S největší pravděpodobností jde o chybu na přístroji. Trend dalšího průběhu minimálních koncentrací přízemního ozonu a také průběh maximálních koncentrací odpovídá průběhu na předešlé stanici. V příloze C.2 se nachází sada grafů průměrných měsíčních koncentrací přízemního ozonu na stanici Olomouc-Hotel za měřené roky. Zde je vidět, že se od roku 1996 postupně zvyšovaly hodnoty koncentrací O<sub>3</sub> až do roku 1998, kdy se dostaly nad hranici 60 µg·m<sup>-3</sup>. Po neměřeném mezidobí došlo opět k poklesu, kdy se nejvyšší průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu pohybují pouze kolem 40 µg·m<sup>-3</sup>. V porovnání s průměrnými měsíčními koncentracemi přízemního ozonu na předešlé stanici ve stejných letech jsou tyto mnohem nižší.

**Obr. 3** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996-1998 a 2002-2003 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)



**Obr. 4** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)



V grafu na obrázku 4 máme průběh průměrných měsíčních koncentrací od roku 2004 až do roku 2006. Oproti výsledkům z předešlých dvou stanic se zde setkáváme s odlišným ročním chodem. Nejvyšší průměrné měsíční koncentrace zde byly zaznamenány až ve druhé polovině roku. Dalším odlišným jevem je těsnost mezi maximálními a minimálními měsíčními koncentracemi O<sub>3</sub>, která se opakuje ve všech

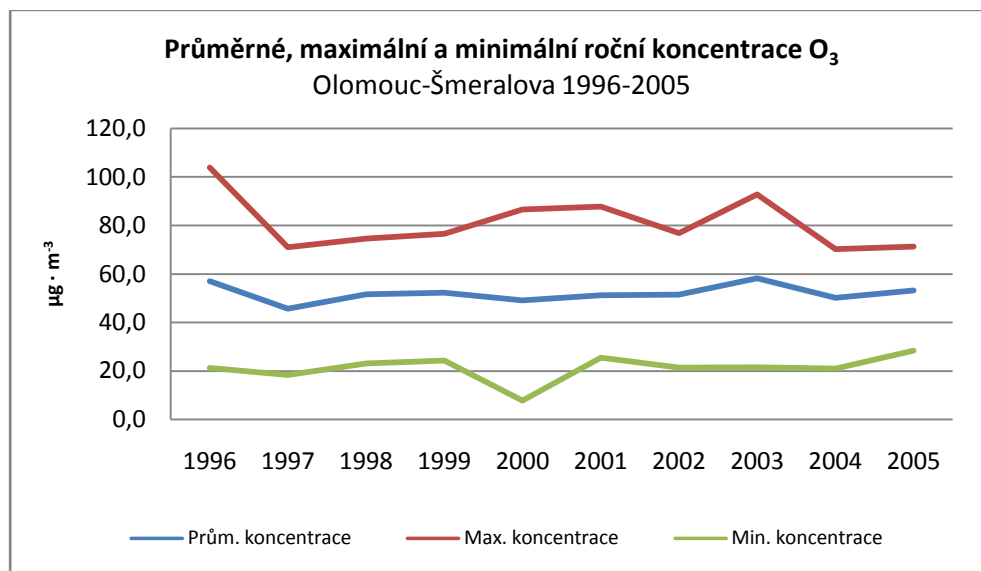
měsících roku. Totožný je roční chod s výskytem nejvyšších koncentrací v teplých měsících a nejnižších koncentrací v chladných měsících roku. Průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006 se pohybují kolem hranice  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  stejně jako v předešlých letech na stanici Olomouc-Hotel a opět zdaleka nedosahují koncentrací naměřených na stanici Olomouc-Šmeralova. V příloze C.3 to dokazují grafy jednotlivých sledovaných let na stanici Olomouc-Velkomoravská. Naproti předchozím grafům z příloh C.1 a C.2 je patrný téměř vyrovnaný průběh průměrných měsíčních koncentrací  $\text{O}_3$  během všech tří sledovaných let s výjimkou nevýrazných poklesů v zimních měsících.

Již z předešlých tří grafů se dalo snadno vyčíst, že se zřejmě díky rázu počasí a zvyšujícímu se počtu vozidel, které projíždí denně Olomoucí, některé roky liší od ostatních, a to co se týče naměřených průměrných koncentrací přízemního ozonu. V následujícím grafu na obrázku 5 a dále ve grafech pro jednotlivé měsíce v roce v příloze C.4, C.5 a C.6 je již úplné srovnání celé řady let, a to pro stanice Olomouc-Šmeralova, Olomouc-Hotel i Olomouc-Velkomoravská. Na první jmenované stanici se od ostatních let výrazně odlišuje rok 2000 (s výjimkou dubna, května a června, kdy se koncentrace  $\text{O}_3$  v tomto roce pohybují mezi nejvyššími za všech deset let). Tento rok vykazuje jinak nejnižší koncentrace vůbec. Nejzřetelněji je to vidět na grafech v příloze C.4. Naopak nejhorší situace byla zaznamenána v roce 1996. Hodnoty koncentrací během tohoto roku dosahují nejvyšší hranice ve všech měsících, kromě ledna, července a září. Ze všech dvanácti grafů je zřejmé, že nejkritičtějšími během kalendářního roku jsou březen, duben, květen, červen, červenec a srpen. Jistě je to způsobeno sluneční aktivitou a teplejším počasím. Naopak měsíce jako leden nebo prosinec jsou už podle očekávání měsíce s nejnižšími hodnotami koncentrací, protože v této době nejsou příhodné podmínky pro vznik přízemního ozonu. Na stanici Olomouc-Hotel (příloha C.5) je od ledna do srpna nejkritičtější situace v roce 1998. Porovnání let 2004-2006 na stanici Olomouc-Velkomoravská (příloha C.6) nevykazuje v žádném měsíci výraznější výkyv.

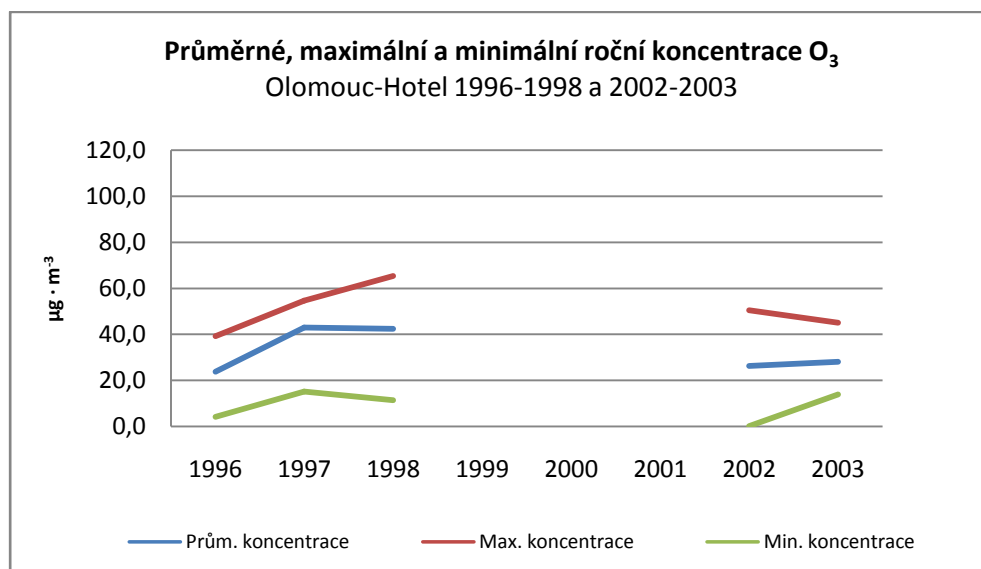
V grafu na obrázku 5 je zřetelně zachycen průběh chodu průměrných ročních koncentrací  $\text{O}_3$  na stanici Olomouc-Šmeralova. Znovu si zde můžeme povšimnout výrazně vyšších koncentrací přízemního ozonu v roce 1996 a následného klesání během dalších tří let. Od roku 2000, následuje opětovné stoupání až ke kulminaci v roce 2003. Dále následuje klesání až do roku 2005. Za povšimnutí stojí minimální koncentrace

v roce 2000 a výkyv maximálních koncentrací v roce 2003. Ale i přesto je průběh průměrných ročních koncentrací přízemního ozonu na této stanici celkem vyrovnaný.

**Obr. 5** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (podle podkladů z databáze ISKO)



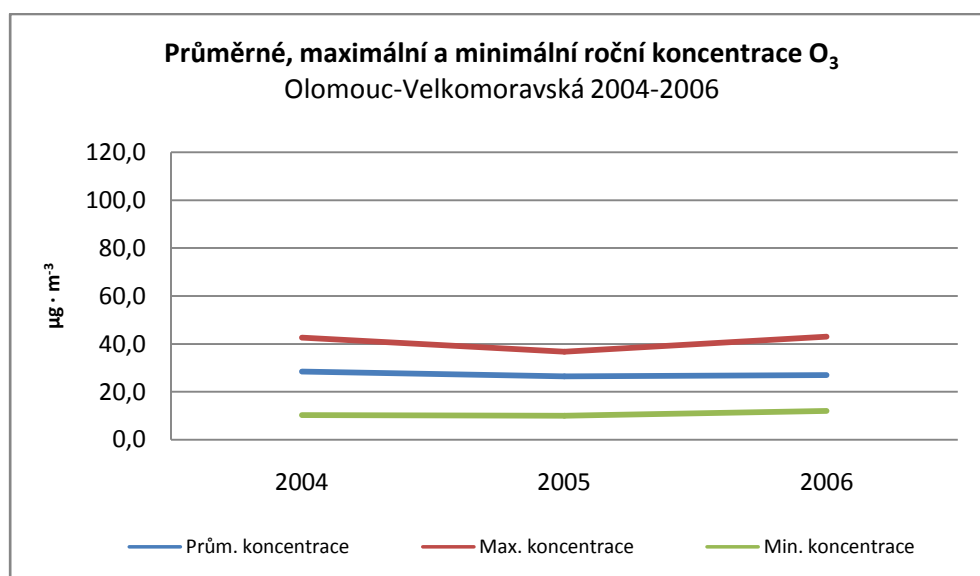
**Obr. 6** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996-1998 a 2002-2003 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)





Na obrázku 6 se nachází graf, kde je zachycen průběh chodu průměrných ročních koncentrací přízemního ozonu na stanicích Olomouc-Hotel. Výrazný je prudký vzestup koncentrací  $O_3$  v letech 1996-1998, který končí s koncem měření na této stanici. Další část grafu, roky 2002–2003, se nachází řádově o  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  níže. Tyto koncentrace pochází z let, kdy se na stanici začalo opět měřit. Protože jde ale pouze o dva roky, nedá se dobře žádný trend vypořizovat. Téměř nulové minimální koncentrace  $O_3$  v roce 2002 byly již komentovány dříve.

**Obr. 7** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace přízemního ozonu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)



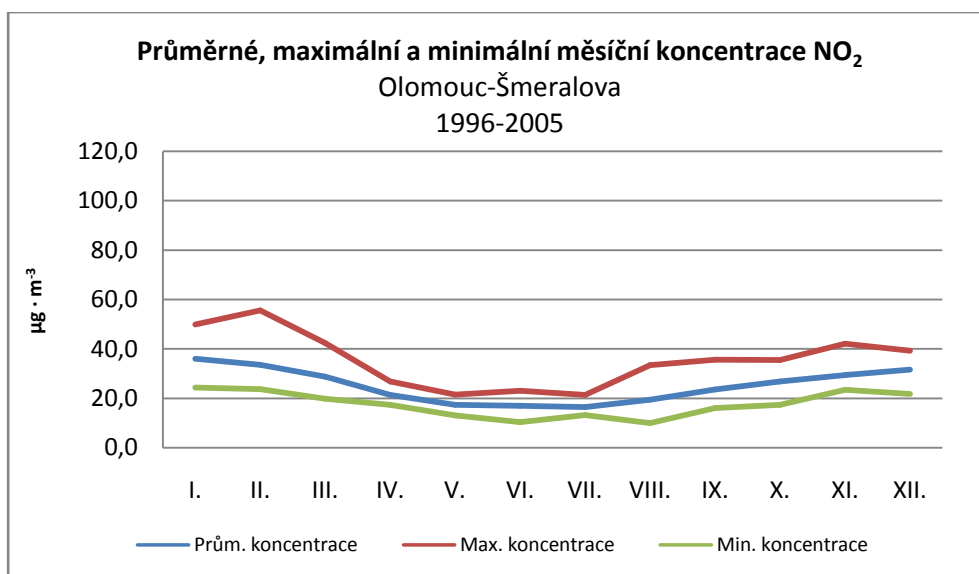
Pro popsání situace na stanici Olomouc-Velkomoravská slouží graf na obrázku 7. Máme zde průběh pouze tří let, a přesto je zde zřejmé, že se všechny roky od sebe nijak výrazně neodlišují. Průměrné roční koncentrace přízemního ozonu se pohybují mezi 20 a  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Celkově je rozptyl mezi maximálními a minimálními koncentracemi menší než například na stanici Olomouc-Šmeralova.

#### 4.3 Průměrné měsíční koncentrace $NO_2$ a $NO_x$ v Olomouci

S přítomností přízemního ozonu v ovzduší bezprostředně souvisí přítomnost látky, ze které  $O_3$  vzniká, tedy přítomnost oxidů dusíku. Do této práce musí být tedy zahrnuta i analýza  $NO_2$  a  $NO_x$ .

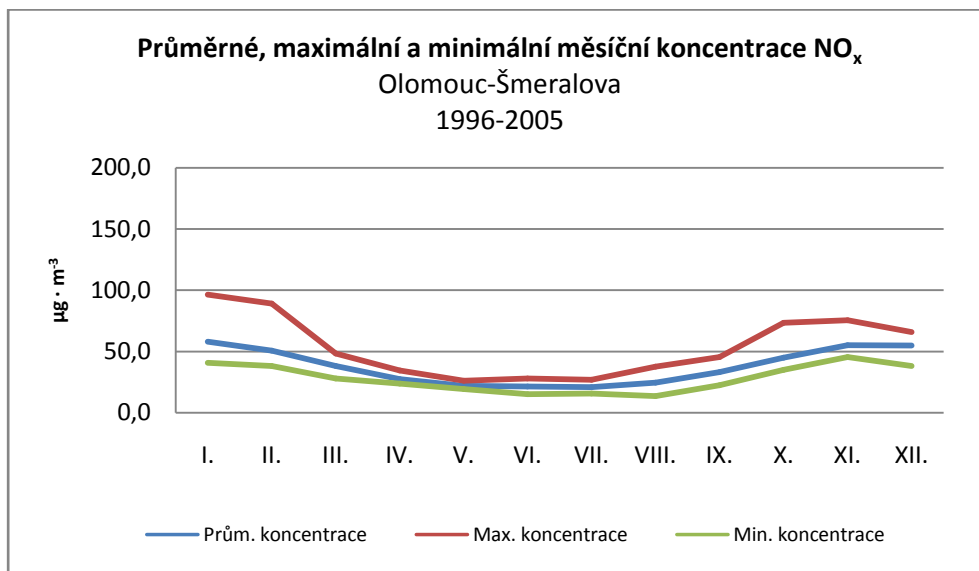
Situace na stanici Olomouc-Šmeralova během kalendářního roku je zachycena v grafech na obr. 8 a 9. Roční průběh chodu naměřených koncentrací  $\text{NO}_2$  přesně naopak kopíruje chod koncentrací přízemního ozonu na této stanici (obr. 2). Nejvyšší hodnoty koncentrací  $\text{NO}_2$  i  $\text{NO}_x$  jsou zaznamenány v chladných měsících, což je zřejmě způsobeno nástupem topné sezóny. Stanici Olomouc-Šmeralova pravděpodobně ovlivňuje místní teplárna. Naopak v teplých měsících, zvláště pak v první polovině roku, dochází k poklesu koncentrací, což je způsobeno koncem topné sezóny a nástupem podmínek příhodných pro tvorbu přízemního ozonu. V porovnání s grafem na obr. 2 z chodu koncentrací přízemního ozonu na stanici Olomouc-Šmeralova je zřejmé, že při nárůstu těchto koncentrací dochází k přímo úměrnému snižování koncentrací  $\text{NO}_2$ , a naopak.

**Obr. 8** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace  $\text{NO}_2$  naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (podle podkladů z databáze ISKO)



Podobná situace se opakuje na stejné stanici i v případě koncentrací  $\text{NO}_x$ , což je zřejmé z grafu na obrázku 9. Zde se nejvyšší maximální koncentrace vyskytují v lednu a únoru. Naopak nejnižší hodnoty jak maximálních, tak i minimálních koncentrací, jsou zaznamenány v červnu, červenci a srpnu.

**Obr. 9** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace NO<sub>x</sub> naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (podle podkladů z databáze ISKO)

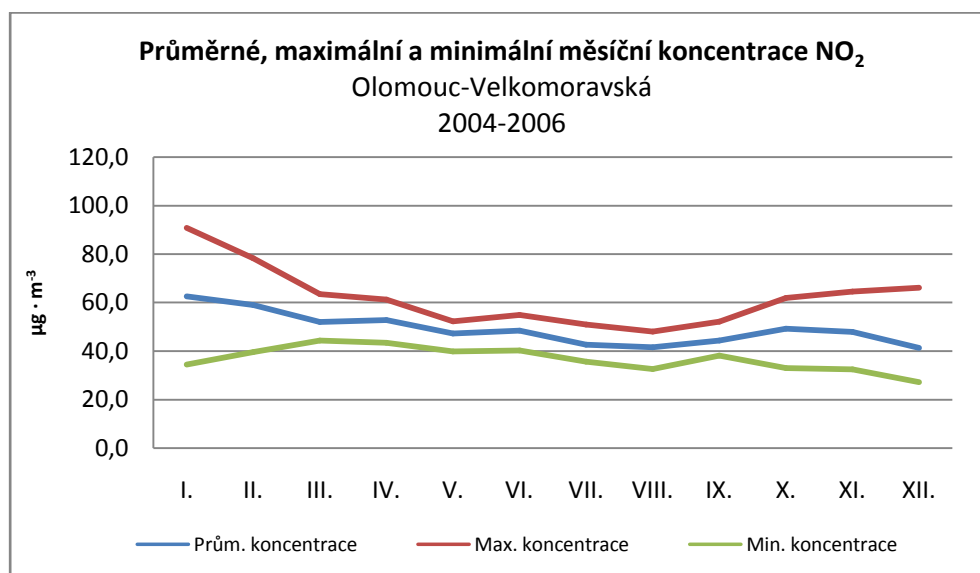


V příloze D.1 a D.2 máme sadu deseti, resp. dvaceti grafů ze stanice Olomouc-Šmeralova, které nám dávají podrobnější náhled do popisované situace. Všechny se shodují v tom, že se během chladných měsíců zaznamenávají vyšší koncentrace oxidů dusíku, naopak v teplých měsících dochází k poklesu, který je zřejmě způsoben zvýšenou sluneční aktivitou a s tím spojenou tvorbou přízemního ozonu. Tato sloučenina se tak spotřebovává na výrobu O<sub>3</sub> a tím v ovzduší opticky ubývá. Relativně nejkritičtějším rokem v případě NO<sub>2</sub> byl rok 1996, kdy se nejvyšší průměrné měsíční koncentrace pohybovaly těsně pod hranicí 60 µg·m<sup>-3</sup> (v únoru). Po zlepšování situace se v roce 2001 opět vrátily tentokrát lednové koncentrace na tuto hodnotu. Další roky ale docházelo k postupnému snižování koncentrací NO<sub>2</sub>. Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO<sub>x</sub> na této stanici byl po celých deset sledovaných let poměrně vyrovnaný. Relativně nejvyšší koncentrace se vyskytovaly v prvních letech, tedy v roce 1996 a 1997. Výraznou odchylkou od normálu je náhlý výkyv únorové koncentrace v roce 1998, který se bude opakovat i na jiných stanicích (příloha D.2).

Z výsledků ze stanic Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská lze snadno vyčíst, že se opět vyšší koncentrace NO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> vyskytují v chladných měsících (obr. 10 a 11). Nenásleduje ale vystřídaní za nižší koncentrace v teplých měsících, kdy jsou oxidy dusíku spotřebovány na tvorbu přízemního ozonu, ale tyto hodnoty zůstávají skoro na stejné úrovni. Pokud se vrátíme k situaci v chodu koncentrací přízemního ozonu na stanici Olomouc-Šmeralova, Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská,

můžeme vypočítat, že se na stanici Olomouc-Šmeralova v letních měsících zřejmě vyskytují takové podmínky, které napomáhají vzniku přízemního ozonu ve větší míře, kdežto v lokalitě Velkomoravská tyto podmínky nejsou, resp. jsou zde v menší míře. Proto je tu v letních měsících měřena mnohem nižší koncentrace přízemního ozonu, než by se dalo očekávat. Naproti tomu koncentrace oxidů dusíku neustále narůstají. Další možností je, že sice přízemní ozon vzniká, ale je rychleji odbouráván než na pozadové stanici Olomouc-Šmeralova. Každopádně na stanicích Olomouc-Hotel i Olomouc-Velkomoravská je mnohem výraznější vliv automobilové dopravy, než na stanici Olomouc-Šmeralova.

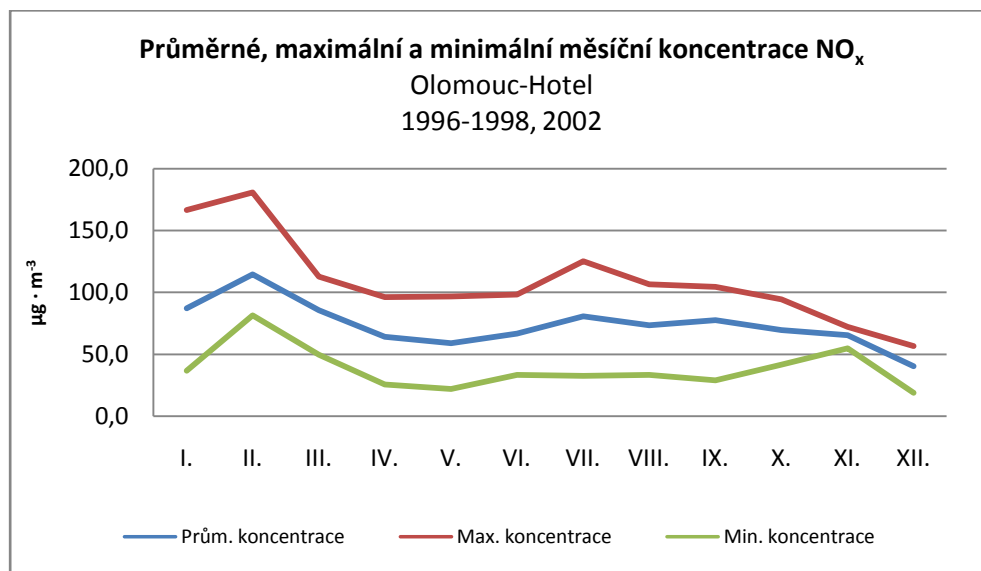
**Obr. 10** Průměrné, maximální a minimální měsíční hodnoty NO<sub>2</sub> naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)



Na grafu maximálních koncentrací NO<sub>2</sub> na obr. 10 na stanici Olomouc-Velkomoravská z let 2004-2006 máme tentokrát jiný průběh chodu během roku. Maximum hodnot se vyskytuje především v lednu a po krátkém klesání až do srpna dochází k opětovnému nárůstu, který končí zase až v lednu. Jiná situace je ale v případě minimálních koncentrací. Ty jsou v lednu nejnižší a až do března stoupají. Následuje klesání, které končí v srpnu a po zářijovém stoupaní tato křivka opět klesá. Na grafu na obr. 11 je trend u koncentrací NO<sub>x</sub> naměřených na stanici Olomouc-Hotel úplně jiný. Nejvyšší jsou zachyceny v prvních dvou měsících roku a po výrazném poklesu v první polovině roku dochází v měsíci červenci k náhlému vzestupu, který opět vystřídá

klesání až do konce prosince. V porovnání se stanicí Olomouc-Šmeralova byly v letech 1996–1998 a v roce 2002 naměřeny skoro dvojnásobné hodnoty koncentrací  $\text{NO}_x$ , za což beze sporu může blízkost frekventované pozemní komunikace.

**Obr. 11** Průměrné, maximální a minimální měsíční koncentrace  $\text{NO}_x$  naměřené v letech 1996-1998 a 2002 na stanici Olomouc-Hotel (podle podkladů z databáze ISKO)



Pokud se vrátíme zpět ke koncentracím  $\text{NO}_2$ , máme v přílohách D.1, D.3 a D.4 podrobnější grafy průměrných měsíčních koncentrací pro jednotlivé roky na stanici Olomouc-Šmeralova, Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská. Na prvně jmenované stanici je po celých deset sledovaných let zaznamenán stále stejný průběh ročního chodu. Na dalších dvou stanicích se ale každý ze čtyř zachycených let chová nejen jinak, než tomu bylo na stanici Olomouc-Šmeralova, ale zvláště průběh měsíčních koncentrací  $\text{NO}_2$  na stanici Olomouc-Velkomoravská je každý rok jiný.

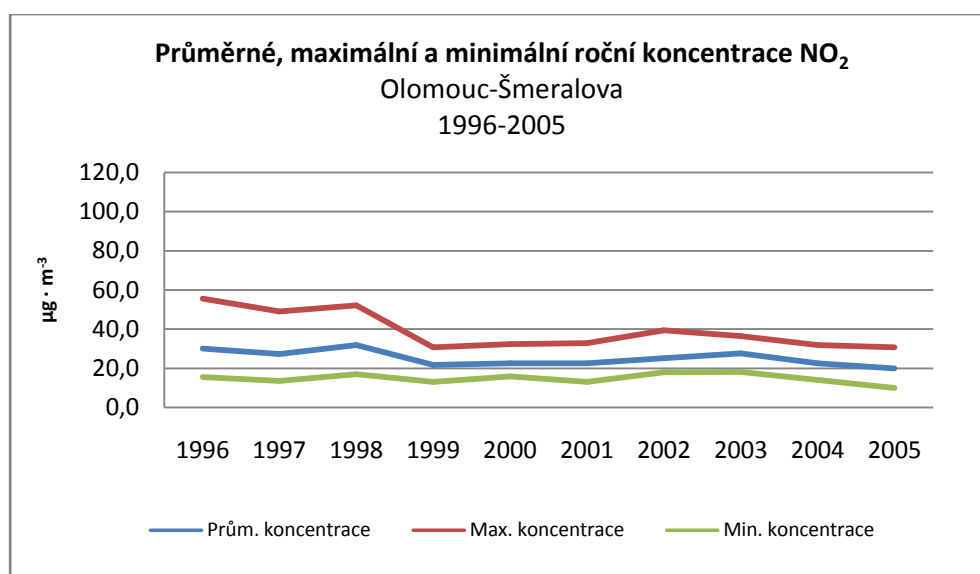
Za povšimnutí stojí graf v příloze D.3, který zachycuje chod koncentrací  $\text{NO}_2$  na stanici Olomouc-Hotel v jediném roce, kdy se  $\text{NO}_2$  měřilo, tedy v roce 2003. Tyto hodnoty jsou dvojnásobně a někdy i vícenásobně vyšší než například na stanici Olomouc-Šmeralova.

V příloze D.2 máme pro doplnění situace v lokalitě Šmeralova grafy chodu koncentrací  $\text{NO}_x$  pro jednotlivé roky. Výrazně jiný je rok 1998, konkrétně situace zaznamenaná v únoru, kdy dochází k nebývalému vzestupu těchto koncentrací. Tato situace je zachycena nejen na stanici Olomouc-Šmeralova, ale i dále na stanici Olomouc-Hotel v příloze D.5. Tato shoda přímo vylučuje jakoukoliv chybu v měření,

protože je velmi malá pravděpodobnost, že by se ta samá chyba stala na dvou stanicích v jeden měsíc najednou, zvláště pokud prováděly měření dvě organizace nezávisle na sobě.

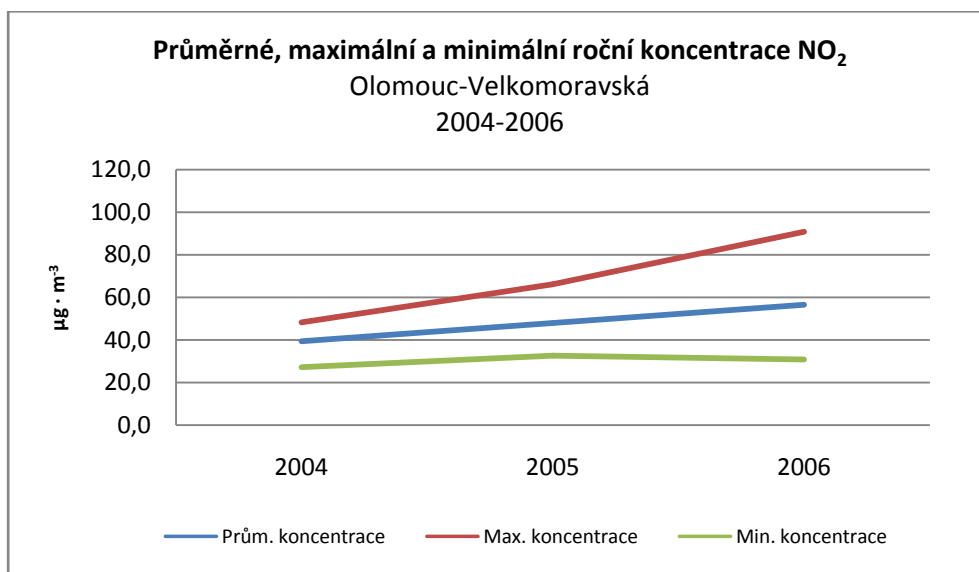
V případě  $\text{NO}_x$  se na stanici Olomouc-Šmeralova (příloha D.2) pohybují nejvyšší koncentrace v prvních třech letech, a to kolem  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , nejnižší kolem  $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Od roku 1999 dochází ke změně, kdy průměrné hodnoty koncentrací klesají. Nejvyšší dosahují hranice kolem 40, 50, výjimečně  $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejnižší hodnoty koncentrací se pohybují ale stále kolem 15 až  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na stanici Olomouc-Hotel (příloha D.5) jsou všechny koncentrace výrazně vyšší než na předešlé stanici. Nejvyšší překračují hranici  $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vůbec nejvyšší průměrná koncentrace  $\text{NO}_x$  byla změřena v únoru 1998 na stanici Olomouc-Hotel a překračuje jako jediná limit  $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

**Obr. 12** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace  $\text{NO}_2$  naměřené v letech 1996-2005 na stanici Olomouc-Šmeralova (podle podkladů z databáze ISKO)



Na grafech na obrázcích 12 a 13 mámě opět přehledné srovnání ročních průměrů  $\text{NO}_2$  na stanicích Olomouc-Šmeralova a Olomouc-Velkomoravská, které následně doplňují grafy průměrných koncentrací podle měsíců roku v příloze D.6 a D.7.

