

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Katedra geografie

Olga VÁLKOVÁ

**Příspěvek ke studiu teplotních inverzí a jejich vlivu
na kvalitu ovzduší v Olomouci**

Diplomová práce

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

Olomouc 2009

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a uvedla jsem veškerou literaturu a ostatní zdroje, které jsem použila.

V Krnově 28. 7. 2009

.....

Děkuji RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D. za ochotu při vedení mé diplomové práce,
za všechny odborné rady a připomínky.



Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geografie

Akademický rok 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student

Olga VÁLKOVÁ

obor (studijní kombinace)

Geografie-Biologie v ochraně životního prostředí

Název práce:

**Příspěvek ke studiu teplotních inverzí a jejich vlivu na kvalitu ovzduší
v Olomouci**

**Contribution to the study of temperature inversions and their impact on air quality
in Olomouc**

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je vyhodnotit charakteristiky výskytu teplotních inverzí v Olomouci na základě časových řad teploty vzduchu naměřených v různých částech města Olomouce a jeho nejbližšího okolí a analyzovat možnou míru jejich vlivu na hodnoty koncentrací znečišťujících látek zjištěných v rámci sítě imisního monitoringu města Olomouce.

Struktura práce:

1. Cíle a metody práce
2. Rešerše literatury o výskytu teplotních inverzí ve vztahu ke kvalitě ovzduší
3. Analýzy časových řad teploty vzduchu a koncentrací znečišťujících látek
4. Závěr
5. Shrnutí – Summary (česky a anglicky)
6. Přehled použité literatury

Diplomová práce bude zpracována v těchto kontrolovaných etapách:

| | |
|-------------|--|
| červen 2008 | rešerše literatury |
| srpen 2008 | sestavení metodiky analýzy dat |
| leden 2009 | vyhodnocení dat o teplotách a dat z imisního monitoringu |
| březen 2009 | finalizace diplomové práce |

Rozsah grafických prací: grafy, mapy, tabulky

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

Seznam odborné literatury:

Harrop, D. O. (2002) Air Quality Assessment and management : A Practical Guide. Spon Press. ISBN 0-415-23411-5.
Nosek, M. (1972) Metody v klimatologii. Praha: Academia.
Prošek, P., Rein, F. (1982) Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry. Praha: SPN.
Yoshino, M. (1975) Climate in a small area an introduction to local meteorology. Tokio: University of Tokyo Press, 1975.
Meteorologické zprávy (časopis). ISSN 0026-1173.
Webové stránky Českého hydrometeorologického ústavu: <<http://www.chmi.cz/>>

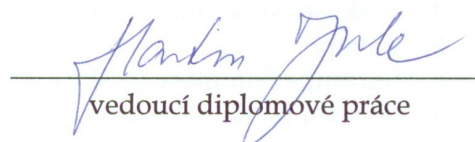
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 30. 11. 2007

Termín odevzdání diplomové práce: 15. 4. 2009



vedoucí katedry



vedoucí diplomové práce

Obsah

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 8 |
| 1 CÍL PRÁCE..... | 9 |
| 2 METODIKA PRÁCE | 10 |
| 2.1 Použitá data..... | 10 |
| 2.2 Metody zpracování dat..... | 12 |
| 3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE | 15 |
| 3.1 Zhodnocení dostupné literatury k tématu teplotních inverzí | 15 |
| 3.2 Obecná charakteristika teplotních inverzí..... | 20 |
| 3.2.1 Teplotní gradient | 21 |
| 3.2.2 Typy teplotních inverzí..... | 21 |
| 3.3 Stručná fyzickogeografická charakteristika města Olomouce se zaměřením na klimatické poměry..... | 24 |
| 3.3.1 Poloha a vymezení | 24 |
| 3.3.2 Geomorfologické a hydrologické poměry..... | 24 |
| 3.3.3 Klimatické poměry..... | 25 |
| 3.4 Problematika ochrany kvality ovzduší v ČR a v Olomouci..... | 29 |
| 3.4.1 Znečišťování ovzduší..... | 30 |
| 4 ANALÝZA VÝSKYTU TEPLOTNÍCH INVERZÍ V OLOMOUCI | 35 |
| 4.1 Četnost výskytu inverzí | 35 |
| 4.2 Trvání a doba výskytu inverzí | 40 |
| 4.3 Četnost synoptických situací vzhledem k typům teplotního zvrstvení..... | 42 |
| 4.4 Koncentrace znečišťujících látek vzhledem k typům teplotního zvrstvení | 50 |
| 4.5 Koncentrace znečišťujících látek u déletrvajících inverzí | 61 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 5 | ZÁVĚR | 64 |
| 6 | SHRNUTÍ | 65 |
| 7 | SUMMARY | 66 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 67 |