**Obr. 13** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace NO<sub>2</sub> naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce)



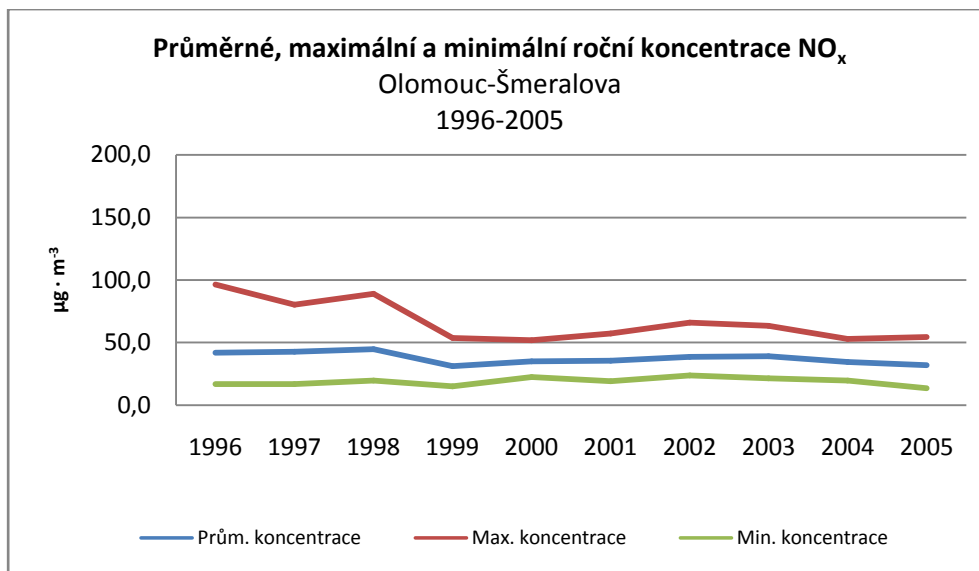
Z předešlých dvou grafů se dá snadno vyčíst, že nejhorší situace, co se týče přítomnosti NO<sub>2</sub> v ovzduší, byla na stanici Olomouc-Šmeralova v prvních třech sledovaných letech (obr. 12). Po poklesu v letech 1999-2001 došlo k nepatrnému nárůstu a následné stagnaci. V lokalitě Velkomoravská máme pouze omezené období pro sledování. I přesto je zde vidět, že od roku 2004 dochází k neustálému stoupání trvajícím až do roku 2006 (obr 13).

Nejzajímavější průběh v příloze D.6 má graf únorových koncentrací NO<sub>2</sub>. Zde se výrazně odlišují roky 1996, 1998 a 2003, které často obsazovaly v jednotlivých měsících první místa v hodnocení nejvyšších naměřených koncentrací NO<sub>2</sub>. Dalším zajímavým grafem jsou srpnové koncentrace a téměř dvojnásobek v roce 1998. Roky 1996, 1998 a 2003 se tedy mohou zařadit mezi nejznečištěnější ve sledovaném desetiletí, a to nejen v případě koncentrací NO<sub>2</sub>. Výsledky v příloze D.7 vykazují téměř ve všech měsících stoupající tendenci. Jinak řečeno se koncentrace každým rokem navyšují.

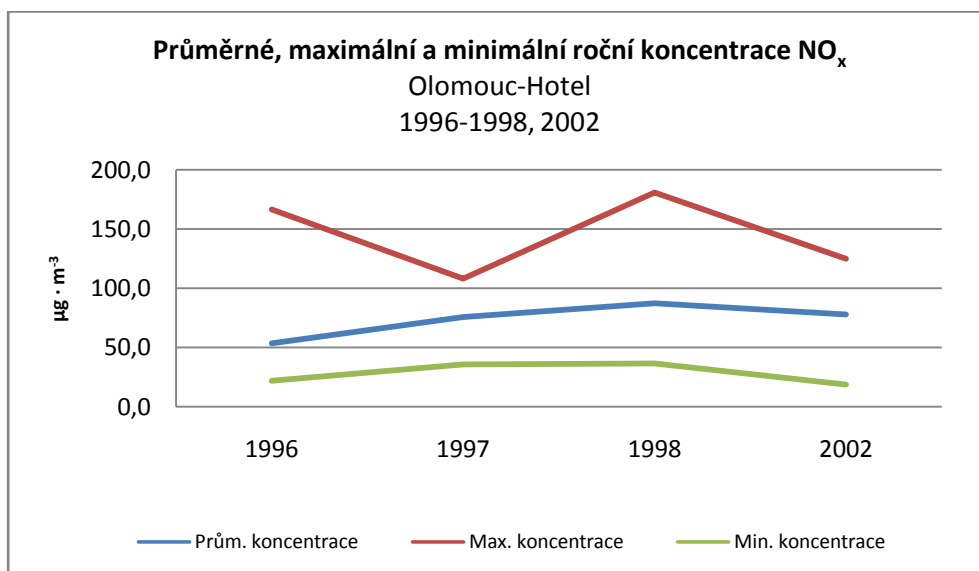
Graf průměrných, maximálních a minimálních ročních koncentrací NO<sub>x</sub> na obrázku 14 ze stanice Olomouc-Šmeralova vykazuje stejný průběh jako v případě NO<sub>2</sub> na obrázku 12 ze stejné stanice. Na stanici Olomouc-Hotel v grafu na obr. 15 je situace velmi chaotická a data se tu nijak porovnávat nedají. Pouze se dá říci, že v případě maximálních hodnot NO<sub>x</sub> rok 1996 s výrazně vyššími hodnotami vystřídal rok 1997

s výrazně nižšími hodnotami a tento trend se opakuje. Průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  vykazují stoupající tendenci.

**Obr. 14** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace  $\text{NO}_x$  naměřené na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996-2005 (podle podkladů z databáze ISKO)



**Obr. 15** Průměrné, maximální a minimální roční koncentrace  $\text{NO}_x$  naměřené v letech 1996-1998, 2002 na stanici Olomouc-Hotel (podle podkladů z databáze ISKO)



Podrobnější náhled dávají jednotlivé grafy v příloze D.8. Kromě února, kdy opět vystupují roky 1996 a 1998 výrazně nad ostatní, je zde ještě leden, kde se vyskytují nejvyšší koncentrace v roce 1996. Ty až do roku 1999 klesají a po stoupání do roku

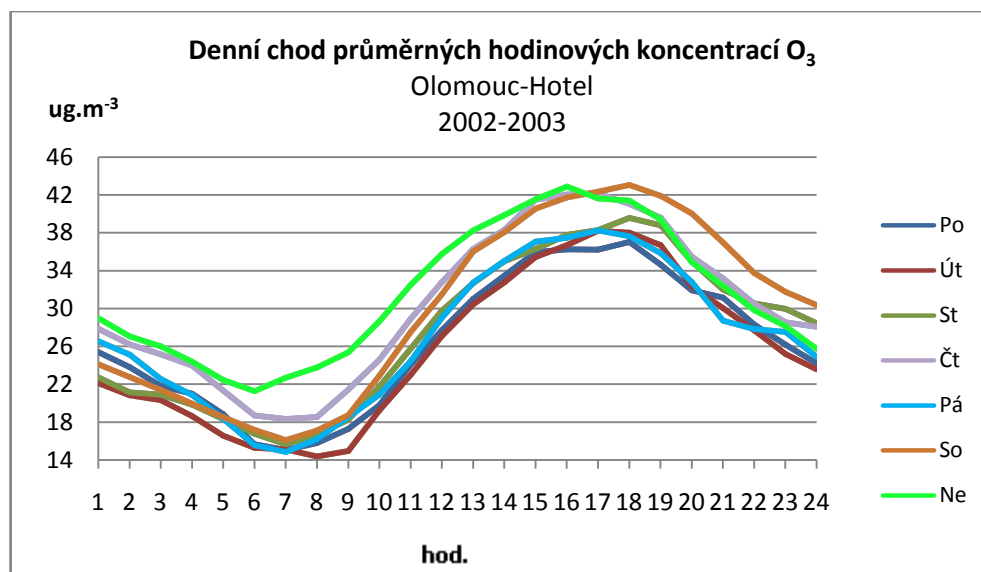


2002 dochází zase k mírnému klesání. V ostatních měsících byly po celých deset let měřeny podobné hodnoty. V příloze D.9 je situace úplně jiná. Zatímco například v lednu byly nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$  naměřeny v roce 1996 (dokonce čtyřikrát vyšší než v roce 1998 ve stejném měsíci), v únoru je situace úplně opačná a koncentrace z roku 1996 jsou najednou poloviční než v roce 1998. Celkově se dá ale shrnout, že mají obecně koncentrace  $\text{NO}_x$  naměřené na této stanici stoupající tendenci.

#### 4.4 Denní chod koncentrací $\text{O}_3$ a $\text{NO}_2$

K následující analýze je zapotřebí vlastnit data o hodinových průměrech  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$ . Bohužel nejsou k dispozici ze stanice Olomouc-Šmeralova, takže se musíme spokojit pouze s daty ze stanic Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská, k čemuž nám slouží grafy na obr. 16 a 17.

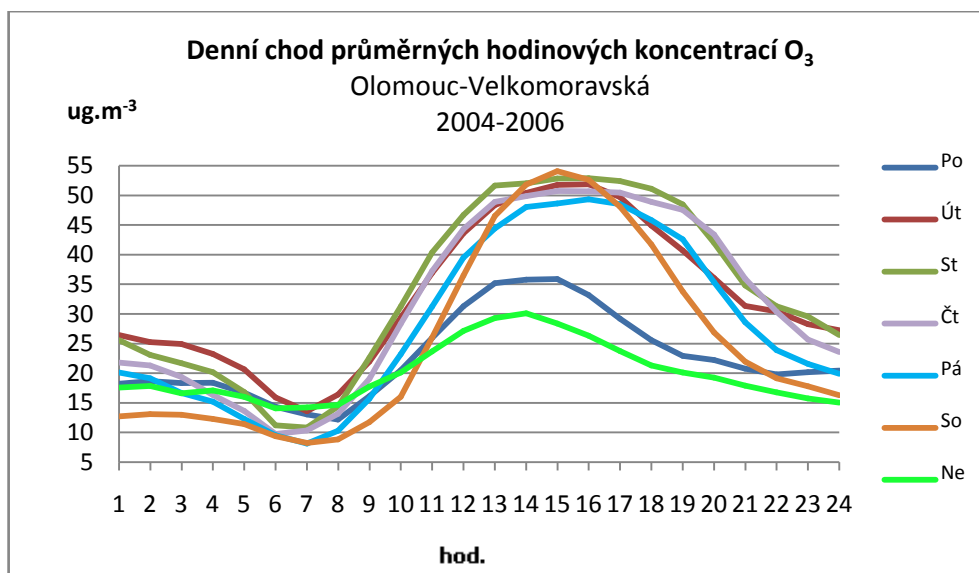
**Obr. 16** Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{O}_3$  v jednotlivých dnech týdne naměřený na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



Při porovnávání chodu koncentrací přízemního ozonu v průběhu jednotlivých dnů týdne získáváme na obou stanicích odlišné výsledky. Co je pro obě stanice společné, je denní chod. Vždy se jedná o denní maximum v odpoledních hodinách, zřejmě v důsledku dopravních špiček a denního teplotního maxima, a denní minimum v časných ranních hodinách kolem 6. a 7. hodiny. Nejvyšší koncentrace  $\text{O}_3$  na stanici Olomouc-Hotel jsou zaznamenány během sobot, nedělí a kupodivu i čtvrtků. Víkendová

maxima jsou zřejmě spojena se zvýšením koncentrace dopravy, kdy se obyvatelé města vrací po víkendu do svých domovů. Naopak nejnižší koncentrace jsou vykazovány během pondělků a úterků (obr. 16).

**Obr. 17** Denní chod průměrných hodinových koncentrací O<sub>3</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



Na stanici Olomouc-Velkomoravská na obr. 17 jsou v odpoledních hodinách zaznamenány maximální koncentrace přízemního ozonu během úterků, střed, čtvrtků a sobot. Naopak minimální koncentrace přízemního ozonu jsou v tuto dobu o nedělích a pondělcích.

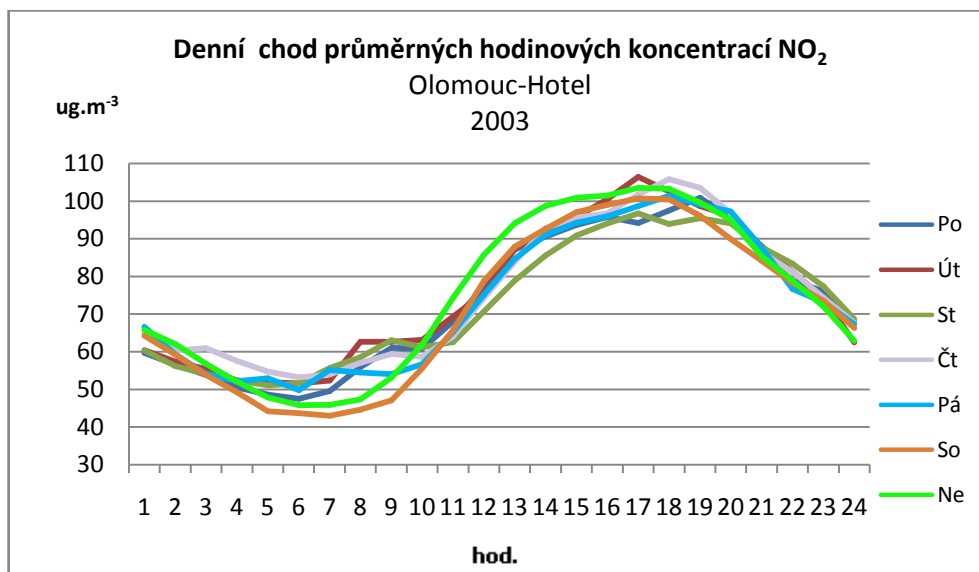
Jak již bylo řečeno, minimální koncentrace O<sub>3</sub> na obou sledovaných stanicích jsou vždy naměřeny v časných ranních hodinách. Na stanici Olomouc-Hotel to je během nedělí. Naopak na stanici Olomouc-Velkomoravská jsou vykazovány v této době nejvyšší hodnoty koncentrací nejen o nedělích, ale i v pondělcích a útercích. Za tuto situaci je zřejmě opět zodpovědné víkendové cestování a následně výjezd nákladních aut na silnice po víkendovém zákazu.

Nejnižší koncentrace jsou v této denní době na stanici Olomouc-Hotel zachyceny během úterků a pátků. Na stanici Olomouc-Velkomoravská jsou to pátky a soboty, což opět ovlivňuje zřejmě měnící se objem tranzitní dopravy.

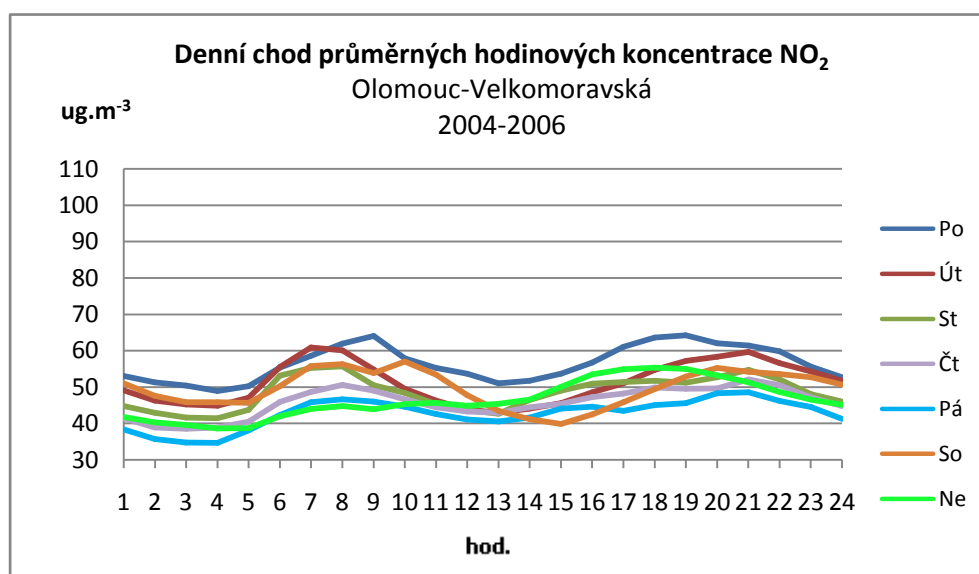
Pro doplnění předešlých grafů nám slouží statistiky o oxidu dusičitém v následujících dvou grafech na obr. 18 a 19. Z nich se dá přibližně zmapovat objem

dopravy v průběhu jednotlivých sledovaných dnů. Na stanici Olomouc-Hotel je opět patrný denní chod s jedním maximem v odpoledních hodinách a jedním minimem v ranních hodinách (obr. 18), což potvrzuje předešlé hodnocení denního chodu průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu na této stanici.

**Obr. 18** Denní chod průměrných hodinových koncentrací NO<sub>2</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřené v roce 2003 na stanici Olomouc-Hotel (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



**Obr. 19** Denní chod průměrných hodinových koncentrací NO<sub>2</sub> v jednotlivých dnech týdne naměřený v letech 2004-2006 na stanici Olomouc-Velkomoravská (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



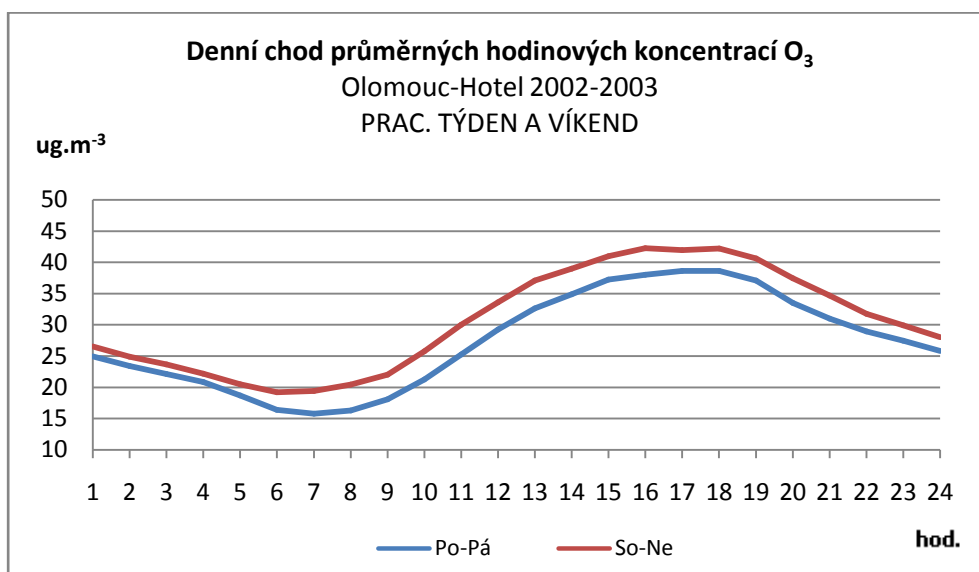
Na stanici Olomouc-Velkomoravská jsou maxima dvě, a to v časných ranních hodinách, a potom opět v odpoledních hodinách (obr. 19). Mezi již zmiňovanou 5. až 11. hodinou nejsou dobré podmínky pro vznik přízemního ozonu a tudíž se  $\text{NO}_2$  nespotřebovává a pouze její koncentrace roste.

V příloze E.1 máme k doplnění popisované problematiky sadu grafů, na kterých je zřetelný denní chod průměrných hodinových koncentrací pro každý den týdne. Grafy se vztahují pouze k situaci na stanici Olomouc-Velkomoravská, protože se zde jedná o statistiky za tři roky. Na stanici Olomouc-Hotel se  $\text{NO}_2$  měřil pouze jeden rok, a proto byla tato data vyloučena z analýzy.

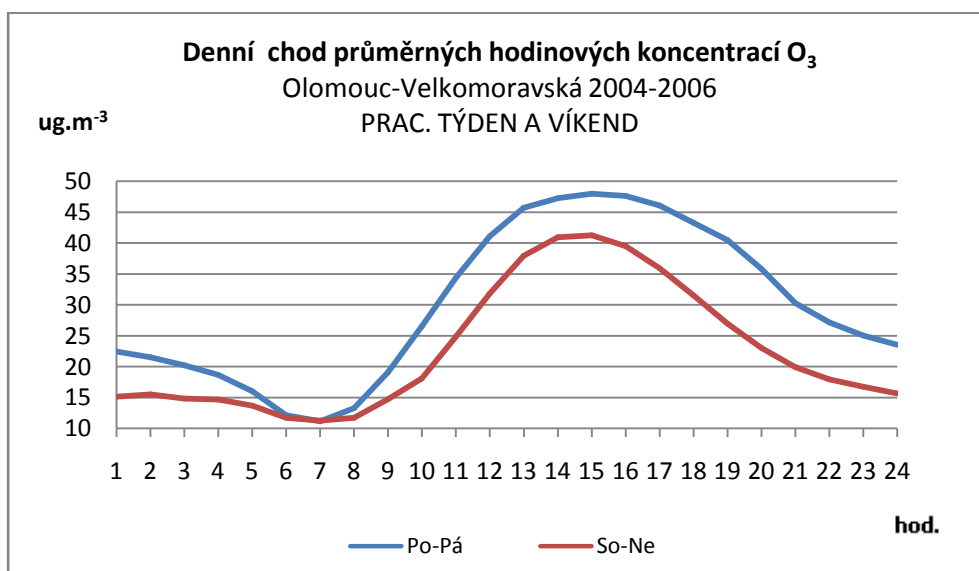
Pokud se podrobněji podíváme na již zmiňované grafy, denní chod koncentrací  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$  vykazuje dva rozdílné trendy. V neděli a pondělí se křivky obou sloučenin za celý den neprotnou a zvláště v neděli je v denním chodu koncentrací zachycen přímo úměrný pokles i vzestup  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$ . Naopak ve zbytku týdne dochází pravidelně mezi 11. a 12. hodinou dopolední k výraznému vzestupu koncentrací přízemního ozonu. V tuto dobu dojde k protnutí křivek obou sloučenin a až do večerních hodin (kolem 19. hodiny) vykazují koncentrace  $\text{O}_3$  vyšší hodnoty než koncentrace  $\text{NO}_2$ . V tuto dobu dochází k opětovnému protnutí křivek a rapidnímu snižování koncentrací přízemního ozonu v důsledku odbourávání této sloučeniny.

V teoretické části této práce byl zmiňován tzv. víkendový efekt, který byl popsán skupinou odborníků ve státě Arizona. K potvrzení této skutečnosti a hlavně k porovnání popisované situace se situací v Olomouci slouží následující grafy na obr. 20 a 21. Na obou grafech je zarážející úplně odlišný chod koncentrací přízemního ozonu v pracovním týdnu a o víkendu. Na stanici Olomouc-Hotel vykazují průměrné víkendové koncentrace během denního chodu po celou dobu mnohem vyšší hodnoty než průměrné koncentrace během pracovních dnů. V následujících třech letech, tentokrát na stanici Olomouc-Velkomoravská, je ale situace přesně opačná. Po celý den koncentrace přízemního ozonu o víkendu nepřekročí stejné koncentrace naměřené během pracovních dnů. K doplnění popisovaných skutečností slouží grafy denních chodů průměrných hodinových koncentrací  $\text{NO}_2$  na obou sledovaných stanicích v příloze E.2. Z nich se dá snadno zjistit, že se koncentrace dopravy u těchto stanic o víkendu i ve zbytku týdne nijak výrazně neliší a proto jsou výše zjištěné informace o přízemním ozonu velmi zarážející.

**Obr. 20** Denní chod průměrných hodinových koncentrací O<sub>3</sub> ve dnech pracovního týdne a o víkendu naměřené na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



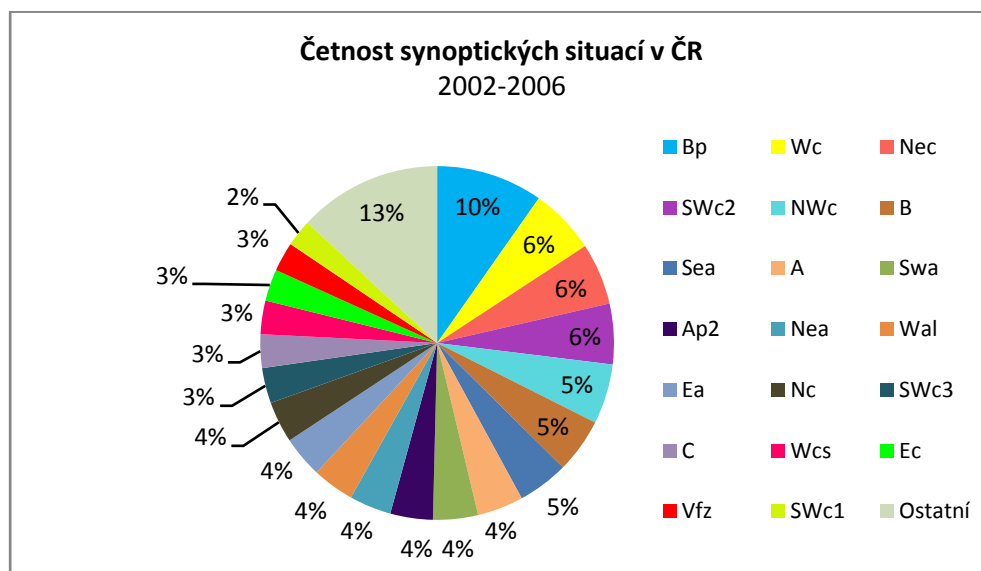
**Obr. 21** Denní chod průměrných hodinových koncentrací O<sub>3</sub> ve dnech pracovního týdne a o víkendu naměřené na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle podkladů z databáze Magistrátu města Olomouce)



#### 4.5 Vliv synoptických situací na denní chod koncentrací O<sub>3</sub>

S tvorbou přízemního ozonu nesouvisí pouze automobilová doprava, topné objekty a škodliviny v ovzduší s tím spojené, ale i aktuální ráz počasí, tedy teploty a také povětrnostní situace. Díky dat z ČHMÚ o povětrnostních situacích se dají vytvořit grafy četností jednotlivých synoptických situací, které jsou na obr. 22 a dále podrobněji v příloze F.1. Zde jsou situace rozděleny do dvou bloků, aby bylo možno zhodnotit stav v letech 2002-2003, kdy se měřilo na stanici Olomouc-Hotel, a v letech 2004-2006, kdy se měřilo na stanici Olomouc-Velkomoravská.

**Obr. 22** Četnost synoptických situací v letech 2002-2006 nad územím České republiky (podle podkladů ČHMÚ, online)



Z předchozího grafu na obrázku 22 je zřejmé, že největší podíl sledovaného období procházela nad Českem brázda postupující přes střední Evropu (Bp). Tato situace se opakuje výhradně v letních měsících, a to jen krátce. Bude mít tedy přímou souvislost s tvorbou a odbouráváním přízemního ozonu na území města Olomouce, což je zřejmé na grafech denních chodů průměrných hodinových teplot a průměrných hodinových koncentrací O<sub>3</sub> při této povětrnostní situaci v přílohách F.2 a F.3. Je zde zřejmý nárůst teploty po 11. hodině a s tím spojené zvýšení koncentrací přízemního ozonu. Zvláště je tento jev patrný na grafu ze stanice Olomouc-Velkomoravská. Po 15. hodině ale dochází ke stejně rychlému odbourávání O<sub>3</sub>. Podle četnosti povětrnostních situací na sledovaných stanicích viditelné na grafu v příloze F.1 můžeme vysledovat, že tato situace obsadila první místo v obou obdobích.

O něco méně častější, přesněji o 4 %, se opakovala západní cyklonální situace (Wc), severovýchodní cyklonální situace (Nec) a jihozápadní cyklonální situace (SWc2). Výskyt západní cyklonální situace je obvykle evidován po celý rok, častěji pak v letních a zimních měsících. Větší podíl výskytu byl zaznamenán (příloha F.1) v prvních dvou sledovaných letech, tedy v průběhu let 2002 a 2003. Podle grafu denního chodu průměrných hodinových teplot a průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu ze stanice Olomouc-Hotel v příloze F.2 není patrný výraznější vzestup teplot ani koncentrací O<sub>3</sub>. Zato ve stejném grafu ze stanice Olomouc-Velkomoravská v příloze F.3 je zachycen podobný denní chod jako u již popisované brázdy postupující přes střední Evropu. Opět zde dochází od 11. hodiny k vzestupu teploty a s tím i k vzestupu koncentrací přízemního ozonu, což opět končí ve večerních hodinách.

Severovýchodní cyklonální situace se vytváří nejčastěji uprostřed léta. Četnější byla v letech 2002-2003. Denní chod průměrných hodinových teplot i průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu je při této situaci konstantní. Při jihozápadní cyklonální situaci, která se objevuje převážně od května do září, tedy v době, kdy jsou koncentrace přízemního ozonu v poměru celého roku na maximu, se opět setkáváme s prudkým stoupáním průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu v průběhu dne. Tentokrát dochází k vzestupu již kolem 10. hodiny dopolední a po kulminaci kolem 15. hodiny odpolední koncentrace až do časných ranních hodin klesají.

Po 5 % četnosti výskytu mají severozápadní cyklonální situace (NWc), brázda nízkého tlaku nad střední Evropou (B) a jihovýchodní anticyklonální situace (Sea). Severozápadní cyklonální situace byla v letech 2002-2003 až čtrnáctou nejčastější povětrnostní situací, kdežto v letech 2004-2006 obsadila v četnosti již druhé místo. Její výskyt je převážně v průběhu zimy. Průběh chodu průměrných hodinových teplot je při této situaci téměř konstantní a ani průměrné hodinové koncentrace přízemního ozonu nevykazují výraznější výkyv od normálu.

Brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou typická pro duben až květen a říjen až listopad byla častěji zastoupena v letech 2004-2006. V předešlých dvou letech byl průběh průměrných hodinových teplot i průměrných hodinových koncentrací O<sub>3</sub> naprosto konstantní v celém denním chodu. Naproti tomu v letech 2004-2006 vykazuje graf denního chodu kolem 8. hodiny ranní vzestup koncentrací přízemního ozonu, kulminaci v odpoledních hodinách a postupné klesání až do časných ranních hodin.

Při jihovýchodní anticyklonální situaci dochází zvláště v období let 2004 až 2006 k nejprudšímu stoupaní hodinových koncentrací  $O_3$  v průběhu dne, což dokazuje, že při tomto rázu počasí byly pro vznik přízemního ozonu ty nejlepší podmínky. Dokonce jsou naměřené koncentrace  $O_3$  při této situaci nejvyšší vůbec. V prvních dvou letech byla Sea dokonce čtvrtou nejčastější synoptickou situací. V následujících letech klesla ale až na jedenáctou příčku.

Podobný průběh, jako při předchozí situaci, je i v případě anticyklóny nad střední Evropou (A), která byla častější v prvních dvou sledovaných letech. Průběh chodu průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu je opět velice výrazný a dosahuje zvláště na stanici Olomouc-Velkomoravská hodnot vyšších než  $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (v předchozím případě koncentrace dosahovaly hodnoty až  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Četnost východní anticyklonální situace (Ea) a severovýchodní anticyklonální situace (Nea) se pohybují celkově kolem 3 %, ale častější byly v letech 2002 a 2003. V případě první zmiňované nacházíme podobný průběh jako při průběhu anticyklony nad střední Evropou, který je výraznější s daty ze stanice Olomouc-Velkomoravská, kdežto při druhé zmiňované situaci je denní chod koncentrací přízemního ozonu i teploty téměř konstantní.

Při jihozápadní anticyklonální situaci (SWa) jsou opět velmi příznivé podmínky pro tvorbu přízemního ozonu, což opět dokazují grafy v příloze F.2 a F.3. Častěji se tato situace opakovala v letech 2004-2006.

V příloze F.4 jsou dále podrobné vysvětlivky ke zkratkám všech použitých povětrnostních situací.

#### **4.6 Sluneční záření a koncentrace ozonu v Olomouci**

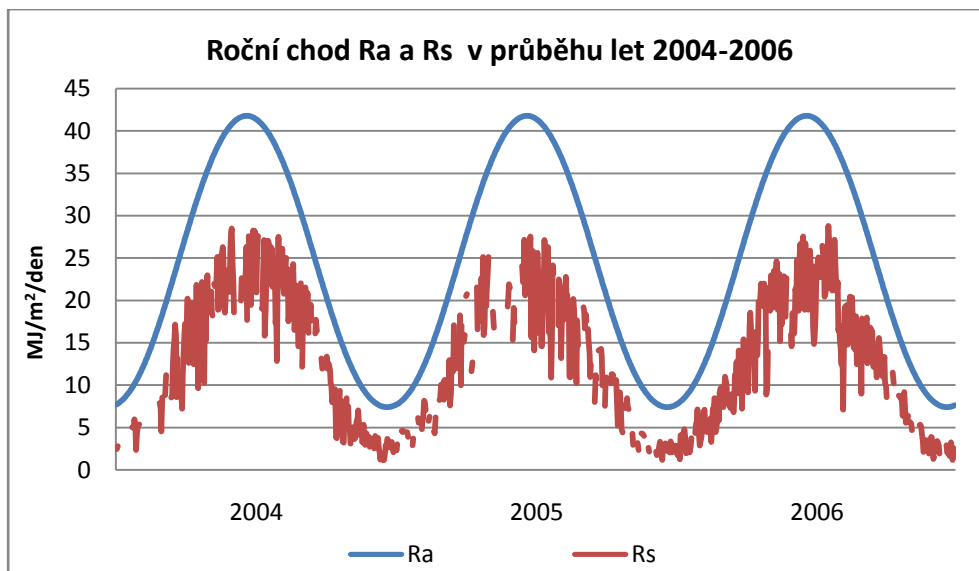
V souladu s metodikou Chinekeho (2008) byly určeny denní úhrny extraterestrálního slunečního záření  $R_a$  a denní hodnoty globálního slunečního záření  $R_s$ , a to pro období let 2004-2006. Pro výpočty byla použita data o průměrných, maximálních a minimálních denních teplotách naměřených na stanici Olomouc-Velkomoravská.

Na obr. 23 máme roční chod obou typů slunečního záření. Graf extraterestrálního slunečního záření tvoří podle očekávání pravidelnou sinusoidu. Maxima denních úhrnů extraterestrálního slunečního záření se pohybují mezi 40 až 45



MJ/m<sup>2</sup>/den a jsou vázána na období kolem letního slunovratu, minima mezi 5 až 10 MJ/m<sup>2</sup>/den jsou vázána na období zimního slunovratu.

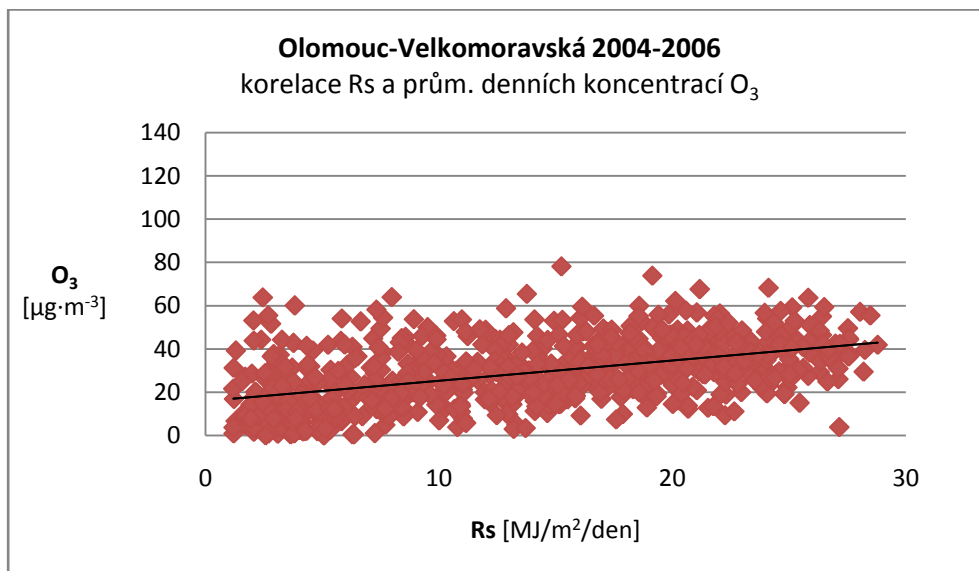
**Obr. 23** Roční chod extraterestrálního (Ra) a globálního (Rs) slunečního záření v průběhu let 2004-2006 (vypočítáno podle dat z Magistrátu města Olomouce)



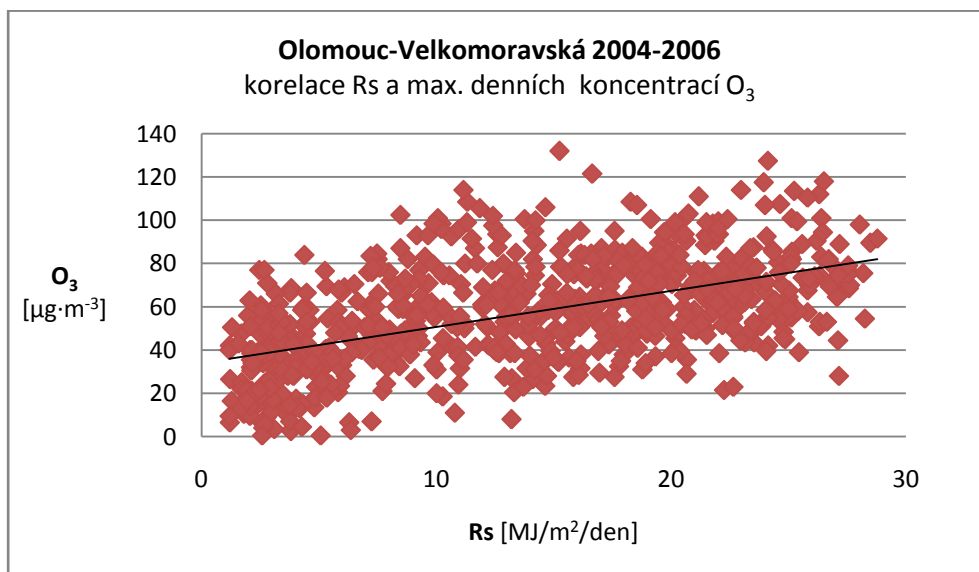
V chodu hodnot globálního slunečního záření jsou patrné časté absence dat, což je způsobeno výpadky v měření na stanici Olomouc-Velkomoravská. Nejvíce dat chybí z roku 2005. Ale i přesto můžeme v grafu na obr. 23 vysledovat rozdílné chody v každém sledovaném roce. Intenzita globálního slunečního záření stoupá v první polovině roku až k hodnotám mezi 25 a 30 MJ/m<sup>2</sup>/den. Ale již od července dochází ke klesání až na hodnoty nižší než 5 MJ/m<sup>2</sup>/den. Pro názornější představu máme v příloze G pro sledované roky 2004, 2005 a 2006 samostatné grafy ročního chodu Ra a Rs.

Souvislost s tvorbou přízemního ozonu nám zřetelně ukazuje graf korelace Rs a průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na obr. 24, stejně tak i korelace Rs a maximálních denních koncentrací O<sub>3</sub> na obr. 25. Na obou grafech můžeme vysledovat pozitivní závislost hodnocených veličin, protože se u prvního i druhého grafu opakuje, že se vzrůstajícími hodnotami Rs vzrůstají i koncentrace přízemního ozonu. V případě grafu na obr. 24 jde o těsnější výsledek. Rovnice regrese má zde tvar  $y = 9E - 0,7x + 15,87$ . V grafu na obr. 25 máme zase strmější stoupání spojnice trendu. Rovnice regrese je ve tvaru  $y = 2E - 0,6x + 34,02$ .

**Obr. 24** Korelace hodnot  $R_s$  a průměrných denních koncentrací  $O_3$  na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)

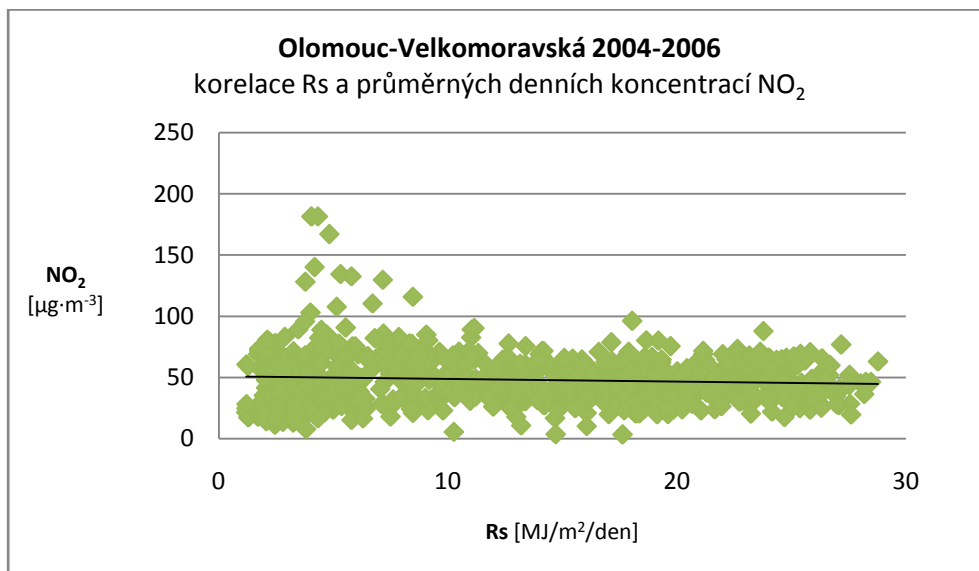


**Obr. 25** Korelace hodnot  $R_s$  a maximálních denních koncentrací  $O_3$  na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)

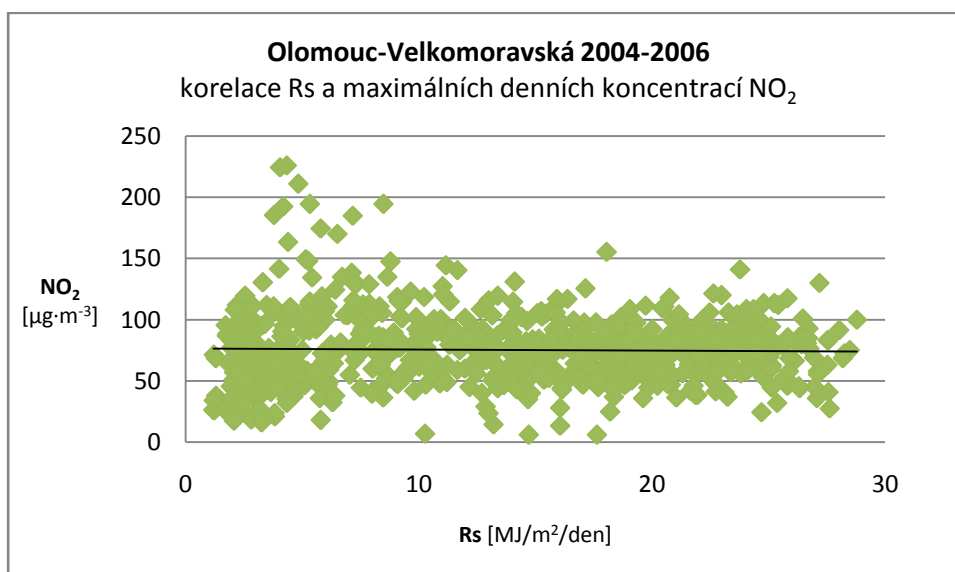


Pro doplnění byly vytvořeny ještě další dva grafy na obr. 26 a 27. Jedná o závislosti  $R_s$  a průměrných denních a maximálních koncentrací  $NO_2$ . Jak nám ale ukazují spojnice trendu, nebyla zde nalezena skoro žádná závislost a navíc zvláště v grafu na obr. 27 můžeme vysledovat značný rozptyl hodnocených veličin.

**Obr. 26** Korelace hodnot  $R_s$  a průměrných denních koncentrací  $\text{NO}_2$  na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



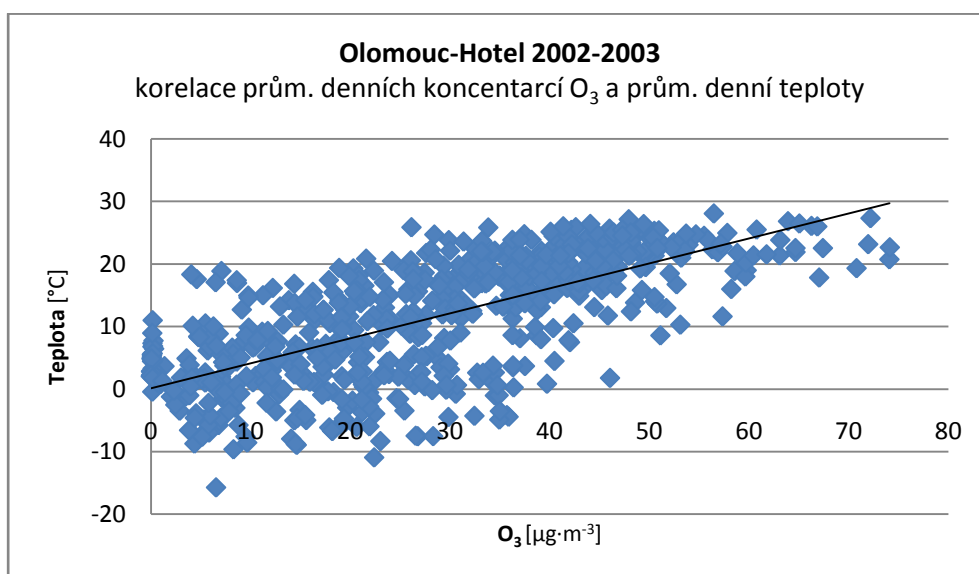
**Obr. 27** Korelace hodnot  $R_s$  a maximálních denních koncentrací  $\text{NO}_2$  na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



## 4.7 Hodnocení závislosti průměrné denní teploty a průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub>

Jedním z mnoha faktorů, které ovlivňují vznik přízemního ozonu, je také teplota. Bohužel nejsou k dispozici data ze stanice Olomouc-Šmeralova, takže se musíme zaměřit pouze na roky 2002-2006. Následující grafy na obr. 28 a 29 by nám měly dát odpověď na otázku, do jaké míry hraje aktuální teplota důležitou roli při procesu vzniku O<sub>3</sub>.

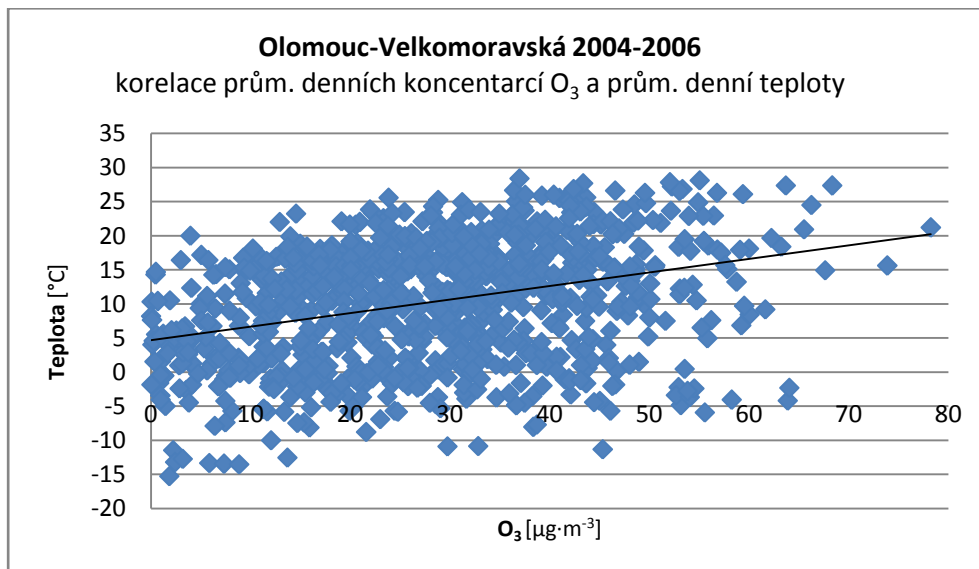
**Obr. 28** Korelace průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> a průměrné denní teploty na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002-2003 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



V grafu na obr. 28 máme první část sledovaného období, a to data ze stanice Olomouc-Hotel z let 2002-2003. Spojnice trendu zde má celkem výraznou stoupající tendenci, což opravdu dokazuje, že se vzrůstající teplotou rostou i výrazně koncentrace přízemního ozonu. Rovnice regrese má tvar  $y = 0,399x + 0,131$ . Jde o celkem výrazný pozitivní vztah.

Zcela totožný průběh máme zachycen i v grafu na obr. 29. I na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 se potvrzuje, že se vzrůstající teplotou stoupají i koncentrace přízemního ozonu. Spojnice trendu zde není tak strmá, ale rovnice regrese je podobná té předešlé, a to  $y = 0,198x + 4,705$ .

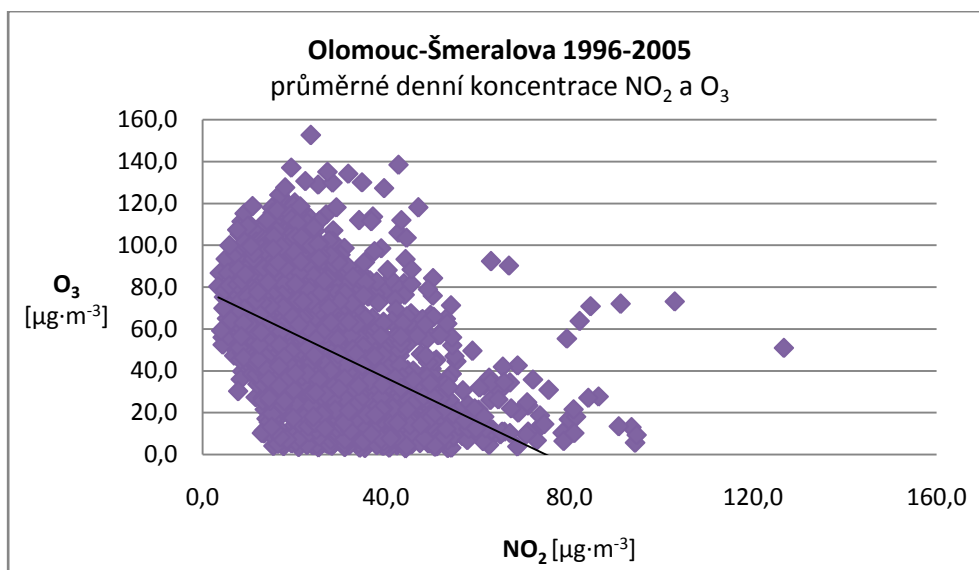
**Obr. 29** Korelace průměrných denních koncentrací  $O_3$  a průměrné denní teploty na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



#### 4.8 Hodnocení závislosti průměrných denních koncentrací $NO_2$ a $O_3$

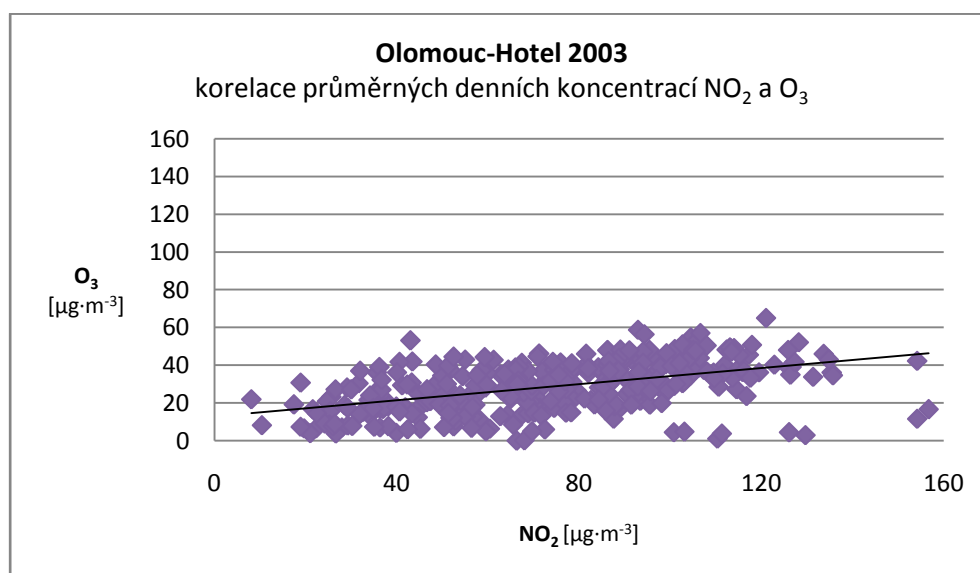
Na tvorbě přízemního ozonu se podílí, jak už bylo řečeno, několik faktorů. V následující kapitole se pokusíme zhodnotit vztahy a závislosti klíčových faktorů při tvorbě  $O_3$  v ovzduší.

**Obr. 30** Korelace průměrných denních koncentrací  $NO_2$  a  $O_3$  na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996-2005 (podle dat z ISKO)



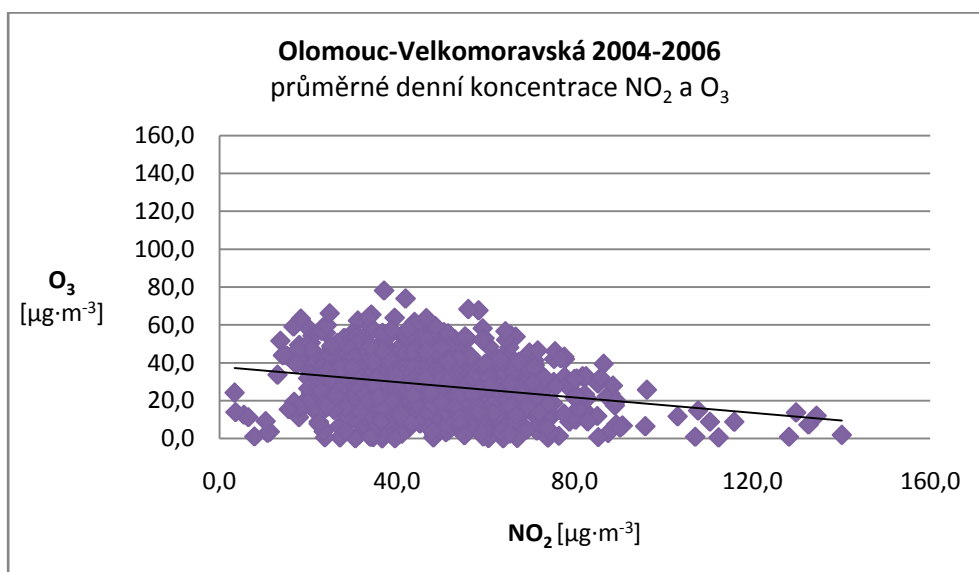
Hned v prvním grafu na obr. 30 máme vyjádřenu závislost průměrných denních koncentrací přízemního ozonu a NO<sub>2</sub>. Tato korelace je vytvořena pro celkem dlouhé období deseti let na stanici Olomouc-Šmeralova. Spojnice trendu je zde prudce klesající, což odpovídá teorii, kdy se zvýšením koncentrací O<sub>3</sub> dochází ke snížení koncentrací NO<sub>2</sub>. Regresní rovnice je zde ve tvaru  $y = -1,051x + 78,65$ . Těsnost je v tomto případě celkem velká. Hodnoty jakoby mimo největší koncentraci v grafu jsou způsobené zvláště rokem 1996, který byl již výše hodnocen jako jeden z nejznečištěnějších let za sledované období.

**Obr. 31** Korelace průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> a O<sub>3</sub> na stanici Olomouc-Hotel v roce 2003 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



V hodnocení závislosti průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> a NO<sub>2</sub> v roce 2003 na stanici Olomouc-Hotel na obr. 31 vidíme úplně odlišný trend než na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996-2005. Najednou se dostáváme do situace, kdy spojnice trendu neklesá, ale naopak stoupá, a kdy má rovnice regrese tvar  $y = 0,214x + 12,86$ . Není to první případ na této stanici, kdy se setkáváme s nějakou zvláštností, a kdy nás výsledek náhle překvapí. Naštěstí jde pouze o data z jednoho roku, a tak by bylo možné je z analýzy vyřadit. Pro úplnost a dotvoření představy, možná i k názoru na to, proč a za jakých podmínek byla tato stanice přemístěna, sem byl tento graf zařazen.

**Obr. 32** Korelace průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> a O<sub>3</sub> na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004-2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce)



Pokud se ale posuneme dál ke grafu průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> a NO<sub>2</sub> v letech 2004-2006 na stanici Olomouc-Velkomoravská na obr. 32, opět se zde setkáváme se stejným, nebo alespoň podobným výsledkem, jako na stanici Olomouc-Šmeralova. Spojnice trendu stoupá, s přibývajícými koncentracemi O<sub>3</sub> ubývá koncentrací NO<sub>2</sub> a rovnice regrese je ve tvaru  $y = -0,202x + 37,94$ .

## 5 Závěr

Při analýzách průměrných měsíčních koncentrací přízemního ozonu byl vysledován na všech třech sledovaných stanicích stejný roční průběh chodu těchto koncentrací. Nejvyšší koncentrace jsou zpravidla zaznamenány v teplých letních měsících, nejnižší pak v měsících zimních. Obecně se měsíce v první polovině roku vyznačují vyššími koncentracemi  $O_3$ . Při porovnávání pozadřové stanice Olomouc-Šmeralova a stanic v dopravou zatížené lokalitě Velkomoravská došlo k nečekanému závěru, kdy se mnohem vyšší koncentrace přízemního ozonu vyskytovaly právě na stanici Olomouc-Šmeralova. Na stanicích Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská dochází buď k rychlejšímu rozptylu této škodliviny, nebo zde nejsou tak dobré podmínky pro jeho vznik, a nebo dochází pouze k jeho rychlejšímu odbourávání.

Při analýzách průměrných měsíčních koncentrací  $NO_2$  naměřených na sledovaných stanicích bylo podle očekávání potvrzeno, že na stanici Olomouc-Velkomoravská i Olomouc-Hotel dosahují koncentrace této látky vyšších hodnot v důsledku blízké komunikace. Stejně výsledky byly zaznamenány i pro  $NO_x$ . Roční chod koncentrací  $NO_2$  i  $NO_x$  je na všech stanicích totožný. Nejvyšší koncentrace jsou zaznamenány v chladných měsících roku, nejnižší pak v měsících teplých.

Při porovnávání let ve zkoumaném desetiletí podle měsíců roku vyšlo, že se nejvyšší koncentrace přízemního ozonu vyskytovaly v letech 1996 a 2003. V případě  $NO_2$  je na stanici Olomouc-Šmeralova zachycen podobný průběh koncentrací, jako u  $O_3$ . Na stanici Olomouc-Velkomoravská dochází od začátku měření ke stálému stoupání koncentrací škodlivin v ovzduší.