Úvod

Problematika životního prostředí a udržitelného rozvoje je v současné době jedním z nejaktuálnějších a často diskutovaných témat. Jedním z vlivů působících na zhoršování stavu životního prostředí, zejména v hustě osídlených oblastech a v průmyslových aglomeracích, jsou teplotní inverze. Jejich problematikou se bude zabývat tato diplomová práce.

Město Olomouc je pátým největším městem v České republice. Nachází se v Hornomoravském úvalu, široké tektonické sníženině příznivě otevřené vůči převládajícím směrům proudění vzduchu. Obecně příznivé předpoklady pro dobré rozptylové podmínky a relativně nevysoký počet průmyslových zdrojů znečišťování z něj činí město, které se nepotýká s akutními problémy v kvalitě ovzduší, přesto je pravidelně zařazováno ministerstvem životního prostředí mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší. Jedním z hlavních důvodů pro toto zařazení jsou zaznamenávané nadměrné hodnoty prašnosti v ovzduší. Ty přitom pocházejí ve velké míře z lokálních topenišť a ze silniční dopravy, tedy ze zdrojů, které jsou v případě výskytu přízemní inverze v současné době zákonnými prostředky neregulovatelné, ale zejména v případě motorových vozidel narůstající ve svých počtech.

Tato práce se věnuje problematice určení teplotních inverzí v ovzduší města pomocí pseudovertikálního profilu vytvořeného na základě záznamu dat o teplotě vzduchu získaných měřeními v prostoru vlastního města na dně úvalu a měřeními na vyvýšené lokalitě na Svatém Kopečku. Toto sledování rozdílů teploty vzduchu mezi intravilánem města a jeho vyvýšenou příměstskou místní částí by mohlo posloužit jako vhodný doplněk městského systému imisního monitoringu, protože bez nutnosti provádění aerologických pozorování nabízí aktuální údaj o teplotním zvrstvení v přízemní atmosféře města.

1 Cíl práce

Studium teplotních inverzí v atmosféře je poměrně komplexní problematika vzhledem k jejich prostorové a časové variabilitě, rozmanitým mechanismům vzniku a také s ohledem na různé způsoby sledování jejich výskytu. Tato diplomová práce si neklade za cíl přinést detailní analýzu výskytu teplotních inverzí všemi použitelnými odbornými postupy, zaměřuje se podrobněji na zhodnocení inverzí v přízemní vrstvě ovzduší města Olomouce pomocí operativně použitelné metodiky rozdílu teplot pozorovaných ve dvou výškově odlehlých lokalitách území města.

Cílem práce je zhodnotit výskyt teplotních inverzí a jejich vliv na kvalitu ovzduší ve městě Olomouci na základě podkladových dat, která tvoří časové řady teplot vzduchu zaznamenané v účelové topoklimatické staniční síti během měřicí kampaně během teplé části roku (konkrétně květen až září 2008) a ve dvou měřicích kampaních v rámci chladné části roku (konkrétně prosinec 2007 až březen 2008 a prosinec 2008 až březen 2009). Jako základ pro posouzení souvislosti mezi výskytem inverzí a kvalitou ovzduší slouží data o koncentracích tří základních znečišťujících látek (SO_2 , NO_x a PM_{10}) v ovzduší, zaznamenané automatizovanou monitorovací stanicí Olomouc-Velkomoravská v rámci imisního monitoringu Magistrátu města Olomouce.

Na základě těchto podkladů bude vyhodnocen průběh, doba trvání a intenzita inverzí, výskyt inverzí ve vztahu k povětrnostním situacím a také úroveň znečištění ovzduší základními znečišťujícími látkami ve vztahu k výskytu identifikovaných teplotních inverzí.

2 Metodika práce

Prvním krokem před samotným zpracováním diplomové práce bylo studium dostupných informačních zdrojů pro rešerši teoretických informací a poznatků týkajících se teplotních inverzí, jejich měření a možné interpretace. Dalším krokem byla analýza dat o teplotách vzduchu zaznamenaných v účelové topoklimatické staniční síti, kterou založila v roce 2007 katedra geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci pro účely studia městského a příměstského klimatu pod vedením doc. RNDr. Miroslava Vysoudila, CSc. Zpracování časových řad teploty vzduchu bylo provedeno v tabulkovém procesoru Microsoft Excel, v tomto prostředí byly také sestrojeny příslušné tabulky a grafy.

2.1 Použitá data

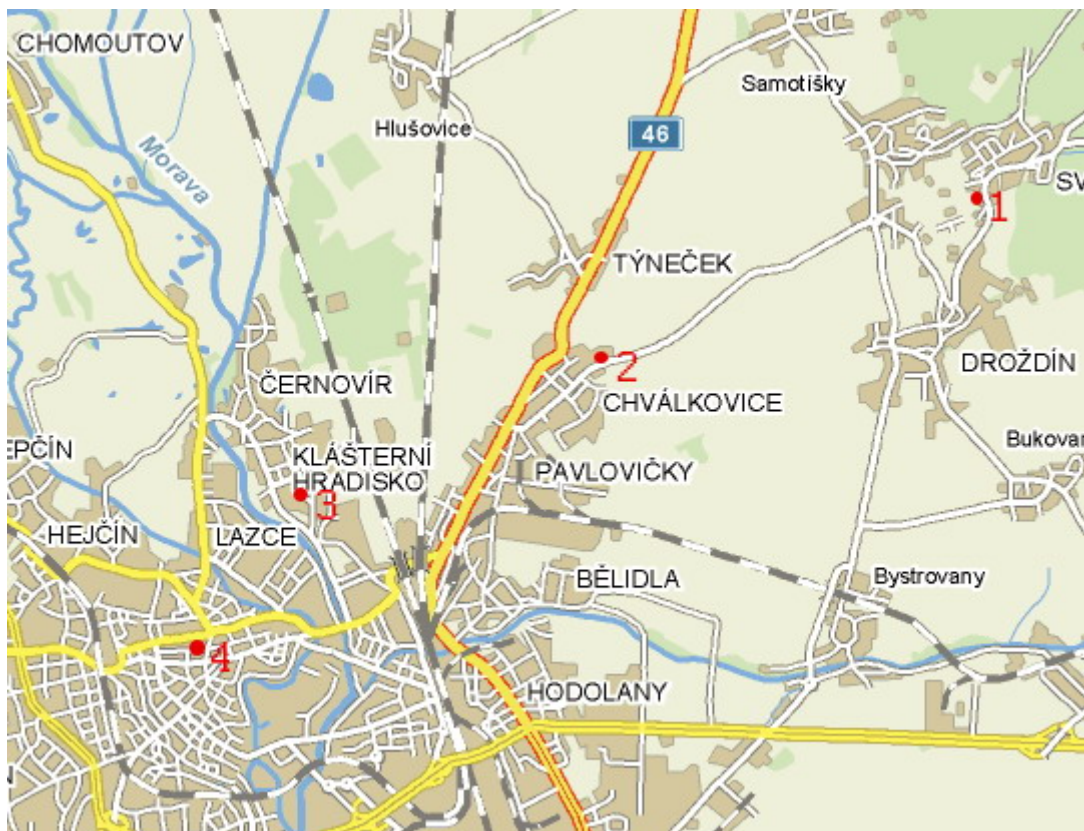
Z účelové měřicí sítě provozované katedrou geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci byly pro účely zpracování této diplomové práce vybrány čtyři lokality (obr. 1). První lokalita, Svatý Kopeček, se nachází v nadmořské výšce 360 m na pozemku základní školy Dvorského v místní části Olomouc-Svatý Kopeček. Druhá lokalita, Chválkovice, zahrnuje měření na pozemku domova důchodců ve Chválkovicích v nadmořské výšce 220 m na okraji intravilánu města. Třetí lokalita, Klášterní Hradisko, se nachází v areálu Střední školy zemědělské Olomouc v 218 m n. m. Čtvrtá lokalita, Dominikáni, v zahradě kláštera dominikánů v centru města Olomouce v nadmořské výšce 220 m.