V denním chodu průměrných hodinových koncentrací  $O_3$  na stanicích Olomouc-Hotel i Olomouc-Velkomoravská je zachyceno jedno denní minimum kolem 7. hodiny ranní a jedno denní maximum kolem 15. hodiny odpolední. Nejvyšší minimální koncentrace jsou dosaženy ve dnech pondělí, úterý, čtvrtek a neděle. Nejvyšší hodinové koncentrace  $O_3$  v odpoledních hodinách jsou dosaženy ve dnech sobota a neděle na stanici Olomouc-Hotel a na stanici Olomouc-Velkomoravská ve dnech úterý, středa, čtvrtek a sobota.

Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $NO_2$  je na stanici Olomouc-Hotel totožný se stejným chodem přízemního ozonu, tedy s jedním maximumem a jedním minimumem. Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $NO_2$  na stanici Olomouc-



Velkomoravská vykazuje dvě denní maxima, a to kolem 7. a 15. hodiny. Nejvyšší koncentrace a s tím spojený provoz na blízké komunikaci je v úterý, ve čtvrtek a v neděli na stanici Olomouc-Hotel a v pondělí, úterý a sobotu na stanici Olomouc-Velkomoravská. K vysledování víkendového efektu slouží srovnání chodů průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu za pracovní týden a víkend. Tyto chody se na obou stanicích výrazně liší. Na stanici Olomouc-Hotel vykazuje víkendový chod koncentrací  $O_3$  po celý den vyšší hodnoty než během pracovního týdne a na stanici Olomouc-Velkomoravská je tomu přesně naopak.

Na vznik přízemního ozonu má vliv i počasí. Při analýze povětrnostních situací v letech 2002-2006 bylo zjištěno, že synoptické situace, při kterých dochází ke tvorbě a zvyšování koncentrací přízemního ozonu v ovzduší, se častěji vyskytovaly v letech 2004-2006, kdy probíhalo měření na stanici Olomouc-Velkomoravská. V předešlém období je zachyceno více situací, při kterých nacházíme konstantní průběh koncentrací přízemního ozonu po celý den.

V závěru analýz proběhlo porovnávání závislosti koncentrací přízemního ozonu na faktorech, které s jejich vznikem bezprostředně souvisí. V korelacích globálního slunečního záření  $R_s$  a koncentrací  $O_3$  v letech 2004-2006 na stanici Olomouc-Velkomoravská byla odhalena pozitivní závislost. V případě korelací globálního slunečního záření  $R_s$  a koncentrací  $NO_2$  nebyla vysledována téměř žádná závislost. U korelací  $O_3$  a teploty byla též zaznamenána pozitivní závislost. Negativní závislosti vykazovaly korelace  $O_3$  a  $NO_2$  na stanici Olomouc-Velkomoravská a Olomouc-Šmeralova, pouze korelace  $O_3$  a  $NO_2$  na stanici Olomouc-Hotel v roce 2003 potvrdila negativní závislost.

## 6 Shrnutí

Diplomová práce s názvem: „Znečištění ovzduší přízemním ozonem v Olomouci v období let 1996–2005“ měla za cíl vyhodnotit a popsat charakter znečištění venkovního ovzduší na území města Olomouce přízemním ozonem od roku 1996 do roku 2005. Analýzy měly vycházet z dostupných dat z vybraných meteorologických stanic Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská, které se nachází v dopravně zatížené lokalitě. Tyto stanice doplnila Olomouc-Šmeralova, která se nachází v klidnější části města. Potřebná data byla získána z ČHMÚ z databáze ISKO a Magistrátu města Olomouce. Jejich zpracování mělo posloužit k analýzám prostorového rozložení koncentrací přízemního ozonu a jejich chodu v čase.

Dílčím cílem bylo zkoumání souvislosti mezi rozložením koncentrací přízemního ozonu a jeho chodu v čase s intenzitou dopravy v blízkosti měřících stanic. Došlo tedy na porovnávání koncentrací  $\text{NO}_2$ , popř. koncentrací  $\text{NO}_x$ , které se na vzniku přízemního ozonu bezprostředně podílejí, s koncentracemi  $\text{O}_3$  naměřenými ve stejném čase. S tím souviselo i sledování statistik dopravy.

Mimo vlivu dopravy na tvorbu  $\text{O}_3$  byla zahrnuta do analýz i data z ČHMÚ o povětrnostních situacích a data z Magistrátu města Olomouce o naměřených teplotách. Ve stejné souvislosti byla využita i data o průměrných, maximálních a minimálních denních teplotách, ze kterých vzešly hodnoty slunečního záření.

Další analýza se zaměřila na porovnávání koncentrací  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$  během jednotlivých dnů v týdnu od pondělí do neděle (průběh během 24 hodin) a posléze srovnání situace během pracovního týdne a víkendu a vysledování tzv. víkendového efektu. V závěru práce byly zkoumány vlivy, které působí při tvorbě přízemního ozonu nejvíce. Jednalo se o  $\text{NO}_2$ , globální sluneční záření a teplotu.

Analýzy průměrných měsíčních koncentrací  $\text{O}_3$  poukázaly na shodný chod během roku. Nejvyšší koncentrace  $\text{O}_3$  jsou zaznamenány v teplých měsících roku, nejnižší koncentrace pak v měsících chladných. V první polovině roku jsou průměrné měsíční koncentrace  $\text{O}_3$  vyšší než během druhé poloviny roku. Na stanicích Olomouc-Hotel a Olomouc-Velkomoravská přímo sousedící s frekventovanou komunikací byly naměřeny průměrně nižší koncentrace  $\text{O}_3$ , než na stanici Olomouc-Šmeralova, která se nachází v klidnější části města. V desetiletém srovnání ročních průměrných koncentrací

O<sub>3</sub> se vykazují roky 1996, 1998 a 2003 jako nejznečištěnější. Naopak v období kolem roku 2000 a kolem roku 2005 byla situace uklidněná.

Analýzy průměrných měsíčních koncentrací NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> odhalily opět pravidelnost v ročním chodu. Nejvyšší koncentrace jsou v zimních měsících roku, nejnižší v měsících letních, kde je potvrzena souvislost se vznikem O<sub>3</sub>. Zvyšování koncentrací NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> zvláště na stanici Olomouc-Velkomoravská souvisí s daty o sčítání dopravy, kdy se množství projetých vozidel za sledované období zvětšilo na dvojnásobek.

Z denních chodů koncentrací O<sub>3</sub> byl vysledován pravidelný průběh s jedním maximem a jedním minimem během dne. Nejvyšší hodinové koncentrace O<sub>3</sub> u maximálních hodnot kolem 15. hodiny odpoledne byly naměřeny ve středu, ve čtvrtek, v sobotu a v neděli. Víkendový efekt se na zkoumaných stanicích nepotvrdil.

Z výsledků povětrnostních situací vyplynulo, že v letech 2002-2003 převažovalo počasí s rovnoměrným denním průběhem. V letech 2004-2006 se opakovalo převážně počasí s velkými denními výkyvy koncentrací O<sub>3</sub>. Z průběhu chodu slunečního záření během let 2003-2006 nebyla vysledována výrazná odchylka od normálu.

Pozitivní závislost byla odhalena u O<sub>3</sub> a slunečního záření, u O<sub>3</sub> a teploty a u O<sub>3</sub> a NO<sub>2</sub> na stanici Olomouc-Hotel. Negativní závislost byla mezi O<sub>3</sub> a NO<sub>2</sub> na stanicích Olomouc-Šmeralova a Olomouc-Velkomoravská.

## 7 Summary

The main aim of the diploma thesis *Ground-level ozone air pollution in the city of Olomouc in 1996–2005* was to evaluate and describe the feature of the ground-level ozone air pollution in the city of Olomouc. The analyses were based on dates taken from the chosen meteorological stations „Olomouc–Hotel“ and „Olomouc–Velkomoravská. They are situated in the heavy traffic location of the city. Those dates were completed with information from „Olomouc–Šmeralova Institute“ placed in the peaceful part of the city. The needed information was taken from the Czech Hydrometeorological Institute’s database: „Air quality information“ and the Municipal authorities of Olomouc. The processing of dates helped to analyse the spread and the occurrence of the ground–level ozone concentration in the time stated.

The partial focus of the thesis was to research the consequence among the spread of the ground–level ozone concentration, its occurrence and the effect of the frequency of transport near the measured institutions.

The work compared the nitrogen dioxide, NO<sub>x</sub> evaporations and the ozone concentration measured in the same time. These concentrations produce the ground-level ozone. The weather condition dates from the Czech Hydrometeorological Institute, the traffic statistics and temperature information from the Municipal Authorities of Olomouc were included too. The dates about the average, maximal and minimal daily temperatures, valuating the amount of the solar radiation were used either.

The another analyse compared the ozone concentration and nitrogen dioxide during each day a week (from Monday to Friday: twenty–four hours a day). Then the comparison of the workweek and weekend situation were done to prove so called “weekend effect”

Finally, the diploma thesis dealt with the effects influencing the production of the ground-level ozone such as: the nitrogen dioxide evaporation, the global solar radiation and temperature.

The result of the average monthly ozone concentration uncovered the same amount of the ozone occurrence in each institution during the year. The highest ozone concentrations are recorded in the warm months of the year, the lowest ozone concentrations are in the cold ones. The average monthly ozone occurrence is higher in the first half-term of the year than in the second one. Moreover, the ozone concentrations in the heavy traffic location were lower than in the peaceful part of the

city. The years 1996, 1998 and 2003 are analysed as the most polluted times in the decade comparison. In the contrary the years 2000 and 2005 are supposed to be the stagnate times.

The analyses of the monthly average nitrogen dioxide, nitric oxide evaporation opened up the regularity in the time stated. The highest concentrations are in the cold months, the lowest ones are in the warm months. The connection of the ozone occurrence and the nitrogen oxide concentration were proved. The results of the graded increase of the NO<sub>2</sub> and nitrogen monoxide concentrations are related to the amount of the heightened traffic especially at Olomouc–Velkomoravská institute.

The highest hour ozone concentrations were measured out on Wednesday, Thursday, Saturday and Sunday around 3 p.m. However, the weekend effect wasn't proved in those institutions. The result of the weather conditions showed up, the years 2002–2003 were the times with the equally day values. On the other hand, the years 2004–2005 were the times with the regular high fluctuation of the ozone concentrations. There was not found any marked deflection of the solar radiation from the standard during the years 2003–2006.

The analysis found out the positive connection among the ozone occurrence and the solar radiation as well as the temperature and the nitrogen dioxide concentration at Olomouc–Hotel institute. The negative connection were analysed between the ozone concentration and the nitrogen dioxide evaporation at „Olomouc–Šmeralova Institute” and „Olomouc–Velkomoravská Institute”.

## 8 Použitá literatura

### Tištěné prameny:

- Adamec, V., Dufek, J.: Produkce emisí dopravy a jejich podíl na celkových emisích v České republice. Ovzduší 1999, Program a sborník konference, str. 45-48. Univerzita Masarykova v Brně, Brno 1999.
- Boubel, R. W. et al.: Fundamentals of Air Pollution. 3rd ed. Academic Press, 1994.
- Broučka, K.: Ochrana ovzduší I. (Zdroje a látky znečišťující ovzduší). Vysoká škola podnikatelská, a.s., Ostrava 2003.
- Elfenbein, Z. a kol.: Velké zdroje znečišťování ovzduší a jejich podíl na celkovém znečišťování ovzduší. Ovzduší 2001, Program a sborník konference, str. 46-49. Univerzita Masarykova v Brně, Brno 2001.
- Fiala, J. a kol.: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1995. Grafická ročenka. ČHMÚ, Praha 1996.
- Fiala, J. a kol.: Stav a vývoj znečištění ovzduší v České republice. Ovzduší 1997, Program a sborník konference. Univerzita Masarykova v Brně, Brno 1997.
- Harrop, O.: Air Quality Assessment and Management. Spon Press, London 2002.
- Horálek, J. a kol.: Vývoj znečištění ovzduší v krajích ČR v letech 1999-2003. Ochrana ovzduší 3/2004, str. 8-16.
- Chineke, C. T.: Equations for estimating global solar radiation in data sparse regions. Renewable Energy 33, vol. 4, 2008.
- Jurek, M.: Kvalita ovzduší v okrese Olomouc a vývoj znečištění atmosféry v období 1981–1990 a 1991–2000 jako odezva na strukturální změny v průmyslu (s možností využití nástrojů GIS). Disertační práce, Ostrava 2007.
- Jůva, K. a kol.: Ochrana půdy, vod a ovzduší. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno 1970.
- Keder, J. a kol.: Možnosti a metodika využití mobilních měřících systémů sledování kvality ovzduší, část II. Problematika liniových zdrojů. Ochrana ovzduší 2/2004, str. 20-24.
- Kol. autorů: Aktuální otázky znečištění ovzduší. Univerzita Karlova v Praze, Ústav pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty a Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v Praze, Praha 2004.
- Kol. autorů: Ochrana čistoty ovzduší. Dům techniky ČSVTS Praha, Praha 1981.
- Kol. autorů: Ochrana čistoty ovzduší. UVTEI, Praha 1971.

- Kol. autorů: Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích. Diderot, Praha 1999.
- Lippert, E., Machálek, P.: Ochrana ovzduší v České republice ve světle posledních politických a strategických dokumentů domácího i mezinárodního původu. Ochrana ovzduší 2/2006, str. 3-11.
- Machálek, P.: Vývoj emisí znečišťujících látek v letech 1999-99. Ovzduší 2001, Program a sborník konference, str. 42-45. Univerzita Masarykova v Brně, Brno 2001.
- Meza, F., Varas, E.: Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. Agricultural and Forest Meteorology 100 (2000), s. 231–241.
- Moldon, B.: Životní prostředí globální perspektiva. Univerzita Karlova, Praha 1994.
- Novák, I. a kol.: Ochrana čistoty ovzduší v ČSR. MLVH, Praha 1972.
- Novák, V., Prošková, J.: Vývoj koncentrací PM<sub>10</sub> a ozonu na nejzatíženějších lokalitách České republiky v letech 2002-2004. Ochrana ovzduší 2/2005, str. 9-17.
- Ostatnická, J.: Znečištění ovzduší v aglomeracích České republiky v roce 2005. Ochrana ovzduší 5/2006, str. 3-7.
- Röth, Ernst-Peter: Ozonloch Ozonsmog, Grundlagen der Ozonchemie. BI-Taschenbuchverlag, Mannheim 1994.
- Stohl, A.: Ozon Segen oder Fluch. Ueberreuter, Wien 1994.
- Symon, K., Bencko, V.: Znečištění ovzduší a zdraví. Avicenum, Praha 1988.
- The Environment in Europe: A Global Perspective. RIVM Bilthoven, Netherlands, 1992.
- Tilling, S.: Ozón a skleníkový efekt. Tereza 01/09 ZO ČSOP, Praha 1992.
- Timonen, R.: Kinetics of the reactions of some polyatomic free radicals with CL<sub>2</sub> and Br<sub>2</sub>, and reactions of formyl radicals with O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> and H atoms. University of Helsinki, Helsinki 1988.
- Věstník Ministerstva Životního prostředí (měsíčník), 1/2008.
- Virtanen, T. a kol.: Ochrana ovzduší, svazek 14. Centrum enviromentálních analýz, Děčín 1999.
- Vysoudil, M.: Ochrana ovzduší (skriptum). Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc 2002.
- Zapletal, M., Chroust, P.: Depoziční tok ozonu do lesních ekosystémů na území České republiky. Ochrana ovzduší 3/2007, str. 20-26.

### **Elektronické prameny:**

*Health Aspects of Air Polluton.* Regionální kancelář WHO v Kodani, červen 2004.

Dostupné v českém překladu z: <[www.sospraha.cz/ovzduši/who\\_doporuceni.cz](http://www.sospraha.cz/ovzduši/who_doporuceni.cz)> [cit. 2007-03-02].

*Monitoring ovzduší.* Magistrát města Olomouce, 2007. Dostupné z: <<http://www.olomouc.eu/ovzdusi/>> [cit. 2007-20-05].

*Ozon im Blickpunkt.* Dostupné z:

<[http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/DigitVero/ozon\\_lu/anfang.html](http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/DigitVero/ozon_lu/anfang.html)> [cit. 2007-17-09].

Quantifying the ozone „weekend effect“ at various locations in Phoenix, Arizona, Carol M. Atkinson-Palombo, James A. Miller, Robert C. Balling Jr., z 1.5.2006. ScienceDirect. Dostupné v PDF z: <<http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>> [cit. 2007-10-10].

*Ročenky dopravy.* Statistika dopravy České republiky, 2007. Dostupné z:

<<http://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>> [cit. 2007-07-12].

*Sčítání dopravy v roce 2000.* Ředitelství silnic a dálnic České republiky, 2007. Dostupné z:

<<http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/9ff247fb0ef2b9f2c1256dbf002ccf15?OpenDocument>> [cit. 2007-03-07].

*Sčítání dopravy v roce 2005.* Ředitelství silnic a dálnic České republiky, 2007. Dostupné z:

<<http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/83468e36dc20fc6bc1257156003714a6?OpenDocument>> [cit. 2007-03-07].

*Silniční doprava.* Ministerstvo dopravy ČR, 2008. Dostupné z: <[http://www.mdcz.cz/cs/Silnicni\\_doprava/silnicni\\_doprava.htm](http://www.mdcz.cz/cs/Silnicni_doprava/silnicni_doprava.htm)> [cit. 2008-21-02].

Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2002/3/ES ze dne 12. února 2002 o ozonu ve vnějším ovzduší. Úřední věstník Evropských společenství, 9.3.2002. Dostupné v PDF z: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:EN:PDF>> [cit. 2007-20-02].

*Typizace povětrnostních situací pro území České republiky.* ČHMÚ, 2008. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html>> [cit. 2008-10-01].



Znečišťování ovzduší - problémy globální, regionální a lokální. Trivis, Ing. Milan Říha

DiS 8.9.2005. Dostupné z:

<<http://www.trivis.info/view.php?cisloclanku=2005090801>> [cit. 2007-03-02].

## 9 Seznam příloh

### **PŘÍLOHA A:**

Bibliografie

### **PŘÍLOHA B:**

Sčítání dopravy v Olomouci v letech 1995, 2000, 2005

### **PŘÍLOHY C:**

Příloha C.1: Průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996 až 2005

Příloha C.2: Průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996–1998 a 2002–2003

Příloha C.3: Průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

Příloha C.4: Průměrné koncentrace přízemního ozonu podle měsíců roku na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996–2005

Příloha C.5: Průměrné koncentrace přízemního ozonu podle měsíců roku na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996–1998 a 2002–2003

Příloha C.6: Průměrné koncentrace přízemního ozonu podle měsíců roku na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

### **PŘÍLOHY D:**

Příloha D.1: Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub> na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996–2005

Příloha D.2: Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub> na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996–2005

Příloha D.3: Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub> na stanici Olomouc-Hotel v roce 2003

Příloha D.4: Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub> na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2003–2006

Příloha D.5: Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub> na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996–1998 a 2002

Příloha D.6: Průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> podle měsíců roku na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996–2005

Příloha D.7: Průměrné koncentrace  $\text{NO}_2$  podle měsíců roku na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

Příloha D.8: Průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  podle měsíců roku na stanici Olomouc-Šmeralova v letech 1996–2005

Příloha D.9: Průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  podle měsíců roku na stanici Olomouc-Hotel v letech 1996–1998 a 2002

#### **PŘÍLOHY E:**

Příloha E.1: Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$  na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

Příloha E.2: Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{NO}_2$  ve dnech pracovního týdne a o víkendu na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002–2003 a na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

#### **PŘÍLOHY F:**

Příloha F.1: Četnosti synoptických situací nad územím České republiky v letech 2002–2003 a 2004–2005

Příloha F.2: Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{O}_3$  a průměrných hodinových teplot během nejčastějších synoptických situací na stanici Olomouc-Hotel v letech 2002–2003

Příloha F.3: Denní chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{O}_3$  a průměrných hodinových teplot během nejčastějších synoptických situací na stanici Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2006

Příloha F.4: Vysvětlivky ke zkratkám synoptických situací

#### **PŘÍLOHA G :**

Roční chod extraterestrálního ( $R_a$ ) a globálního ( $R_s$ ) slunečního záření v letech 2004–2006

## PŘÍLOHA A

### BIBLIOGRAFIE

- Bízek V.: Programování v ochraně ovzduší. Ochrana ovzduší 3/2003, str. 1–5.
- Braniš M. a kol.: Laboratoř pro studium kvality ovzduší v ústavu pro životní prostředí přírodovědecké fakulty UK v Praze. Ochrana ovzduší 1/2005, str. 9–12.
- Brechler J. a kol.: Modelování vzniku, transportu a rozptylu fotochemického smogu. Ochrana ovzduší 2/2005, str. 15–19.
- Bureš V. a kol.: Mezilaboratorní porovnání zkoušek měření koncentrace tuhých znečišťujících látek v emisích. Ochrana ovzduší 1/2005, str. 5–9.
- Dej, Milan: Emise organických polutantů ze stacionárních zařízení. Vysoká škola Báňská, Ostrava 2004.
- Hůnová I.: Nové imisní limity pro ochranu vegetace a ekosystémů v České legislativě. Ochrana ovzduší 4/2003, str. 4–7.
- Hůnová I.: Nové imisní limity pro ochranu vegetace a ekosystémů v České legislativě. Ochrana ovzduší 4/2003, str. 4–7.
- Informační stránka MŽP – <http://www.env.cz/AIS/web.nsf/pages/ovzdusi>
- Jícha M. a kol.: Modelování rozptylu emisí v mikroměřítku v městské zástavbě – nový přístup pomocí metody CDF. Ochrana ovzduší 3/2003, str. 6–10.
- Kol. autorů: SYMOS' 97. ČHMÚ, Praha 1998.
- Kommunales Maßnahmenprogramm OZON. Hg. V. Stadt Essen-Der Oberstadtdirektor, Amt für Umweltschutz; 1. Auflage Essen Januar 1998.
- Kotlík, B. a kol.: Možnosti a metodika využití mobilních měřicích systémů sledování kvality ovzduší. Ochrana ovzduší 1/2003, str. 6–11.
- Krank durch Ozonsmog Unterschätzte Gefahren für die menschliche Gesundheit (Kurzfassung). Hg. V. Greenpeace e. V.; Hamburg Juni 1996.
- Kurfürst J.: Emise, šíření a imise látek znečišťující ovzduší. Ochrana ovzduší 4/1982, str. 49–53.
- Píša, V. a kol.: Dlouhodobá koncepce ochrany ovzduší na území Hl. m. Prahy. Ochrana ovzduší 5-6/2003, str. 8–17.
- Pospíšil J a kol.: Numerické modelování rozptylu suspendovaných částic v městské zástavbě. Ochrana ovzduší 6/2006, str. 18–20.

- Schönwise, Christian-Friedrich: Klima im Wandel. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Hamburg 1994.
- Siebert, Jürgen: Ozonalarm: Autoverkehr und Sommersmog. Die Werkstatt, Göttingen 1995.
- Stehlík, Jaromír: Kompendium ochrany kvality ovzduší (Spalovací procesy – dominantní příčiny znečištění ovzduší). Příloha časopisu Ochrana ovzduší, Praha říjen 2003.
- Szabó G.: Matematické modelovanie rozptylu znečisťujúcej látky z automobilovej dopravy. Ovzduší 1997, str. 242–245.
- Šantroch J. a kol.: Základní síť monitoringu kvality ovzduší na území České republiky. Ochrana ovzduší 4/2003, str. 1–3.
- Váňa M., Smrčková V.: Trendy koncentrací přízemního ozonu na Českých stanicích. Ovzduší 2001, str. 121-125.
- Váňa M.: Přízemní ozon na regionální úrovni. Ovzduší 2001, str. 45–49.
- Vokoun M.: Principy měření automatických analyzátorů pro měření imisních koncentrací základních složek znečištění ovzduší. Ochrana ovzduší, 1/2005, str. 1–4.
- Wir und unsere Umwelt–Das Klima im Blickpunkt. Hg. V. Bundesumweltministerium; Lübeck Broschek & Laursen Rollenoffset, Februar 1997.
- Zapletal M.: Vztah mezi imisními koncentracemi a depozicemi přízemního ozonu nad lesním ekosystémem. Ovzduší 1999, str. 95–99.

## PŘÍLOHA B

SČÍTÁNÍ DOPRAVY V OLOMOUCI V LETECH 1995, 2000, 2005 (podle dat z Ředitelství silnic a dálnic)

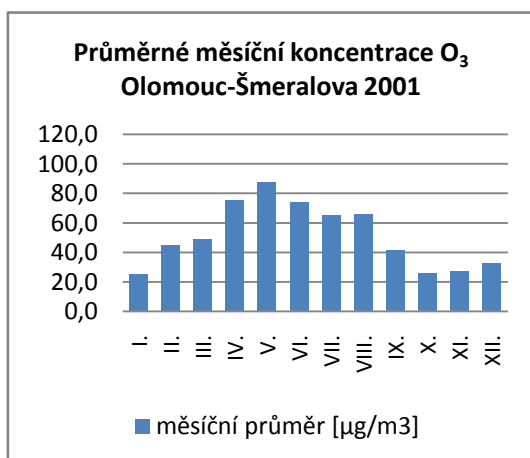
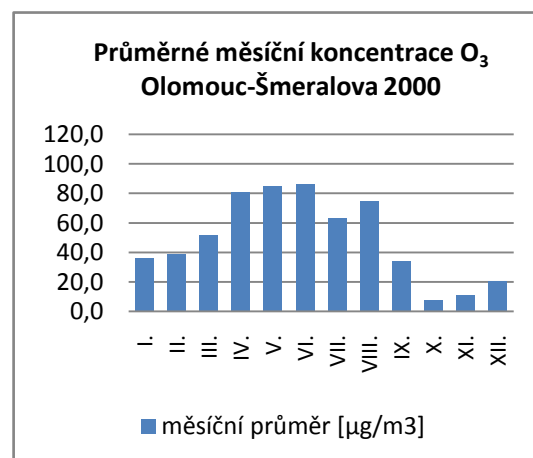
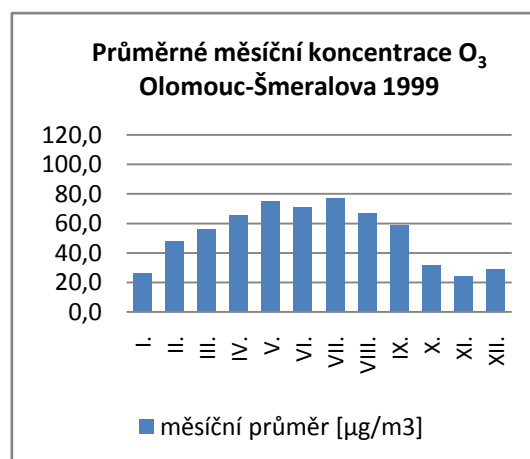
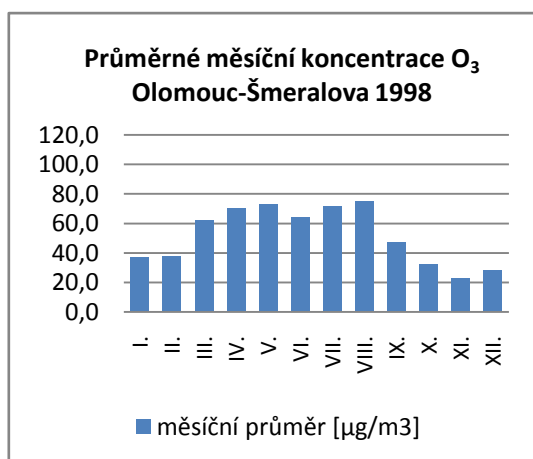
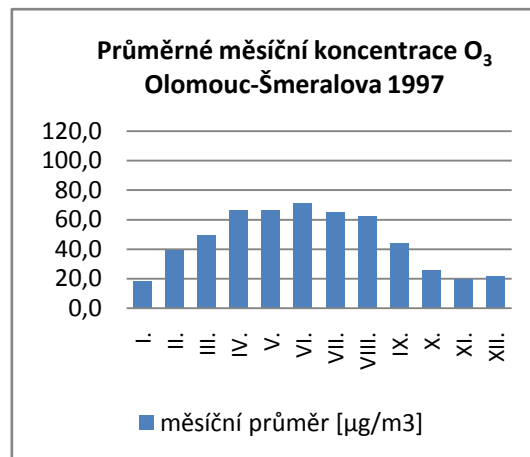
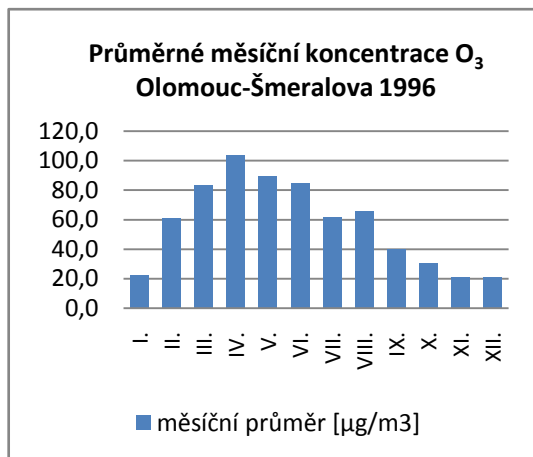
SILNICE	ÚSEK	1995	2000	2005
35	7-0071	11076	16735	24107
35	7-5381	16027	22674	32446
35	7-5382	32115	49772	39336
35	7-5383	26127	42986	31637
35	7-5384	24515	42626	37082
35	7-4403	26606	41483	38468
35	7-0084	26911	45817	38615
35	7-0085	20640	33259	25349
46	7-1072	15155	24957	9569
46	7-4921	20354	28692	27540
46	7-0232	12958	13451	12353
46	7-0231	7817	10221	12644
46	7-1083	12632	16127	20687
46	7-1085	8626	13163	15472
55	7-0233	10085	15375	15753
55	7-0234	9021	13545	18100
435	7-1921	7059	7077	10156
435	7-1922	4674	8212	9463
435	7-1923	2700	5323	7128
446	7-1915	N	3968	5633
446	7-1931	7200	10681	12164
446	7-1932	3149	4181	4165
448	7-3381	4536	9201	13124
448	7-0072	7384	9552	9569
448	7-3382	7368	16096	16382
448	7-4411	14348	19471	17967
448	7-1084	16904	19819	16697
448	7-1082	12755	15694	16602
570	7-4480	3140	N	N
570	7-4371	2784	5762	8315
570	7-4487	N	N	6934
635	7-0053	1429	2134	2298
635	7-0054	4642	6151	7133
635	7-5361	3387	9119	11055
635	7-4483	N	7948	N
463	7-0073	9222	N	N
463	7-4451	11297	14024	12881
5701	7-4461	2381	N	N
4432	7-4865	N	3544	3283