Měření v chladné části roku probíhalo v lokalitách Svatý Kopeček a Chválkovice s využitím digitálních dataloggerů MicroLog od výrobce FourierSystems, zaznamenávajících údaje o teplotě a relativní vlhkosti vzduchu ve výšce 1 m nad aktivním povrchem (travnatou plochou) v intervalu 30 min. První období měření započalo 22. 12. 2007 a trvalo do 26. 3. 2008 s tím, že mezi 21. lednem a 16. únorem nebyla z technických důvodů data zaznamenána. Druhé období měření začalo 4. 12. 2008 a skončilo 16. 3. 2009, toto měření probíhalo nepřetržitě.

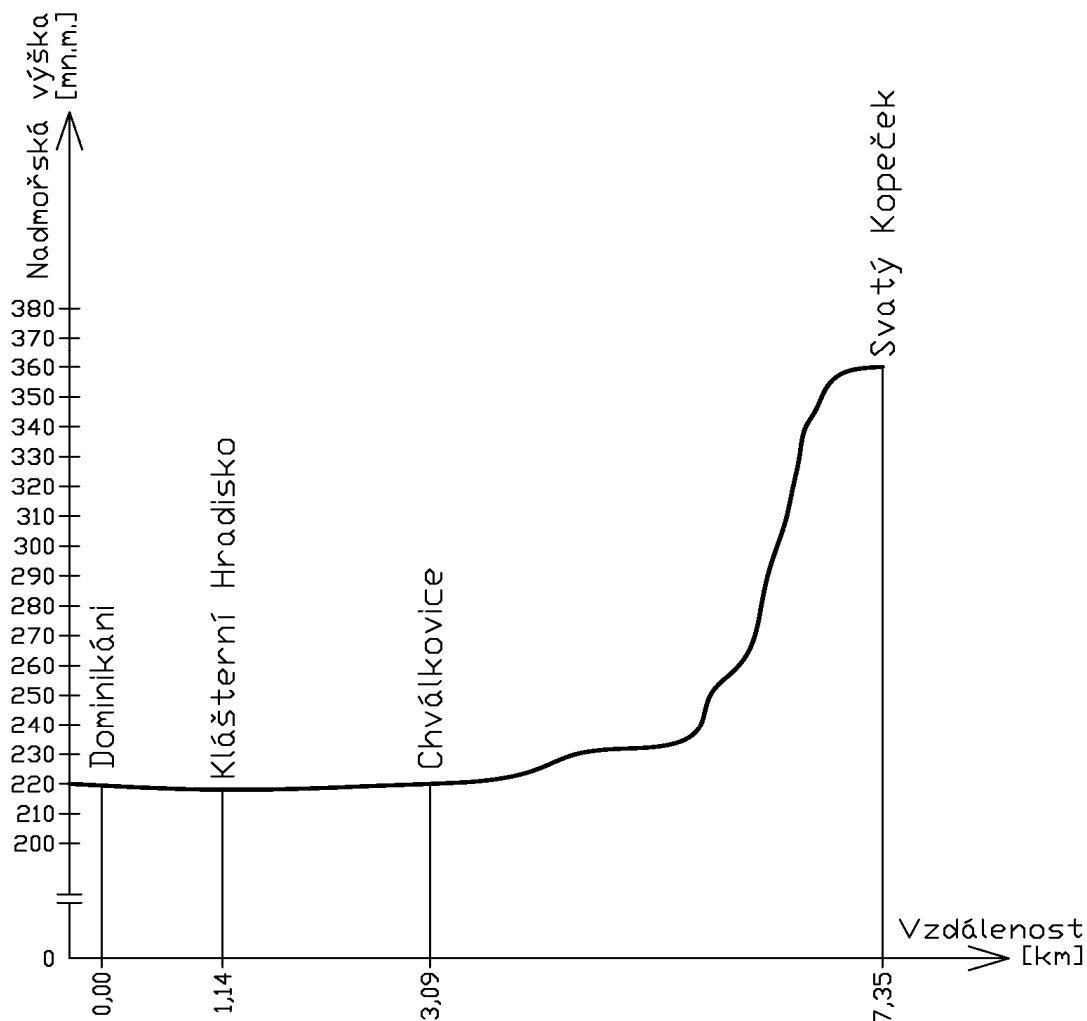
Z měření v teplé části roku bylo zpracováno období od 1. 5. 2008 do 30. 9. 2008 z lokalit Svatý Kopeček, Klášterní Hradisko a Dominikáni, kde byly umístěny účelové topoklimatické stanice Weather Station od výrobce FourierSystems, které zaznamenávaly údaje o teplotě vzduchu ve výšce 1 m nad aktivním povrchem (ve všech

případech travnatá plocha) v intervalu 10 minut (současně stanice zaznamenávaly data o relativní vlhkosti vzduchu, srážkových úhrnech, tlaku vzduchu, směru a rychlosti větru a část z nich i globální radiaci).