<b>SILNICE</b>	<b>ÚSEK</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>
4438	7-4876	N	3219	4528
3551	7-0083	7862	8939	9398
3552	7-4770	2709	N	N
44818	7-4442	13803	15620	15709
44818	7-4441	15748	16752	19139
44818	7-0082	17085	19589	20808
44818	7-1081	12670	10896	13037
MK	7-3383	4164	N	N
MK	7-4421	8862	7275	6858
MK	7-4431	7507	10948	12635
MK	7-4432	6612	7822	7603
MK	7-5371	244	N	N
MK	7-4471	N	7239	7635
MK	7-4472	N	6015	6028
MK	7-4473	N	6656	10734
MK	7-4474	N	5623	5714
MK	7-4475	N	N	5953
MK	7-4481	N	8473	9692
MK	7-4482	N	7278	6820
MK	7-4484	N	6286	7997

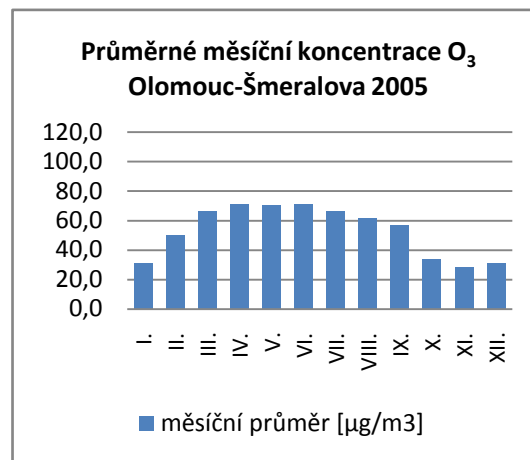
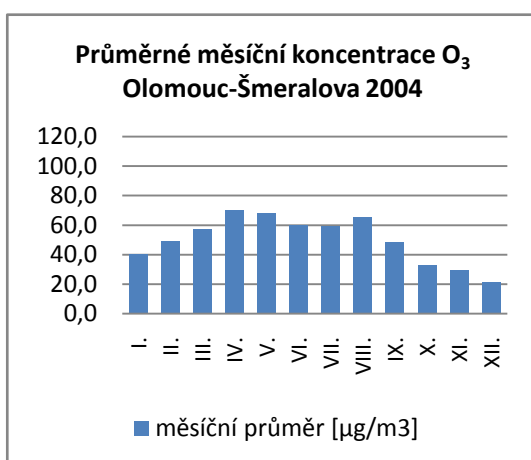
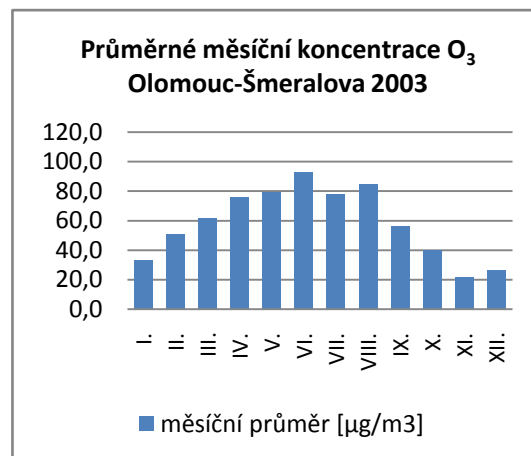
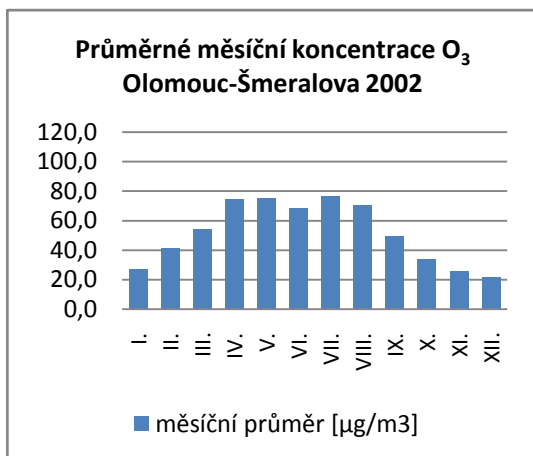
Pozn.: N–neměřeno

## PŘÍLOHY C

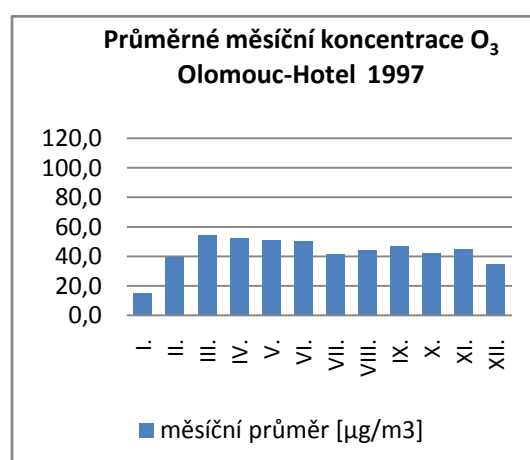
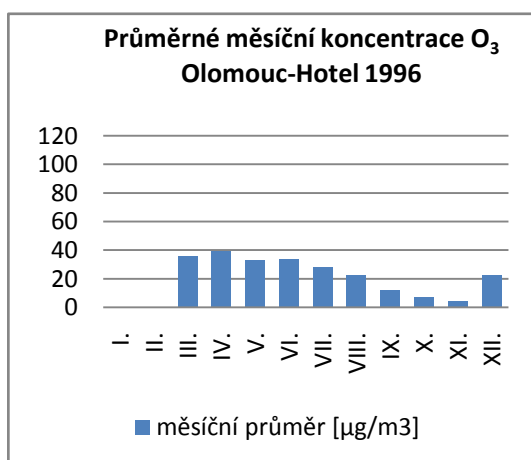
### Příloha C.1: PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU NA STANICI OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)

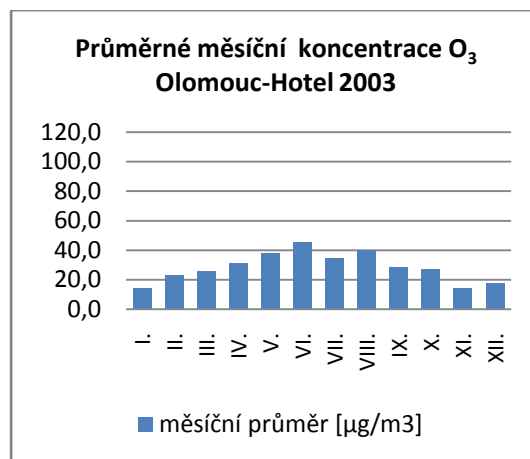
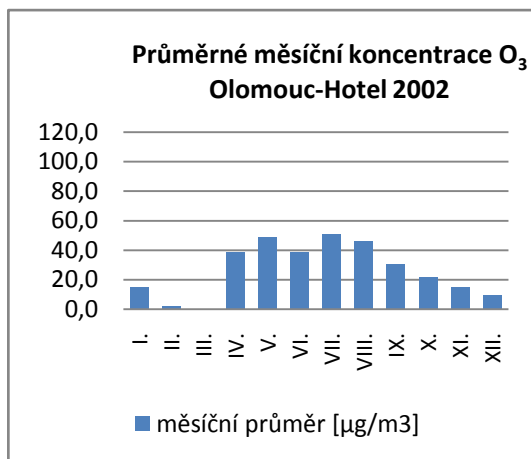
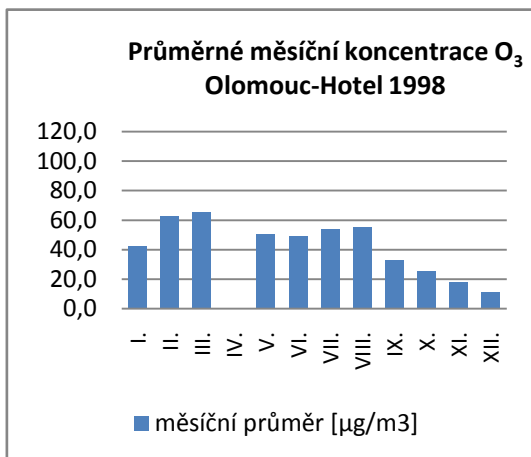




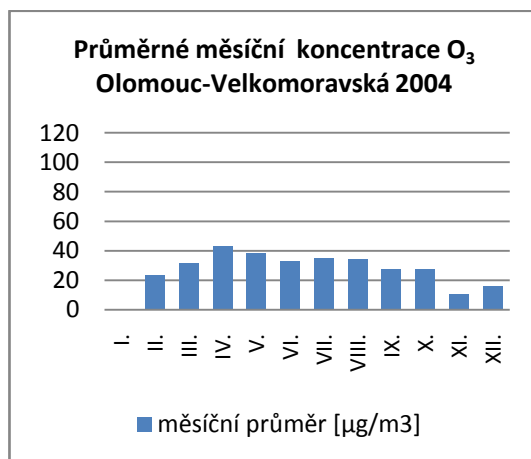


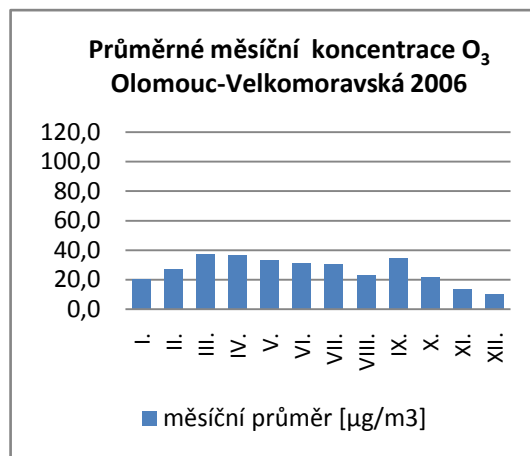
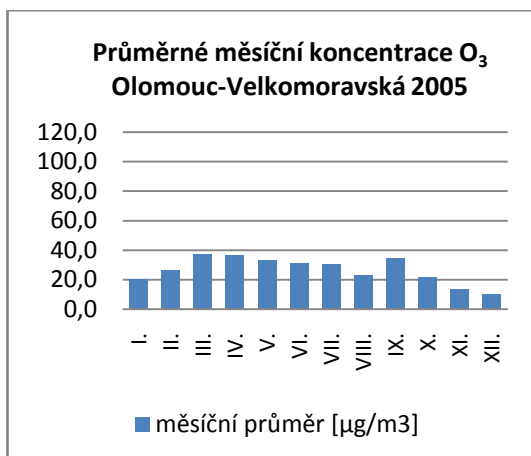
**Příloha C.2:** PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 1996–1998 A 2002–2003 (podle dat ISKO)



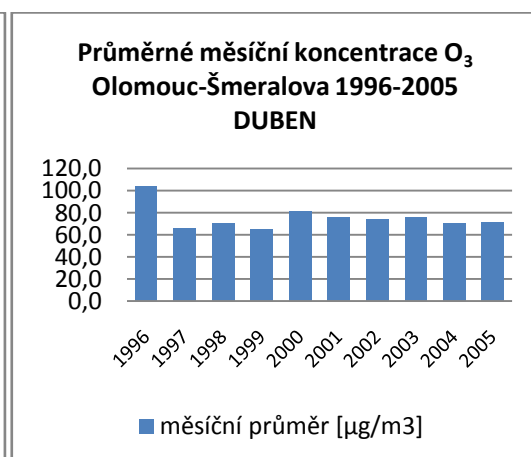
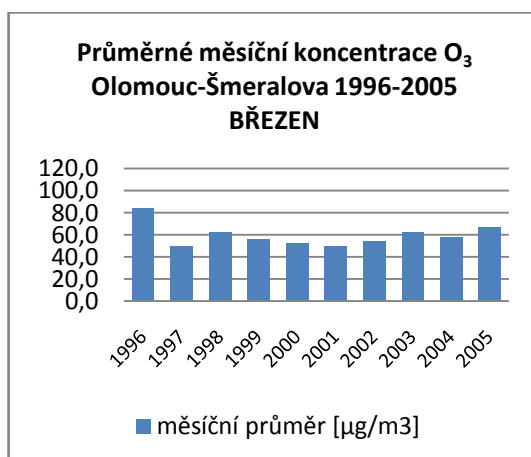
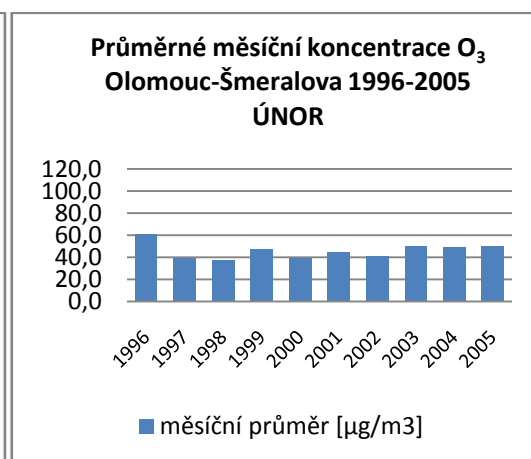
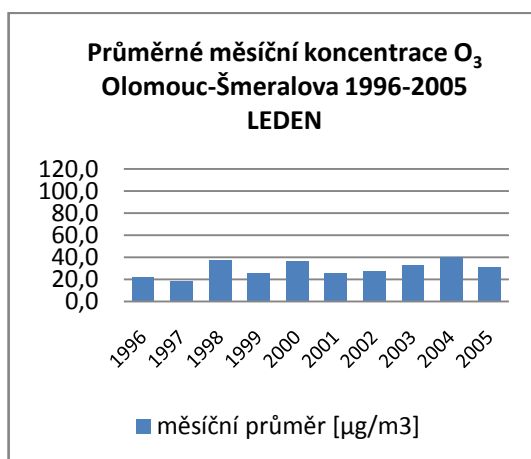


**Příloha C.3: PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU NA STANICI OLOMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2004–2006 (podle dat ISKO)**

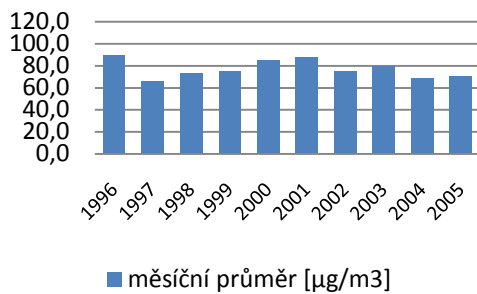




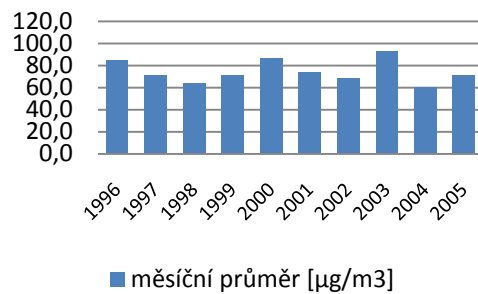
**Příloha C.4: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)**



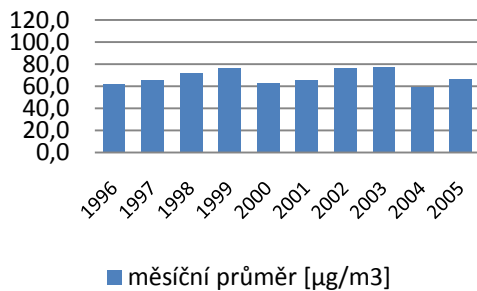
**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
KVĚTEN**



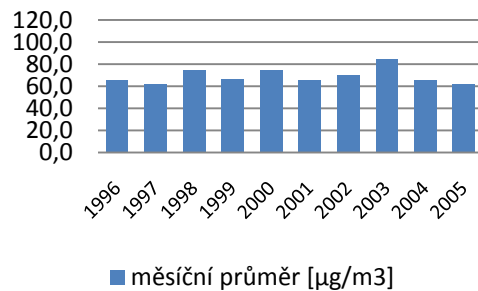
**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ČERVEN**



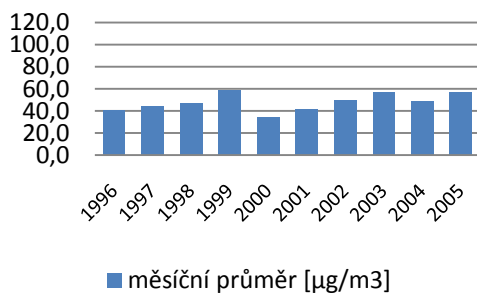
**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ČERVENEC**



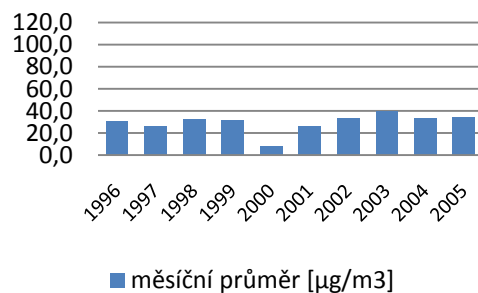
**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
SRPEN**

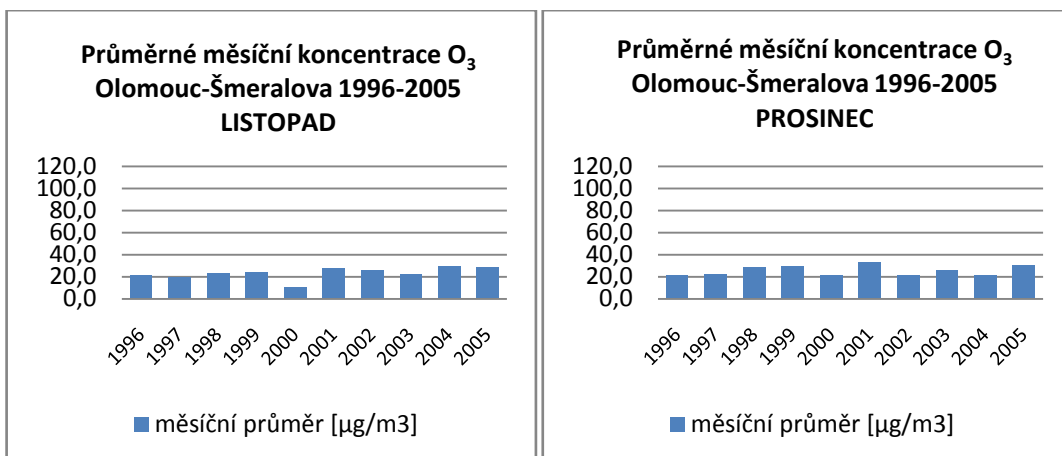


**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ZÁŘÍ**

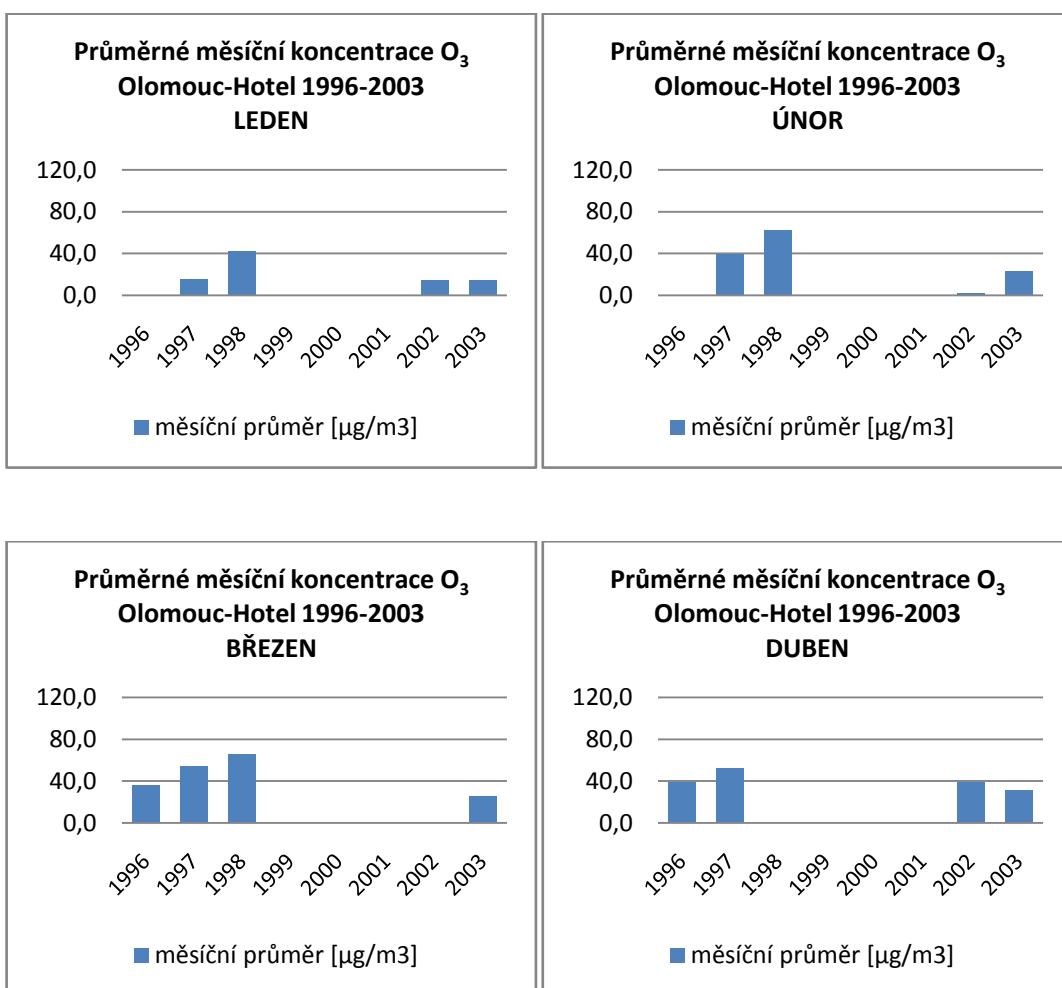


**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ŘÍJEN**

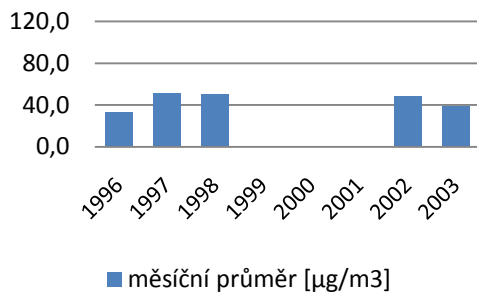




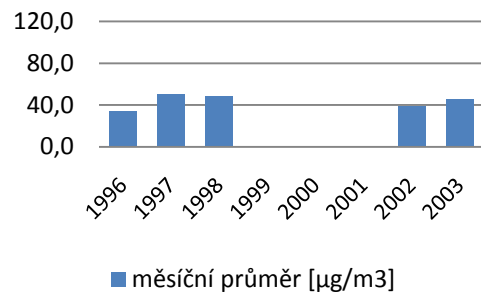
**Příloha C.5: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 1996–1998 A 2000–2003 (podle dat ISKO)**



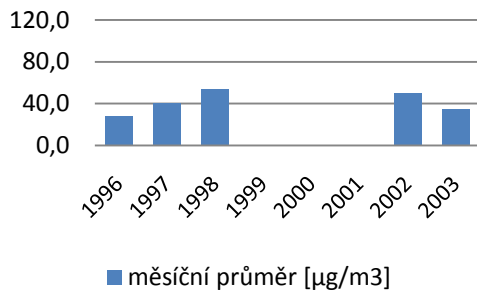
Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
KVĚTEN



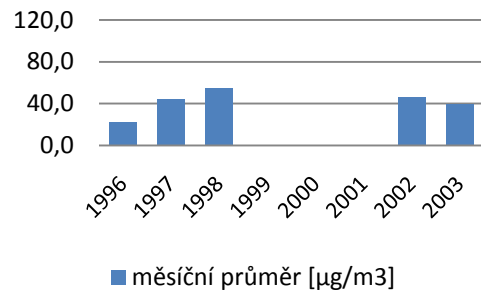
Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
ČERVEN



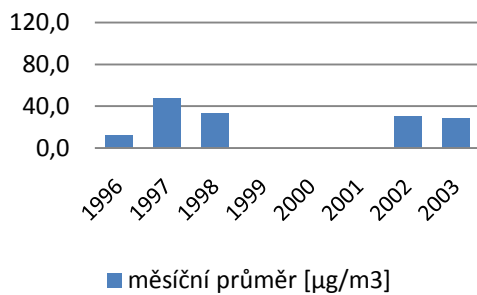
Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
ČERVENEC



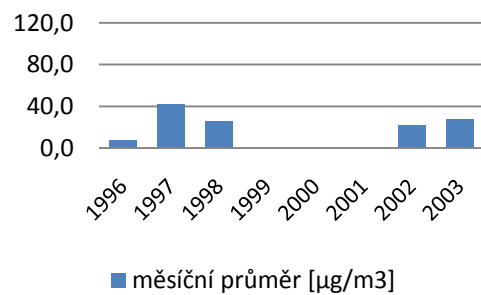
Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
SRPEN

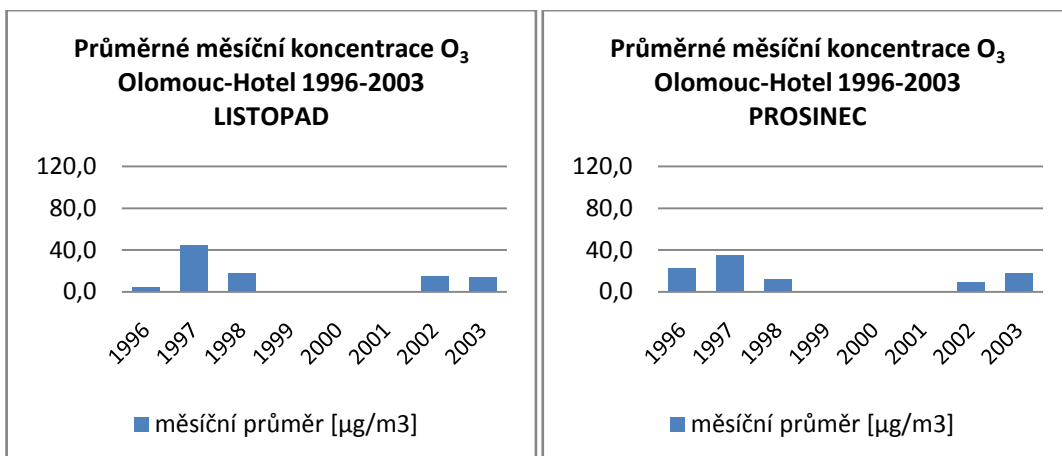


Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
ZÁŘÍ

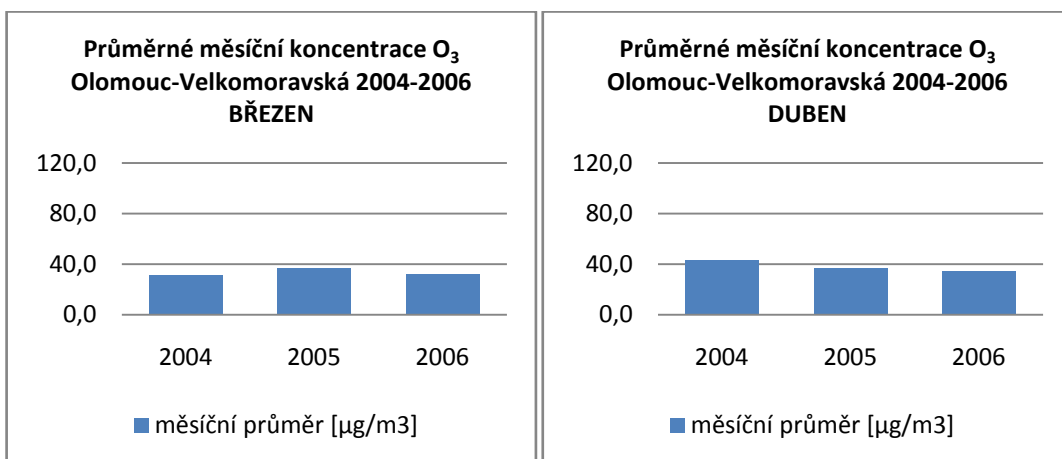
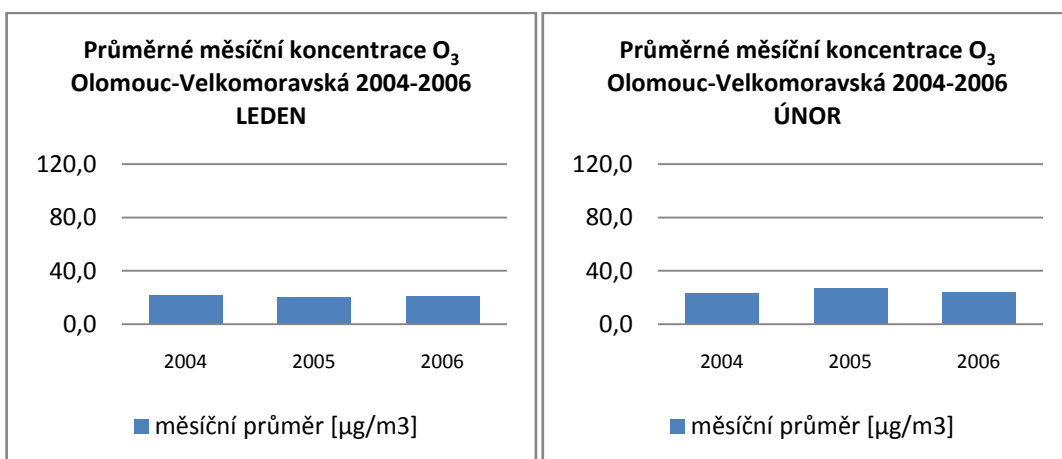


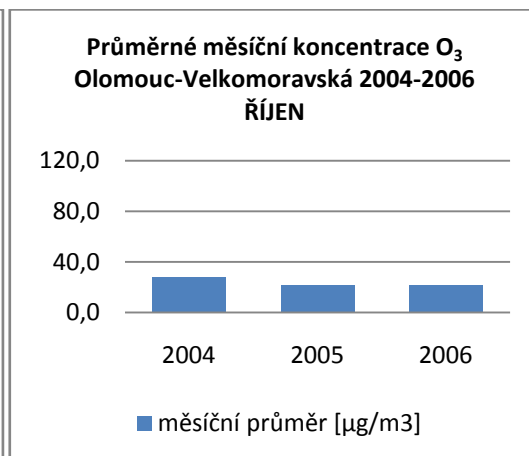
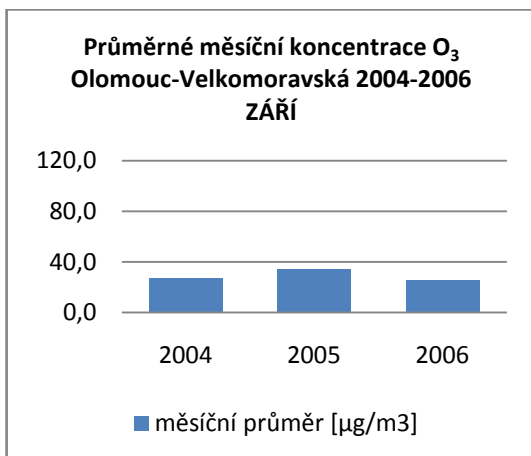
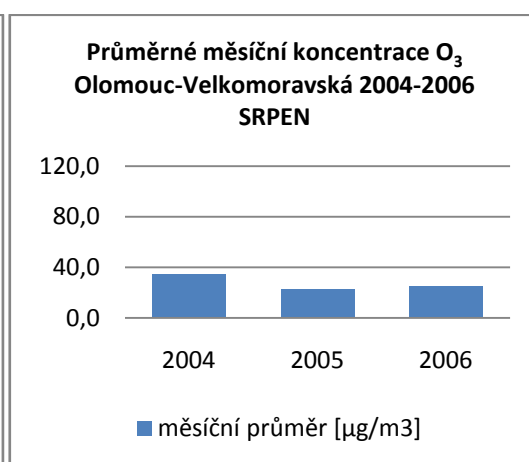
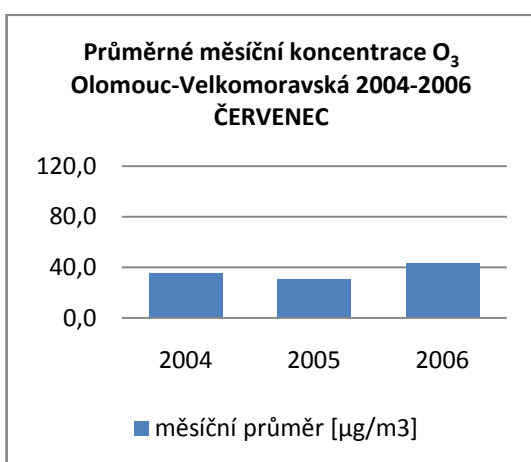
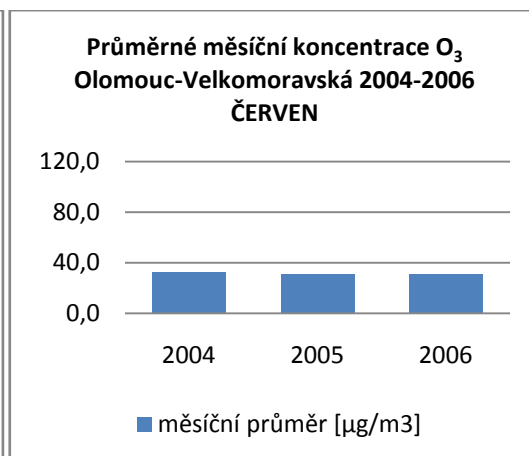
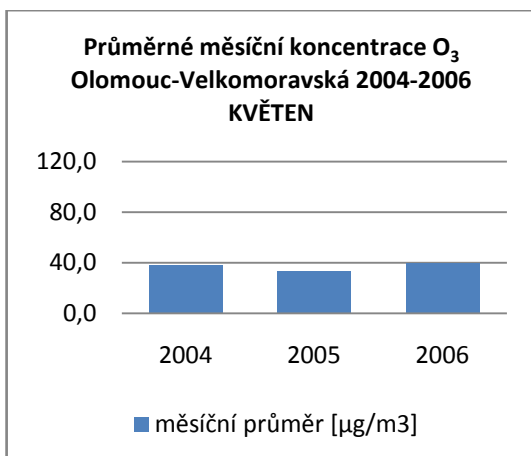
Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Hotel 1996-2003  
ŘÍJEN





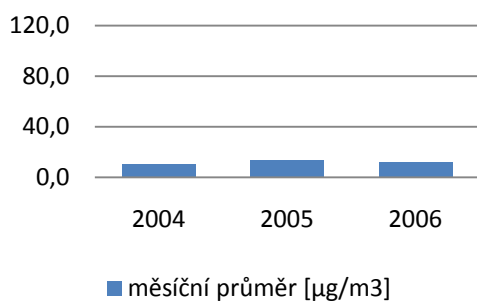
**Příloha C.6: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE PŘÍZEMNÍHO OZONU PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2004–2006 (podle dat ISKO)**



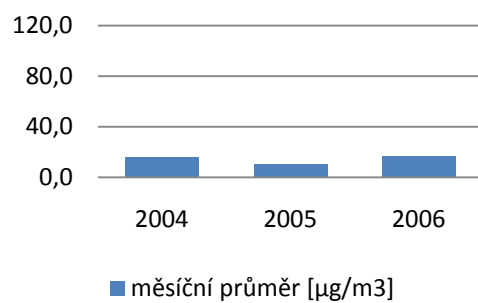




**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
LISTOPAD**



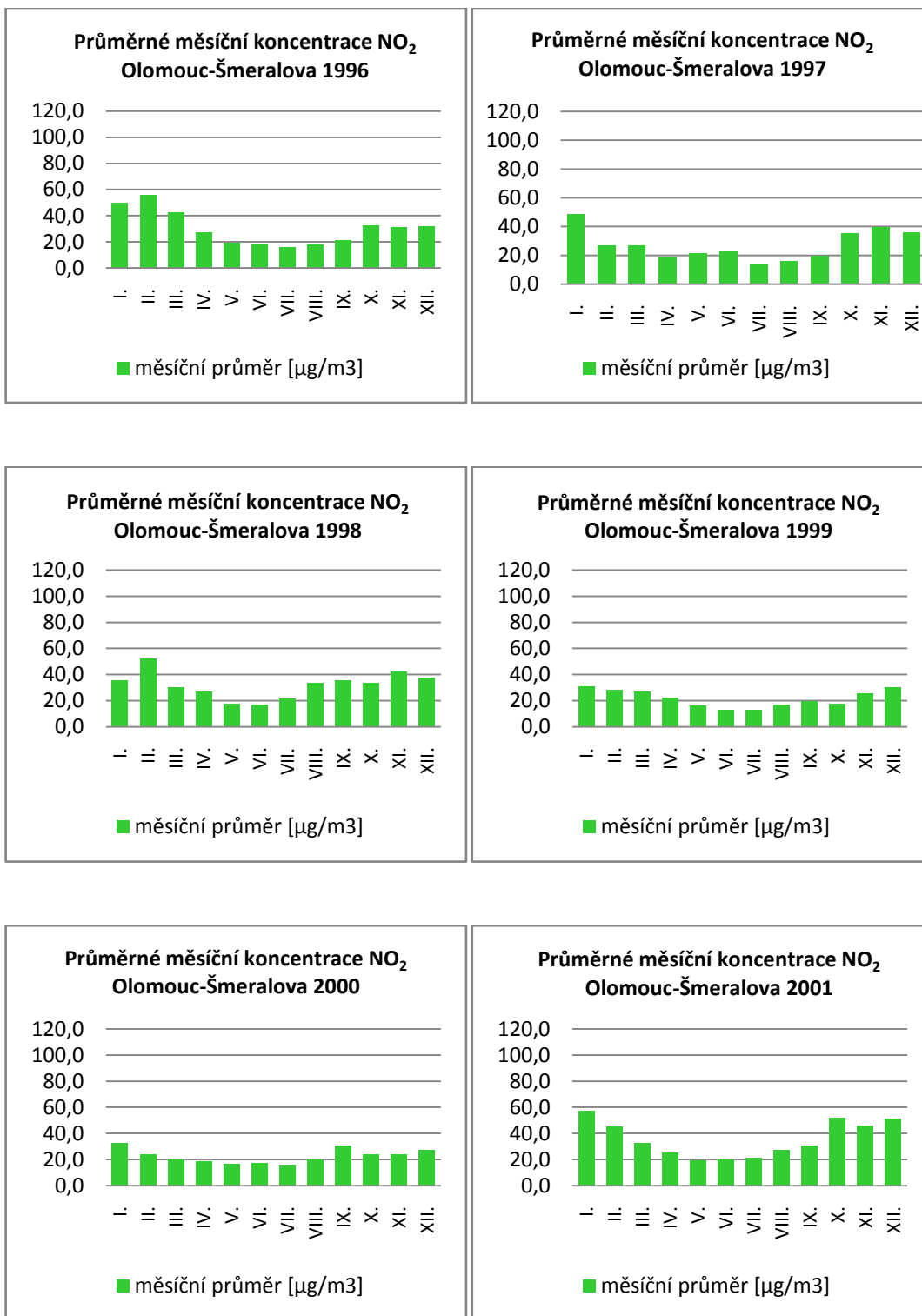
**Průměrné měsíční koncentrace O<sub>3</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
PROSINEC**

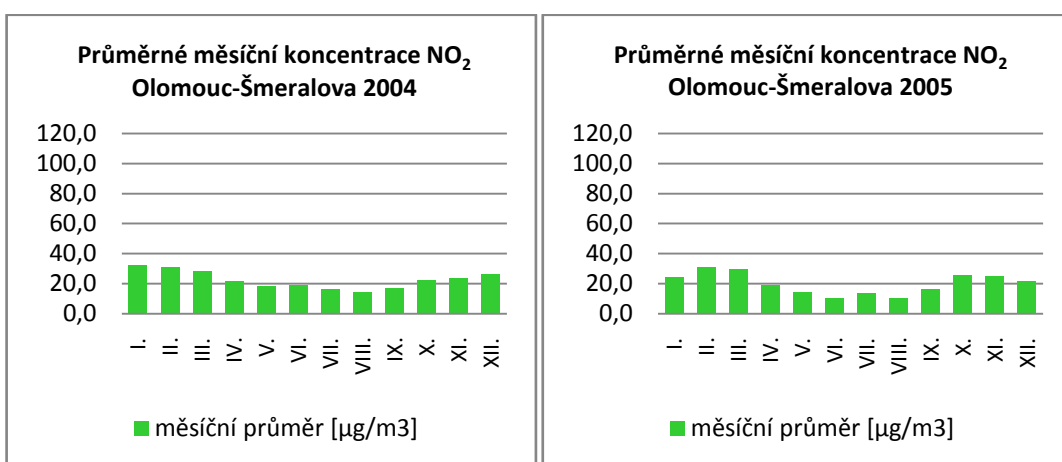
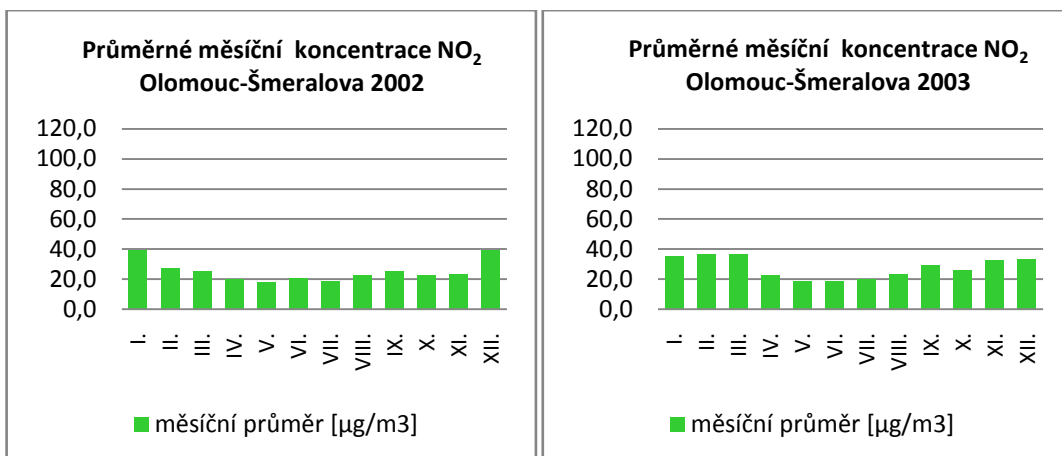


## PŘÍLOHY D

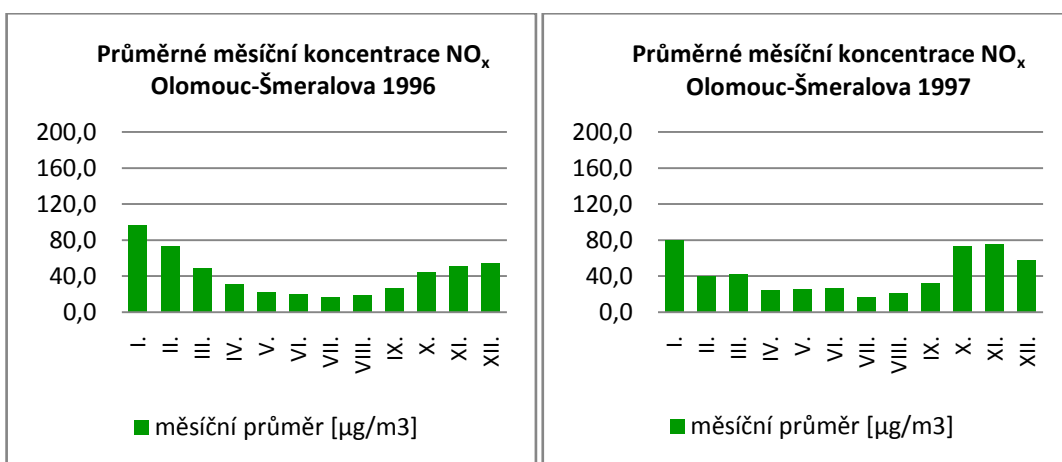
### Příloha D.1: PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE NO<sub>2</sub> NA STANICI

OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)

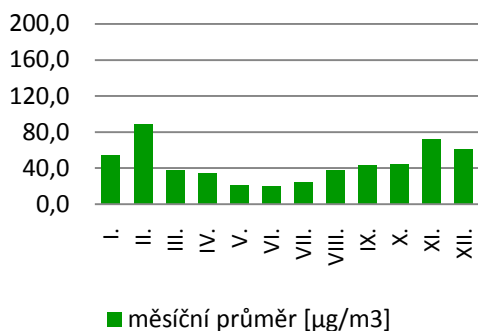




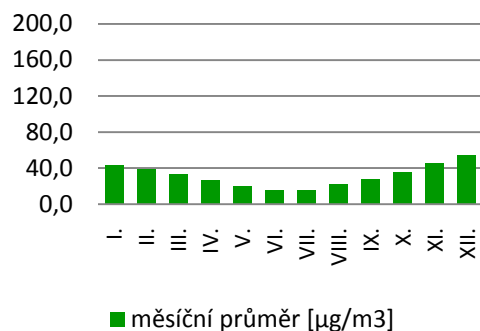
**Příloha D.2: PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE NO<sub>x</sub> NA STANICI OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)**



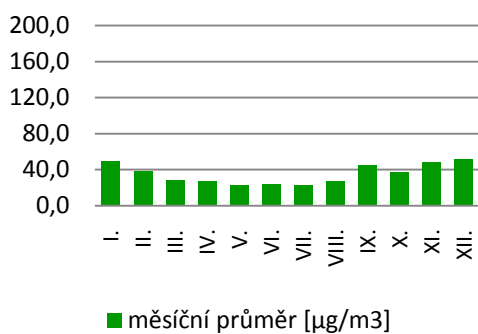
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1998**



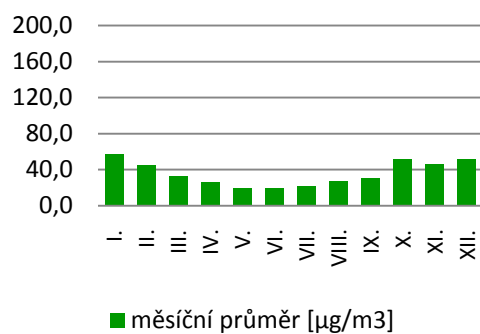
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1999**



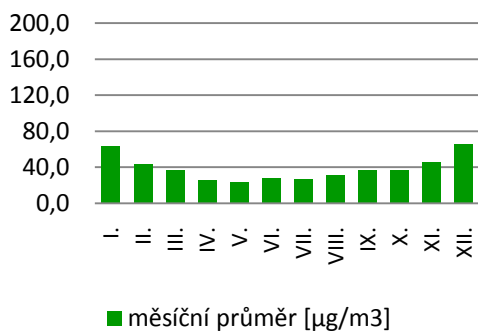
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 2000**



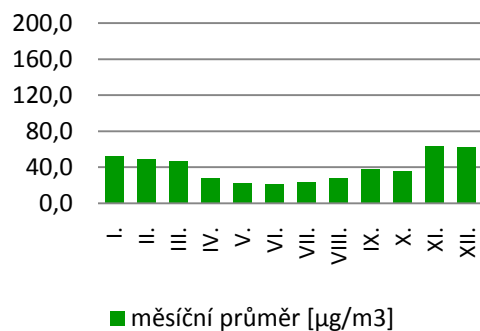
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 2001**

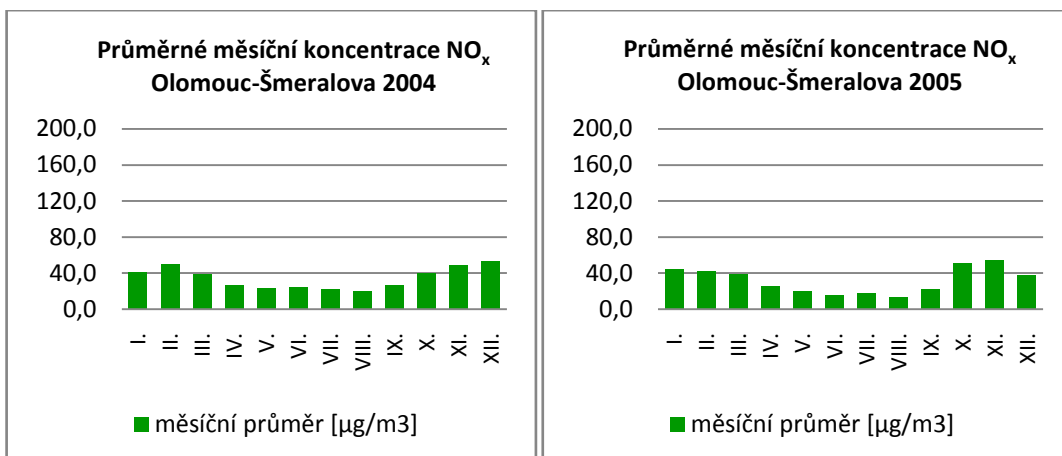


**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 2002**

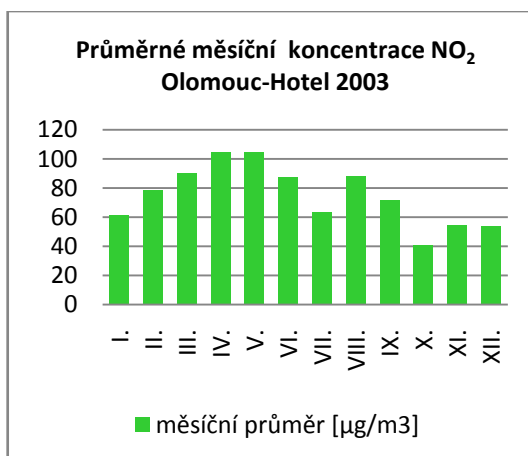


**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 2003**

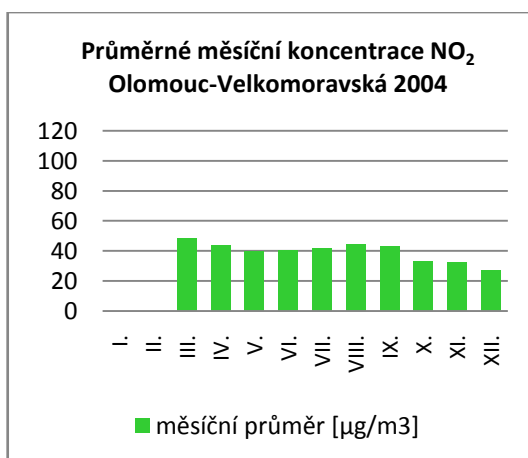


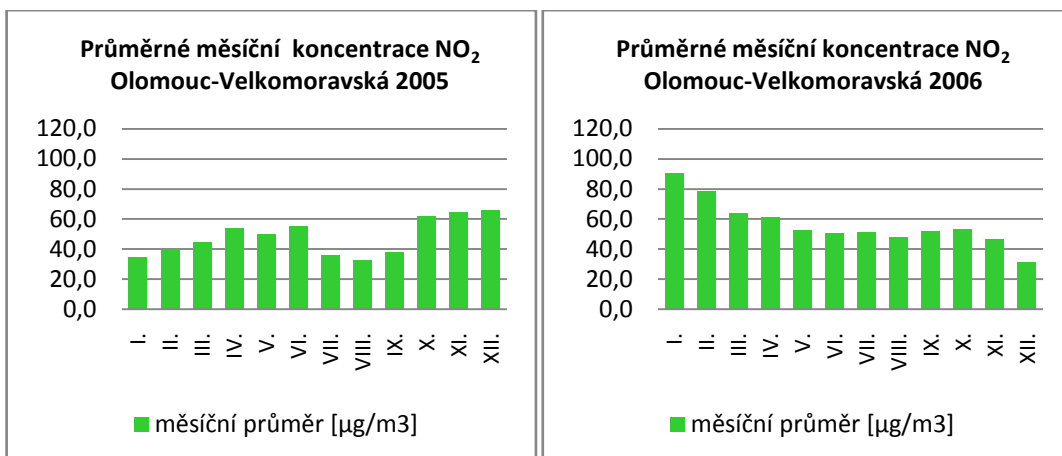


**Příloha D.3:** PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE NO<sub>2</sub> NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V ROCE 2003 (podle dat ISKO)

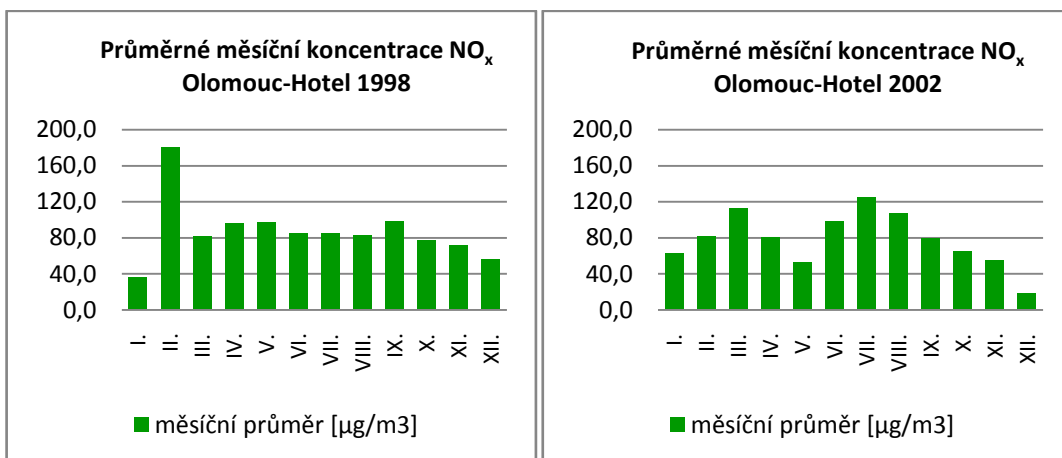
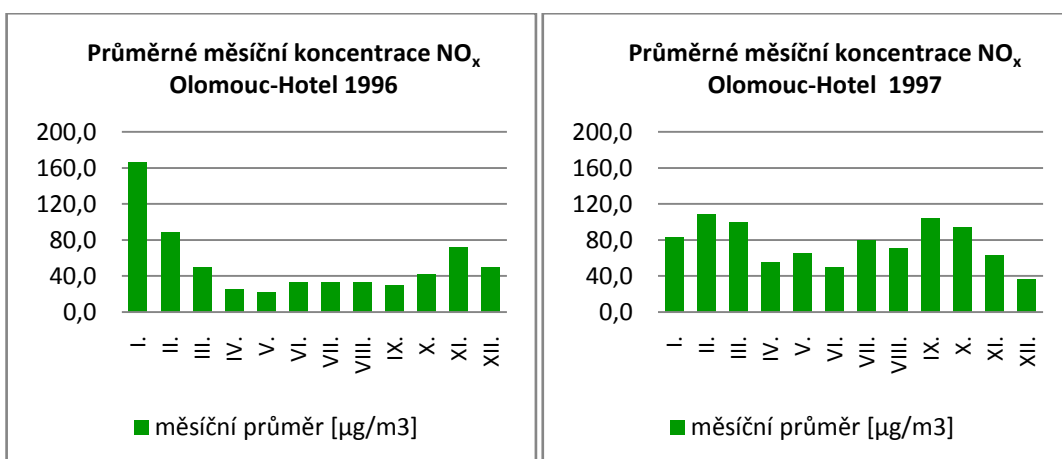


**Příloha D.4:** PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE NO<sub>2</sub> NA STANICI OLOMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2003–2006 (podle dat ISKO)

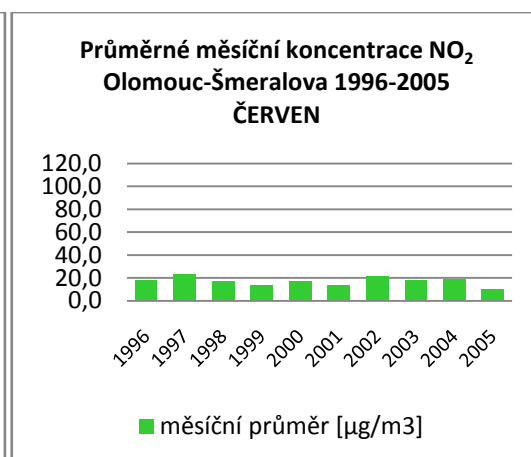
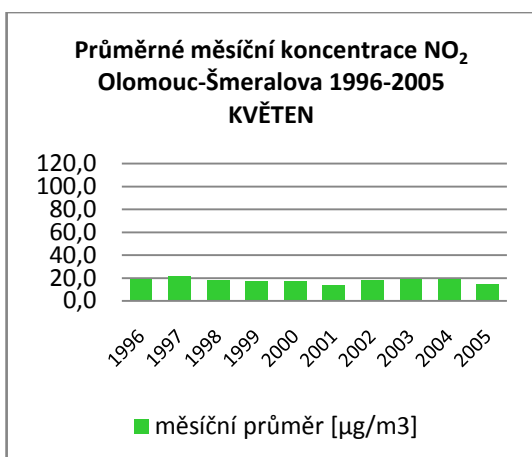
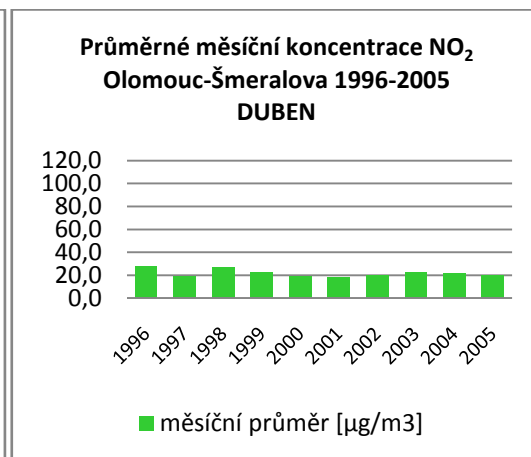
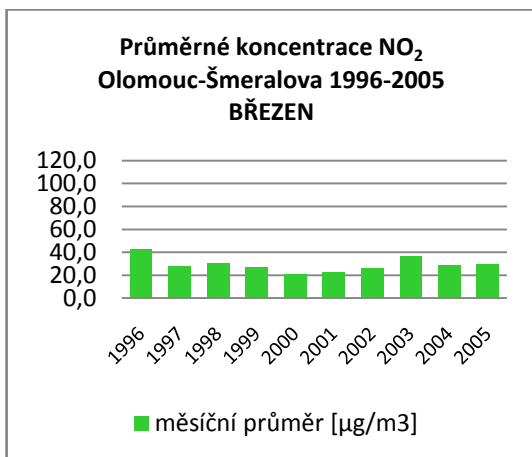
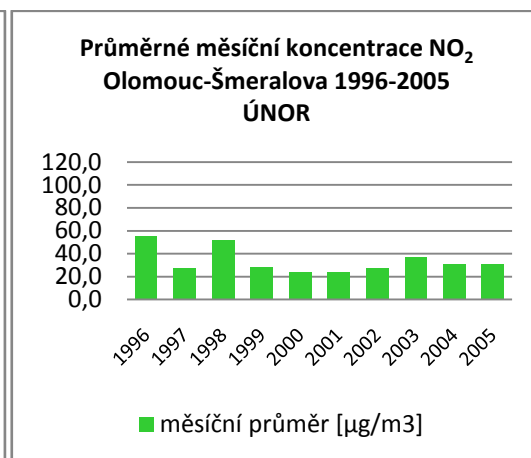
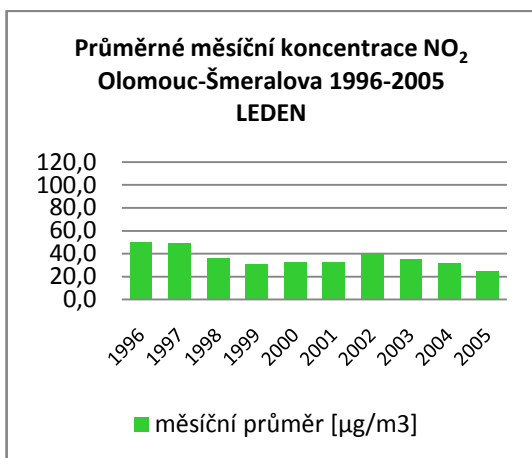