Lomený převýšený profil mezi lokalitami Svatý Kopeček, Chválkovice, Klášterní Hradisko a Dominikáni ve směru jihozápad–severovýchod (obr. 2) znázorňuje výrazně vyvýšenou polohu lokality Svatý Kopeček oproti zbývajícím třem, které leží v prostoru Středomoravské nivy v prakticky stejné nadmořské výšce 218–220 m. Nejvyšší bod profilu je v nadmořské výšce 360 m, v místě účelové stanice Svatý Kopeček, nejnižším bodem je Klášterní Hradisko s nadmořskou výškou 218 m. Délka profilu mezi stanicemi činí 7,35 km.



Obr. 1 Umístění lokalit účelové meteorologické staniční sítě v Olomouci (1. Svatý Kopeček, 2. Chválkovice, 3. Klášterní Hradisko, 4. Dominikáni).



Obr. 2 Lomený převýšený profil území mezi lokalitami Dominikáni, Klášterní Hradisko, Chválkovice a Svatý Kopeček.

2.2 Metody zpracování dat

Před samotným zpracováním časových řad byl proveden výběr vhodných období pro zpracování. Z měření v teplé části roku byly vybrány pouze měsíce květen, červen, červenec, srpen a září, a to z důvodů uceleného měření na třech stanicích účelové topoklimatické staniční sítě. V chladné části roku byla použita ke zpracování všechna dostupná měření ze dvou lokalit, kde byly teploty zaznamenány pomocí dataloggerů.