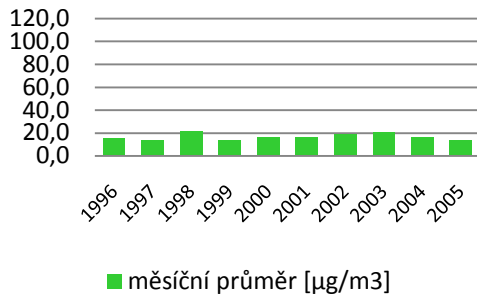
**Příloha D.5: PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE NO<sub>x</sub> NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 1996–1998 A 2002 (podle dat ISKO)**



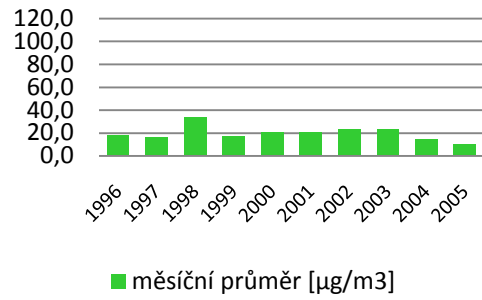
**Příloha D.6: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE NO<sub>2</sub> PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)**



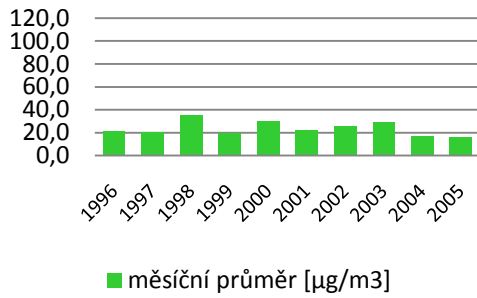
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ČERVENEC**



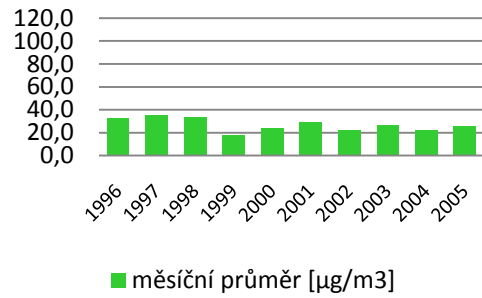
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
SRPEN**



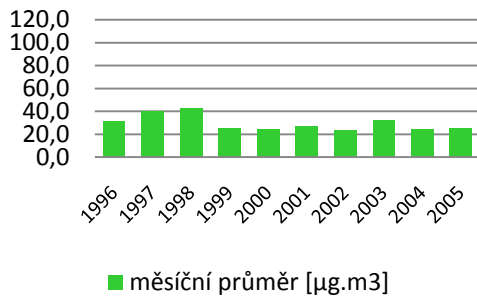
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ZÁŘÍ**



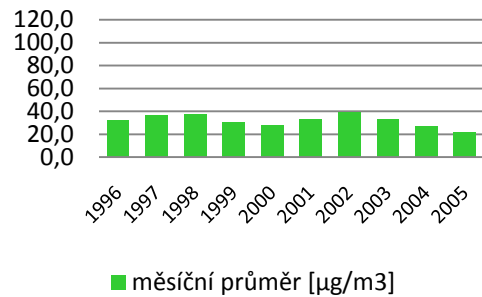
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ŘÍJEN**



**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
LISTOPAD**

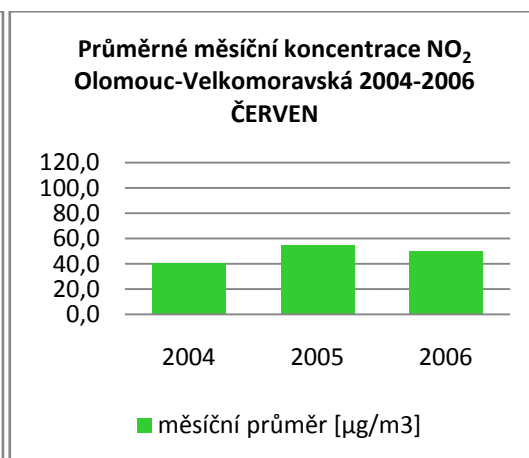
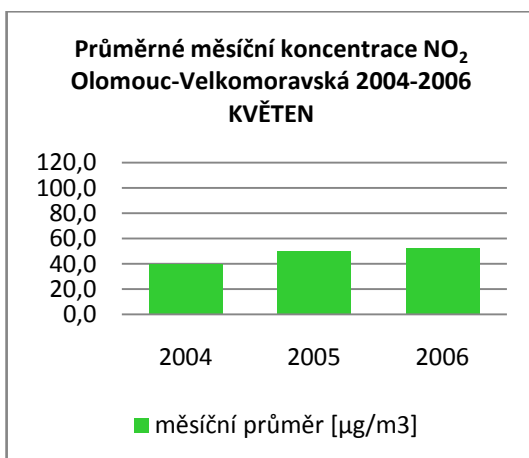
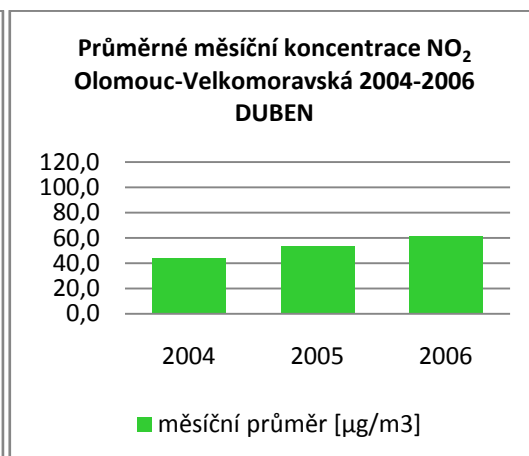
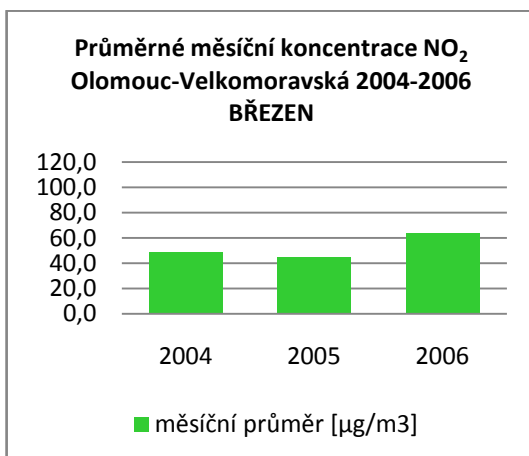
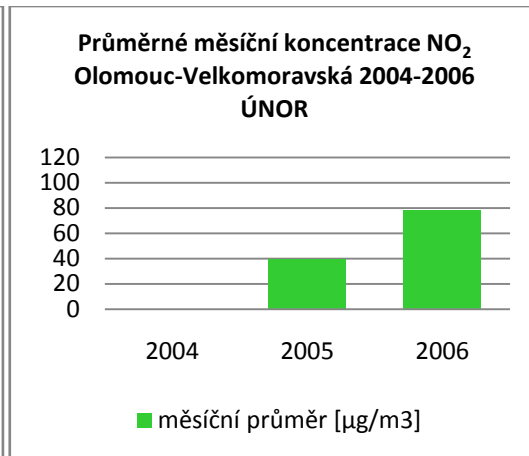
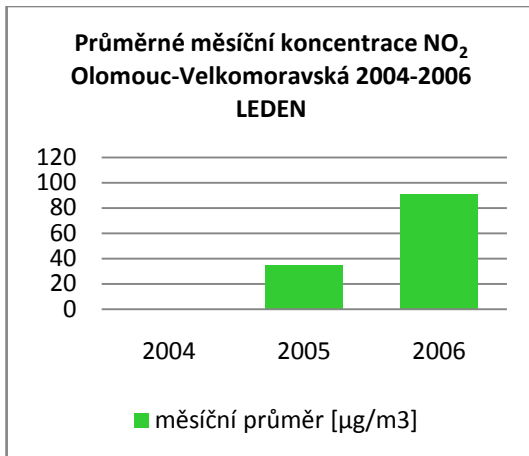


**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
PROSINEC**

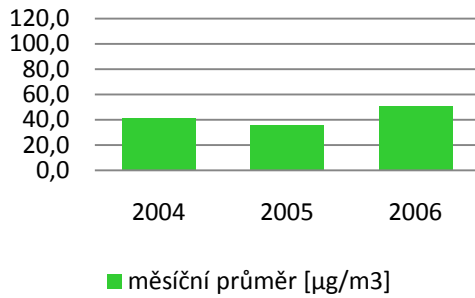




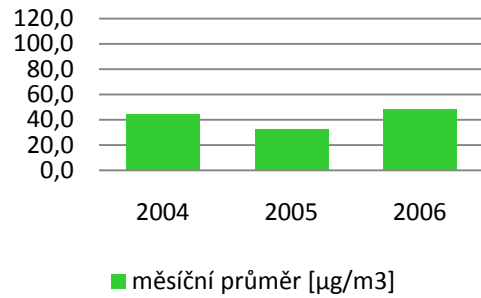
**Příloha D.7: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE NO<sub>2</sub> PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2004–2006 (podle dat ISKO)**



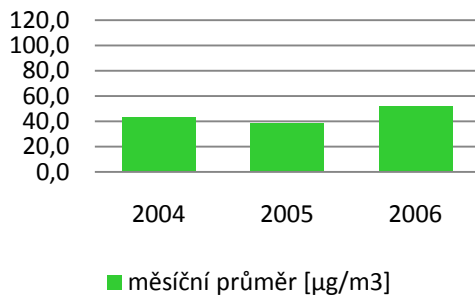
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
ČERVENEC**



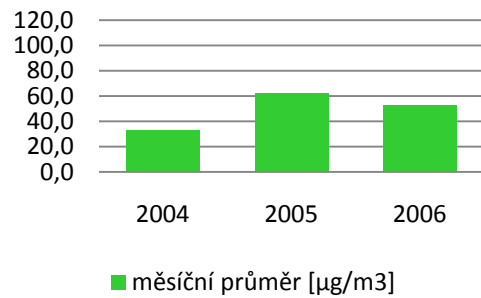
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
SRPEN**



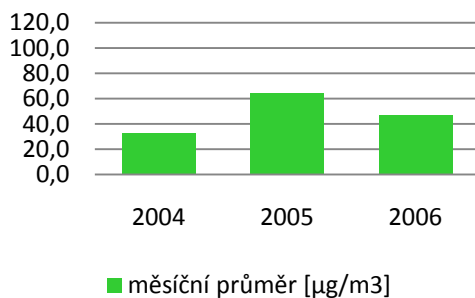
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
ZÁŘÍ**



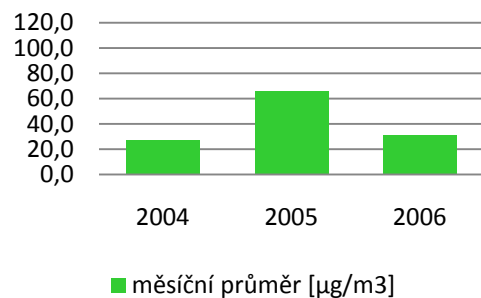
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
ŘÍJEN**



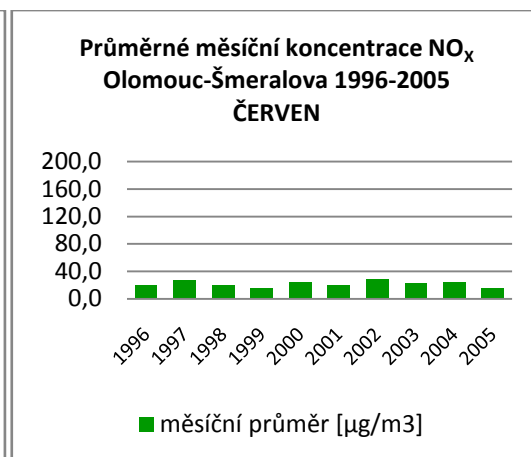
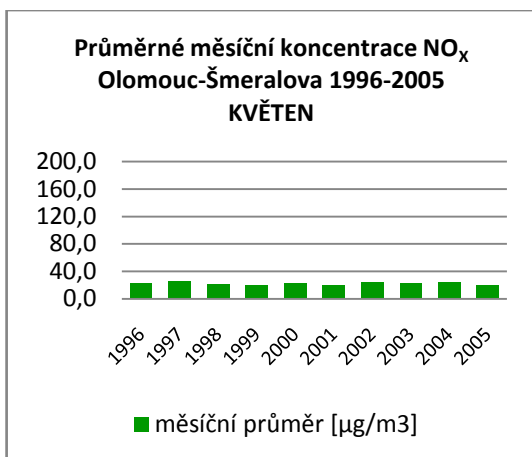
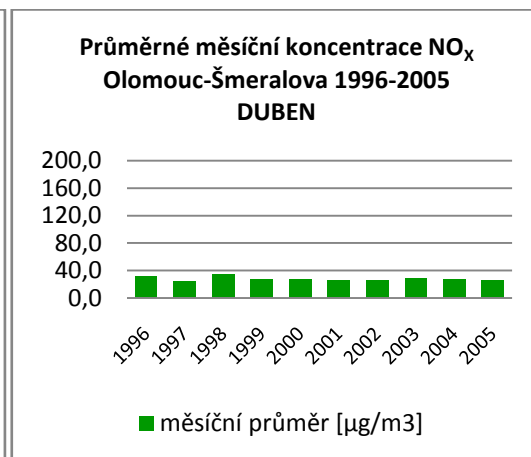
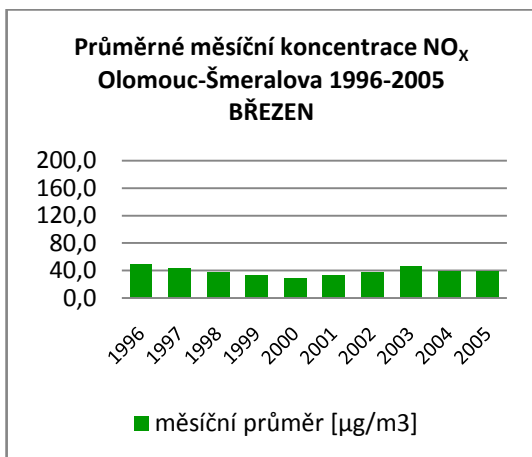
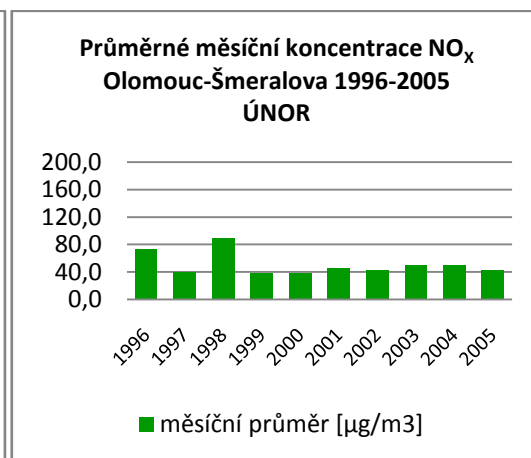
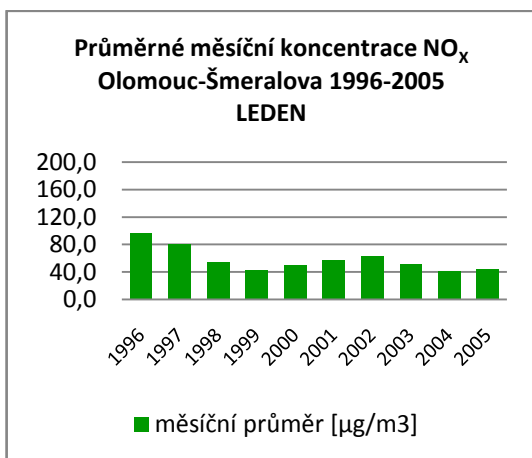
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
LISTOPAD**



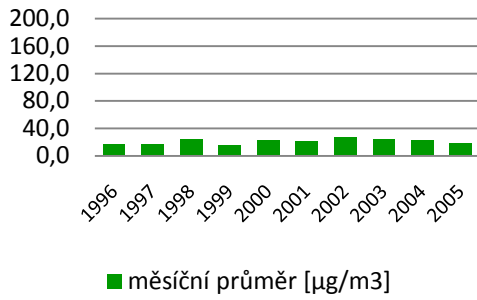
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>  
Olomouc-Velkomoravská 2004-2006  
PROSINEC**



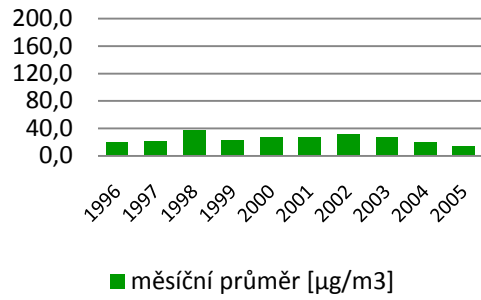
**Příloha D.8: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE NO<sub>x</sub> PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-ŠMERALOVA V LETECH 1996–2005 (podle dat ISKO)**



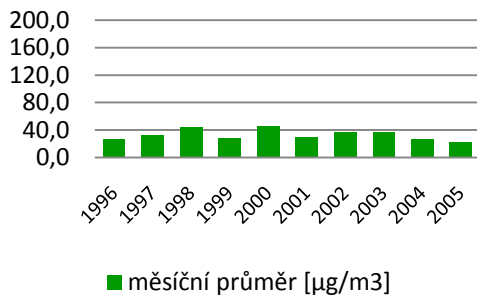
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ČERVENEC**



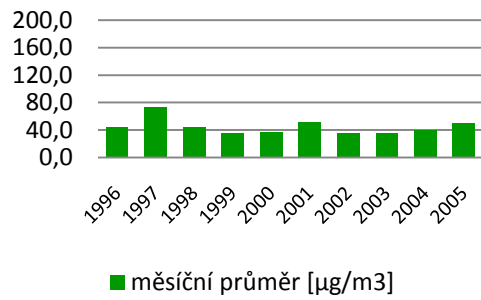
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
SRPEN**



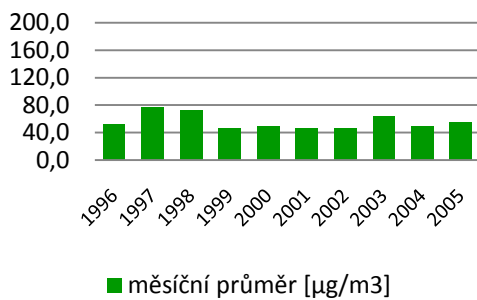
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ZÁŘÍ**



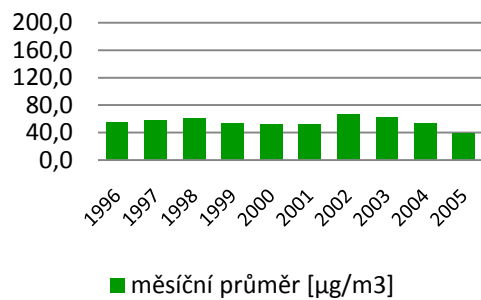
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
ŘÍJEN**



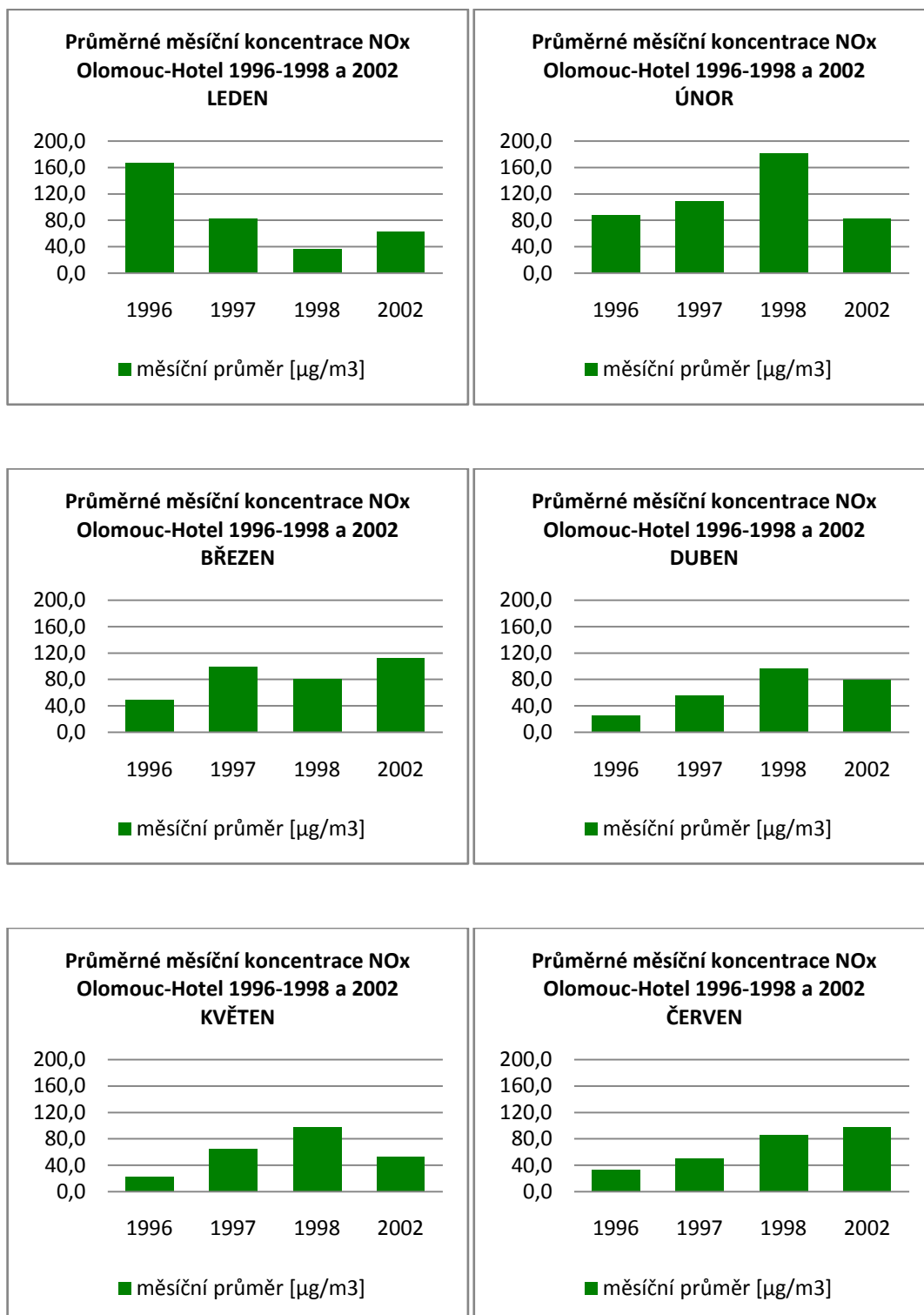
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
LISTOPAD**



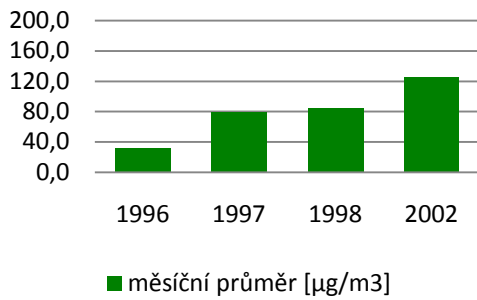
**Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub>  
Olomouc-Šmeralova 1996-2005  
PROSINEC**



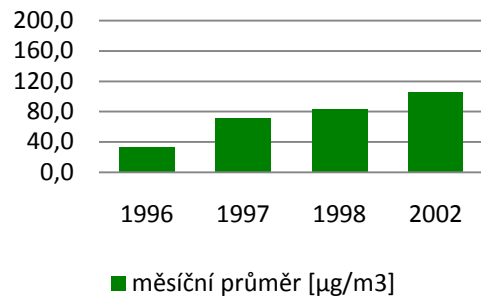
**Příloha D.9: PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE NO<sub>x</sub> PODLE MĚSÍCŮ ROKU NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 1996–1998 A 2002 (podle dat ISKO)**



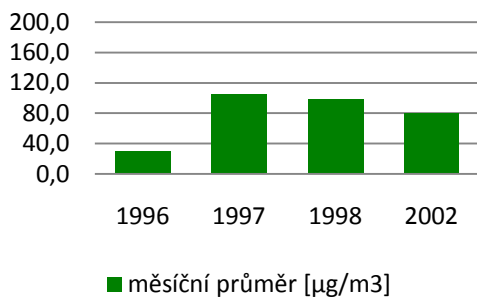
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
ČERVENEC**



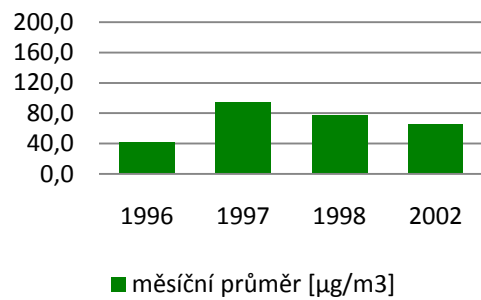
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
SRPEN**



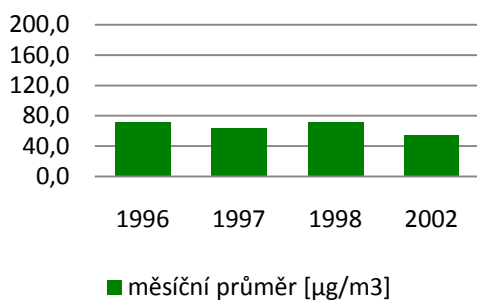
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
ZÁŘÍ**



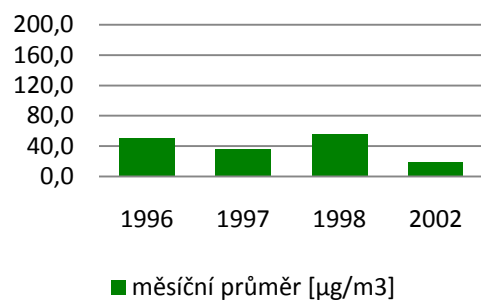
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
ŘÍJEN**



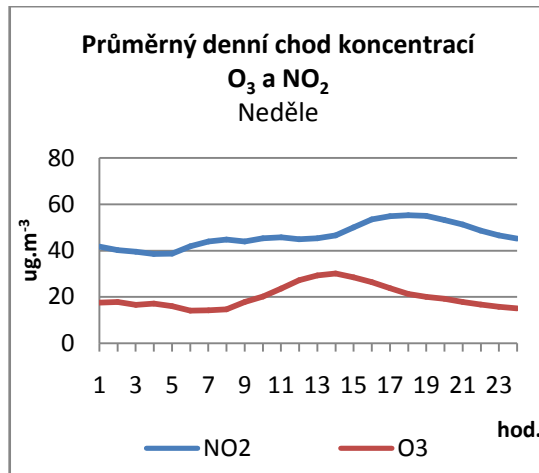
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
LISTOPAD**



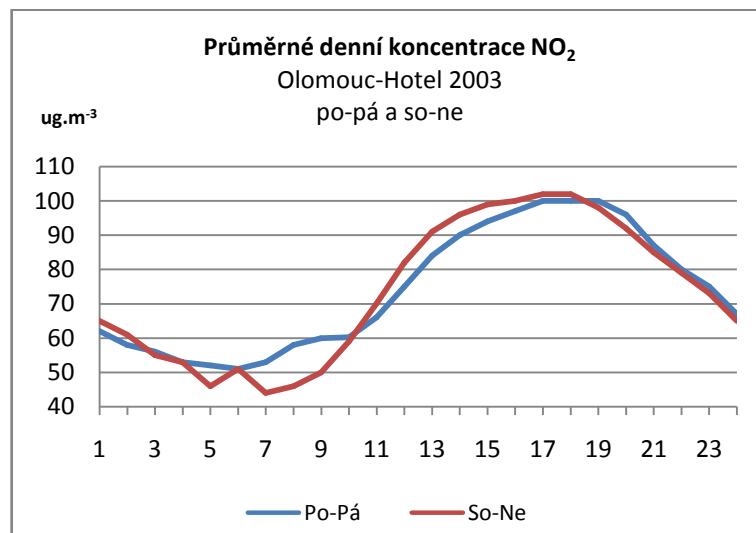
**Průměrné měsíční koncentrace NOx  
Olomouc-Hotel 1996-1998 a 2002  
PROSINEC**



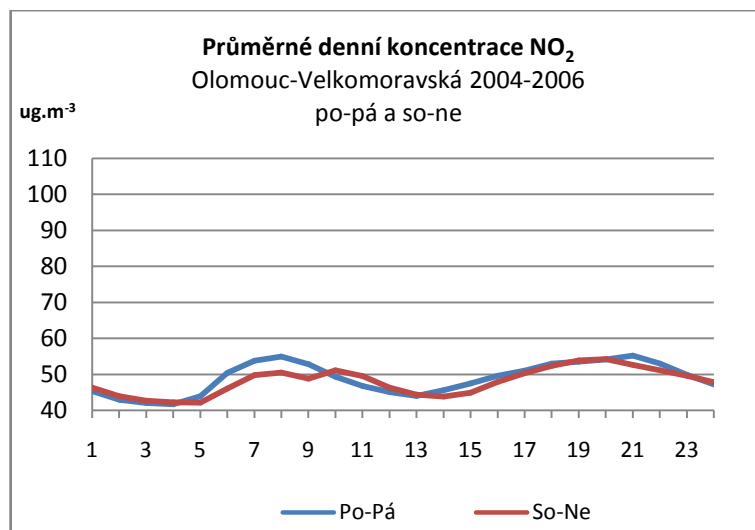




**Příloha E.2:** DENNÍ CHOD PRŮMĚRNÝCH HODINOVÝCH KONCENTRACÍ NO<sub>2</sub> VE DNECH PRACOVNÍHO TÝDNE A O VÍKENDU NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 2002–2003 A NA STANICI OLOMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2004–2006 (podle dat Magistrátu města Olomouce)

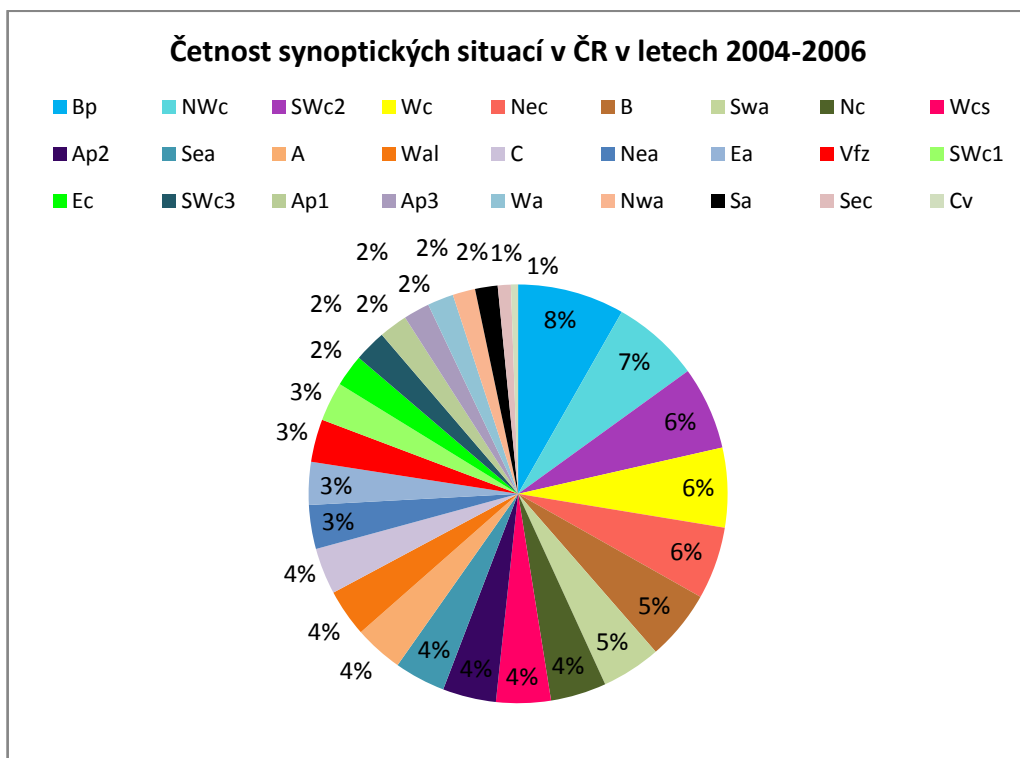
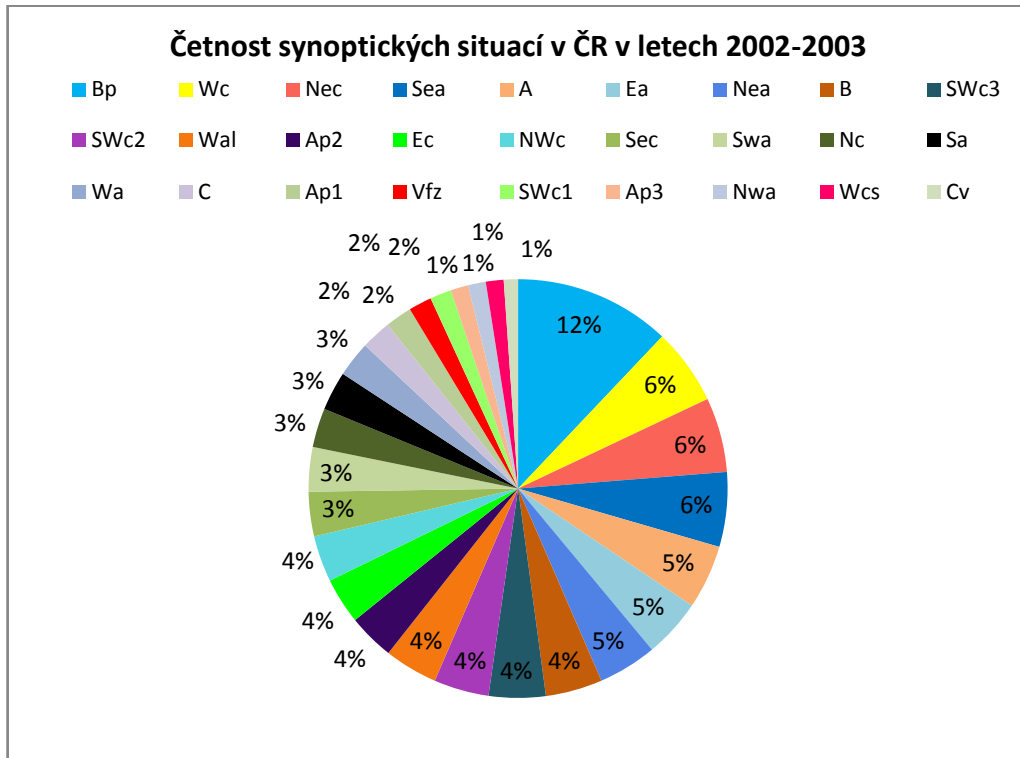




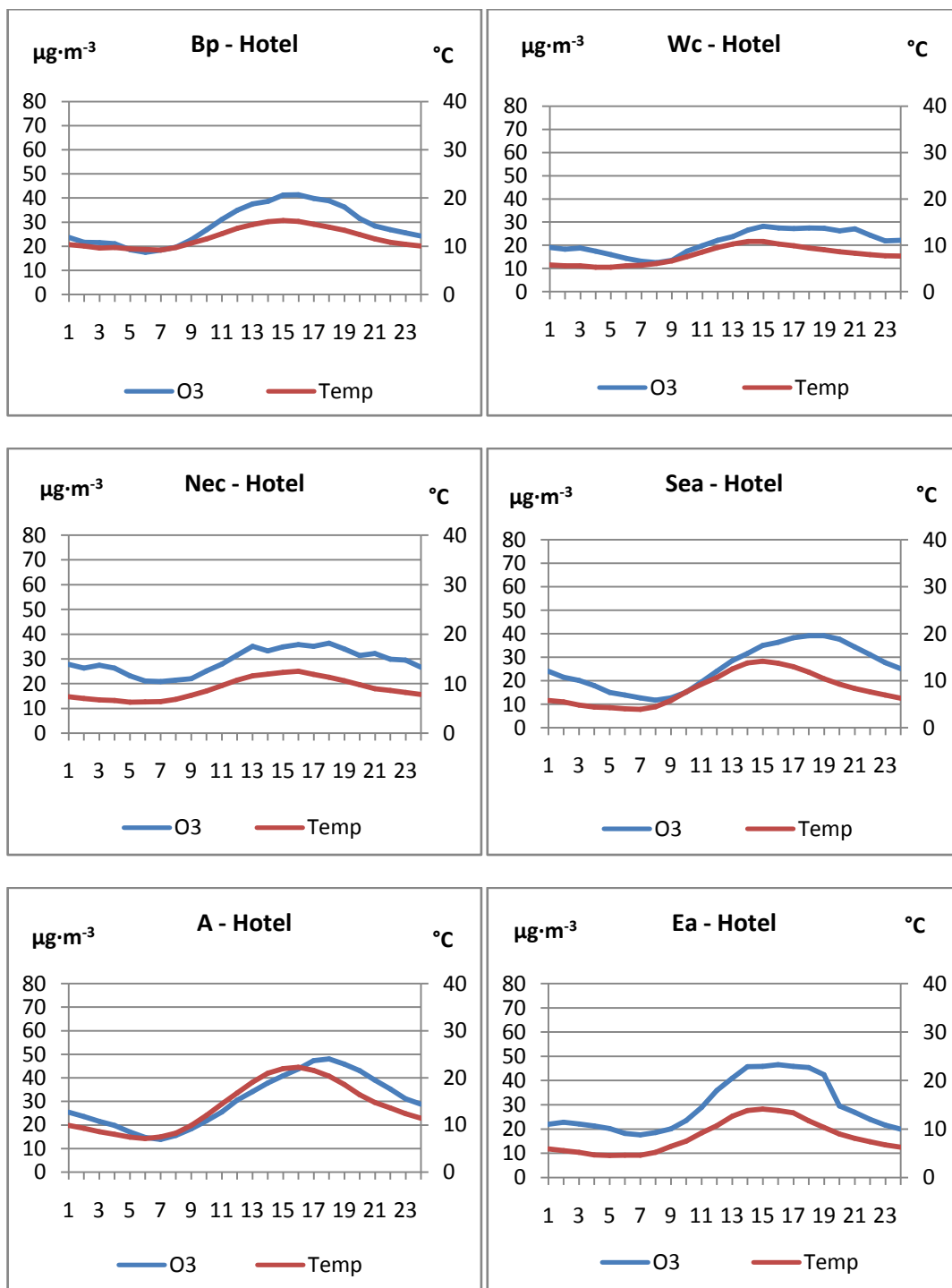


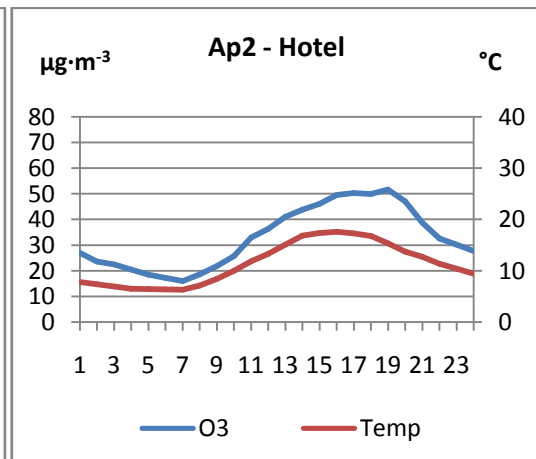
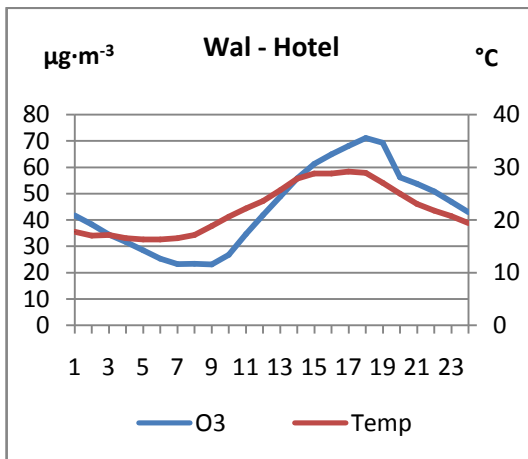
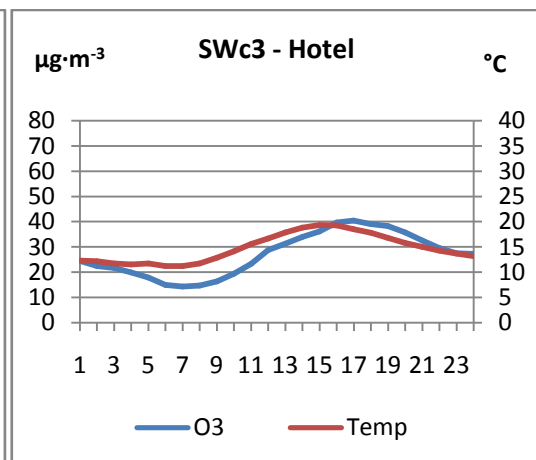
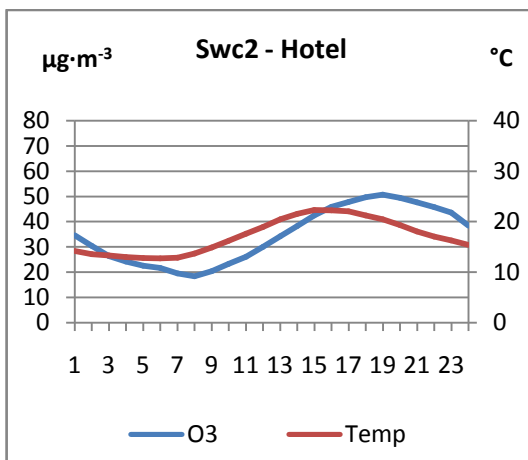
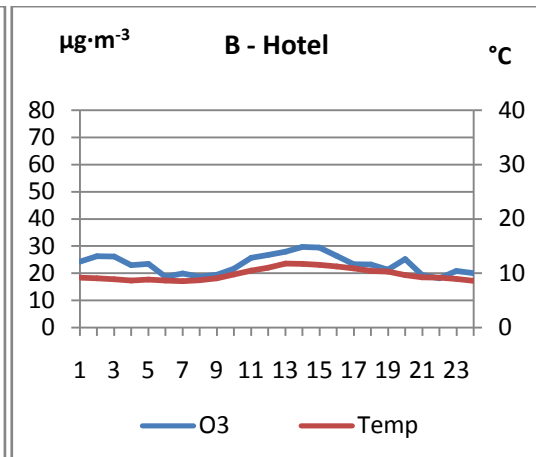
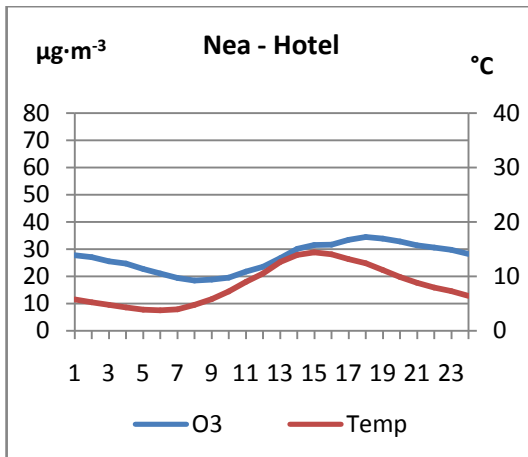
## PŘÍLOHA F

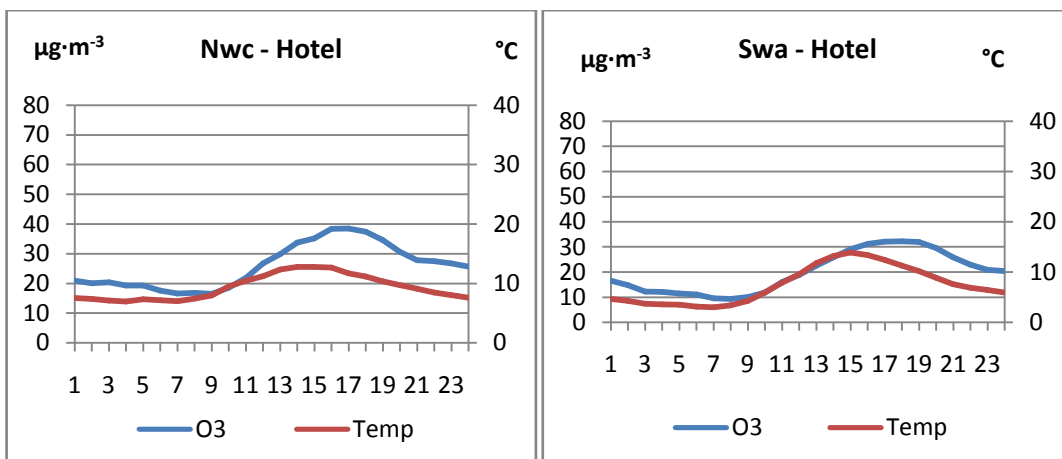
**Příloha F.1: ČETNOSTI SYNOPTICKÝCH SITUACÍ NAD ÚZEMÍM ČESKÉ REPUBLIKY V LETECH 2002–2003 A 2004–2005 (podle dat ČHMÚ online)**



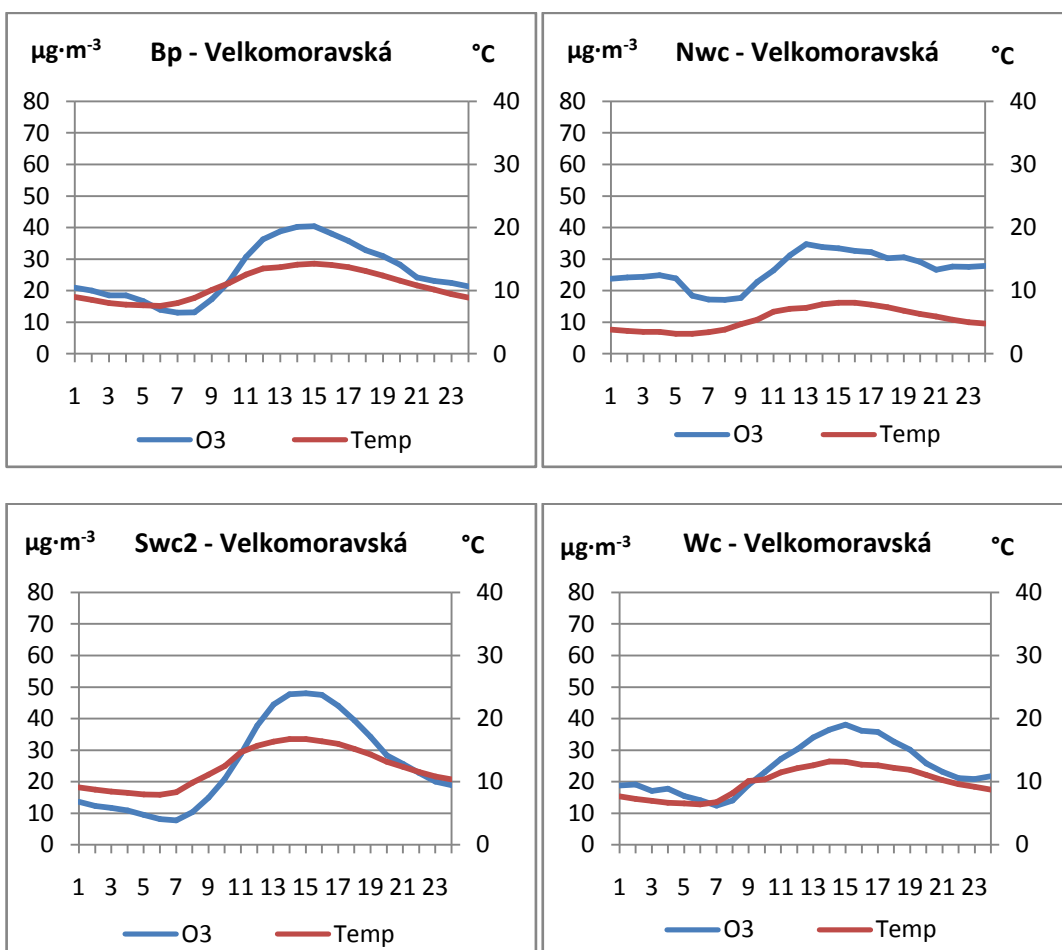
**Příloha F.2:** DENNÍ CHOD PRŮMĚRNÝCH HODINOVÝCH KONCENTRACÍ O<sub>3</sub> A PRŮMĚRNÝCH HODINÝCH TEPLOT BĚHEM NEJČASTĚJŠÍCH SYNOPTICKÝCH SITUACÍ NA STANICI OLOMOUC-HOTEL V LETECH 2002–2003 (podle dat z Magistrátu města Olomouce a ČHMÚ online)

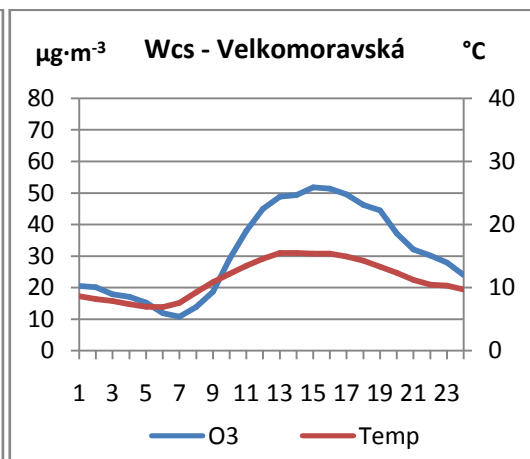
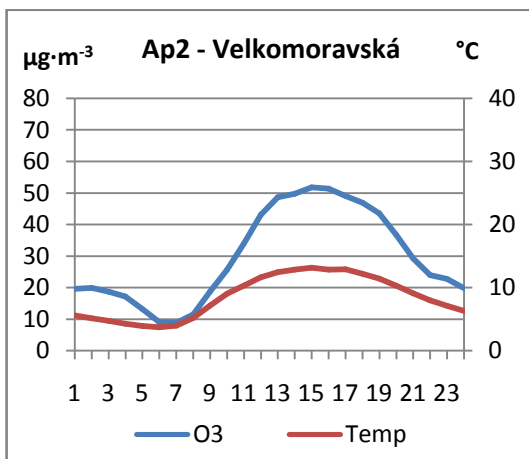
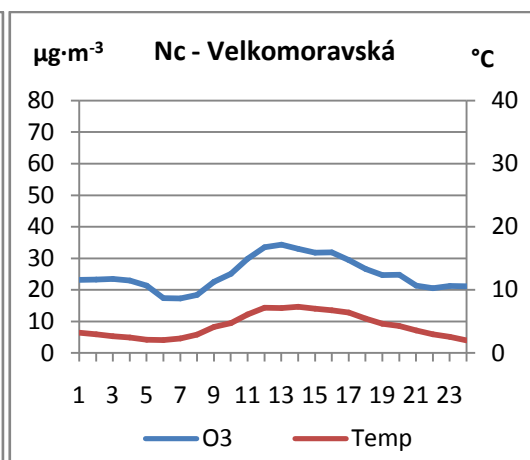
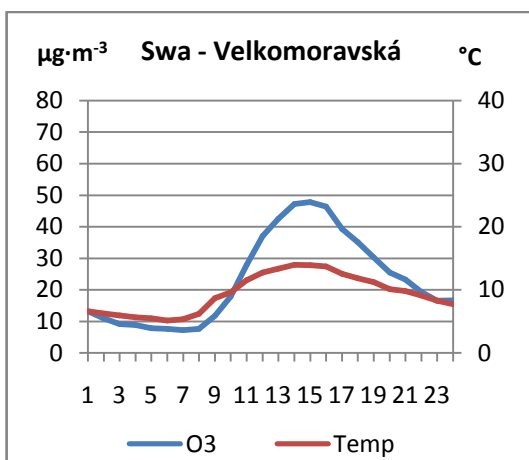
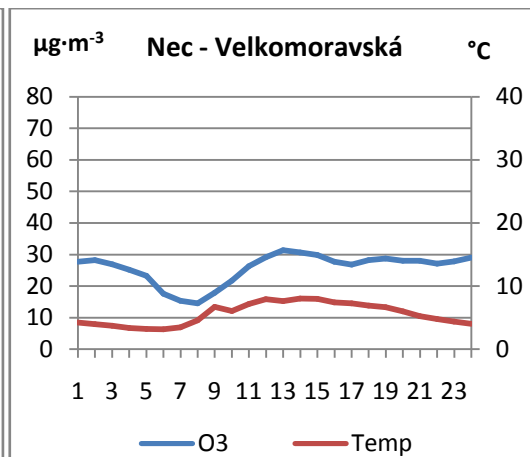
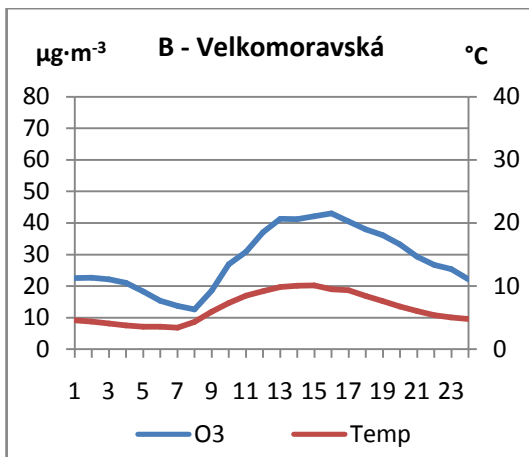


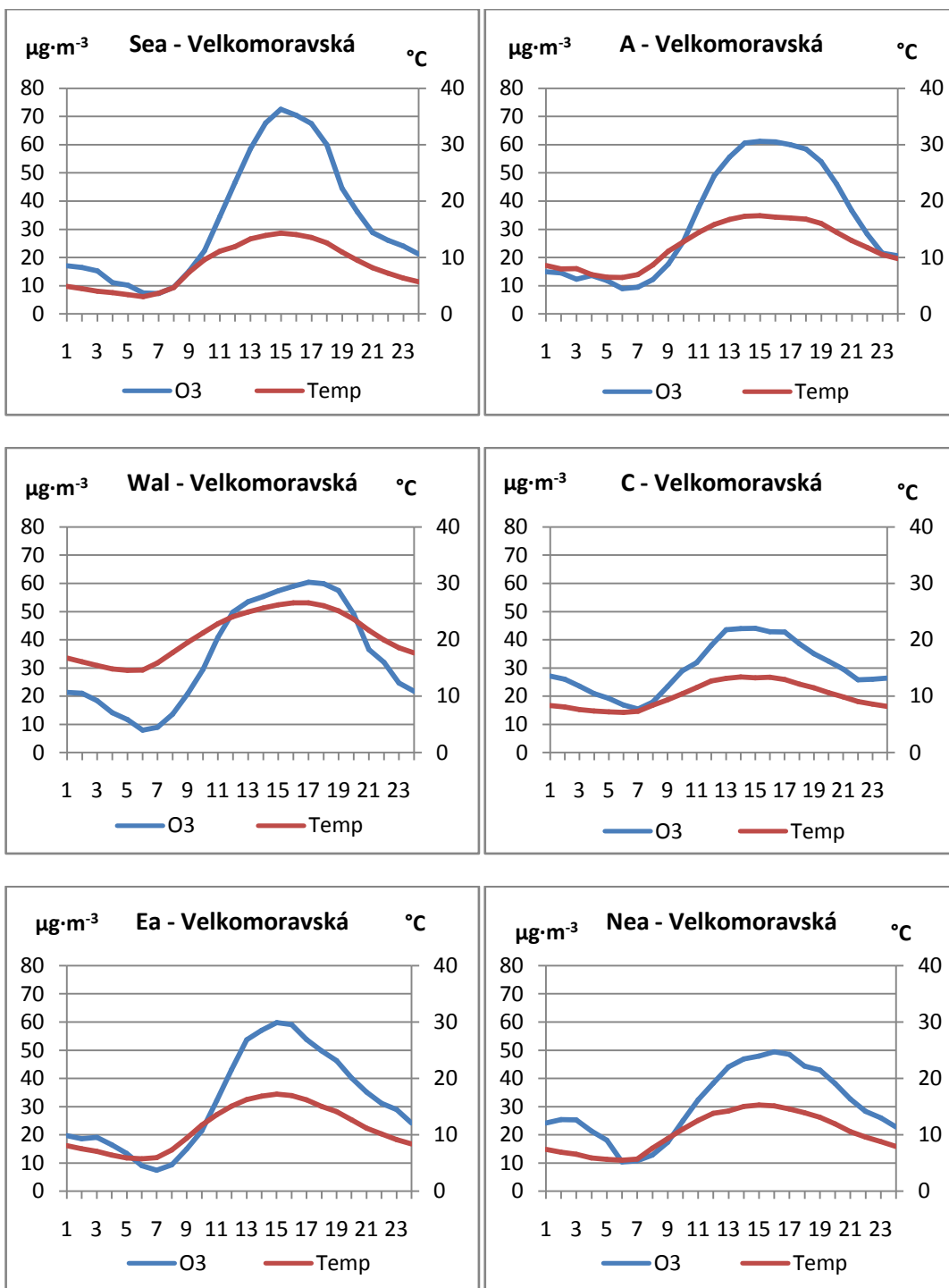




**Příloha F.3:** DENNÍ CHOD PRŮMĚRNÝCH HODINOVÝCH KONCENTRACÍ O<sub>3</sub> A PRŮMĚRNÝCH HODINÝCH TEPLOT BĚHEM NEJČASTĚJŠÍCH SYNOPTICKÝCH SITUACÍ NA STANICI OLMOUC-VELKOMORAVSKÁ V LETECH 2004–2006 (podle dat z Magistrátu města Olomouce a ČHMÚ online)







#### Příloha F.4: VYSVĚTLIVKY KE ZKRATKÁM SYNOPTICKÝCH SITUACÍ

Wc - západní cyklonální situace

Wal - západní anticyklonální situace letního typu

Wcs - západní cyklonální situace s jižní dráhou

NWc - severozápadní cyklonální situace

Wa - západní anticyklonální situace

NWa - severozápadní anticyklonální situace

Nc - severní cyklonální situace

NEc - severovýchodní cyklonální situace

NEa - severovýchodní anticyklonální situace

Ec - východní cyklonální situace

Ea - východní anticyklonální situace

SEc - jihovýchodní cyklonální situace

SEa - jihovýchodní anticyklonální situace

Sa - jižní anticyklonální situace

SWc1 - jihozápadní cyklonální situace

SWc2 - jihozápadní cyklonální situace

SWc3 - jihozápadní cyklonální situace

SWa - jihozápadní anticyklonální situace

B - brázda nízkého tlaku nad střední Evropou

Bp - brázda postupující přes střední Evropu

Vfz - vchod frontální zóny

C - cyklóna nad střední Evropou

Cv - cyklóna výšková

A - anticyklóna nad střední Evropou

Ap - putující anticyklóna



## PŘÍLOHA G

ROČNÍ CHOD EXTRATERESTRÁLNÍHO ( $R_a$ ) A GLOBÁLNÍHO ( $R_s$ )  
SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V LETECH 2004–2006 (vypočítáno podle dat z Magistrátu  
města Olomouce)