Rešerše prací, které se věnovaly studiu teplotních inverzí na základě rozdílů teplot měřených několika pozemními stanicemi, ukázala podobnost metodiky zpracování pomocí tzv. pseudoadiabatického gradientu, zároveň ale také nejednotnost ohraničujících podmínek pro možnosti vyhodnocení a relativní rozdílnost

ve vymezení izotermie. Na tomto základě byla navržena níže popsaná vlastní metodika s tím, že výsledky analýzy je třeba interpretovat jako omezené podmínkami metody.

V první fázi byly časové řady teplot porovnány po dvojicích mezi stanicemi na dně úvalu a stanicí na Svatém Kopečku (Dominikáni a Svatý Kopeček, Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček, Chválkovice a Svatý Kopeček). Vypočtené rozdíly teplot byly vyhodnoceny podle toho, zda se vyskytla inverze, izotermie nebo stav normálního teplotního zvrstvení, a to tak, že za inverzi byly vyříděny případy rozdílu teplot menší než $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, jako izotermie byly klasifikovány rozdíly teplot v rozmezí $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jako stav normálního teplotního zvrstvení byly vyhodnoceny rozdíly teplot vyšší než $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kladná hodnota rozdílu znamená nižší teplotu na Svatém Kopečku oproti lokalitám na dně úvalu). V teplé části roku, kdy byly teploty zaznamenány v intervalu 10 minut, byly stavy zvrstvení vyhodnocovány tak, aby tvořily minimálně třicetiminutové souvislé celky (kvůli jednotnosti při srovnání s chladnou částí roku). Dále byly určeny doby, ve kterých se inverze nejčastěji vyskytovala, a byly vyhodnoceny doby trvání inverzí v jednotlivých sledovaných měsících.

V další fázi byly vyhodnoceny četnosti synoptických situací na základě jejich určení podle katalogu, který je k dispozici na internetových stránkách ČHMÚ (tab. 1). Byla vyhodnocena zima 2007/2008 a teplé období roku 2008. Období zimy 2008/2009 vyhodnoceno nebylo, protože data za leden až březen 2009 byla zveřejněna (navíc zatím jen v pracovní verzi) až v polovině roku 2009. Typy synoptických situací byly porovnány s rozložením výskytu inverzí, izotermií a stavů normálního teplotního zvrstvení.

Pro zhodnocení vlivu inverzí na kvalitu ovzduší v Olomouci byla použita data ze stanice městského imisního monitoringu Olomouc-Velkomoravská. Stanice je umístěna na pozemku Střední školy polytechnické Olomouc, v blízkosti frekventované komunikace. Jedná se o dopravní stanici v městské obytné zóně, leží v nadmořské výšce 209 m. Zaznamenává data o průměrných hodinových koncentracích SO_2 , NO_2 , PM_{10} , O_3 a také data o teplotě, množství srážek, směru a rychlosti větru.

Pro posouzení vlivu inverzí na kvalitu ovzduší byly vyhodnoceny úrovně znečištění ovzduší třemi základními znečišťujícími látkami: SO_2 , NO_2 a PM_{10} . Byly vyhodnoceny jednak průměrné koncentrace těchto škodlivin při výskytu inverze, izotermie a normálního teplotního zvrstvení. Dále byly zvlášť posouzeny koncentrace znečišťujících látek za inverzních situací, které trvaly souvisle alespoň 12 hodin.

Tab. 1 Typy povětrnostních situací na území České republiky v období prosinec 2007 až září 2008 (ČHMÚ, 2009a on-line)

| Den | XII 2007 | I 2008 | II 2008 | III 2008 | IV 2008 | V 2008 | VI 2008 | VII 2008 | VIII 2008 | IX 2008 |
|-----|-------------|-----------|------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|------------|
| 1. | Wc | Cv | Bp | Wc | Vfz | SWc3 | B | Wal | Ap4 | SWc1 |
| 2. | Wc | Cv | Bp | Wc | Vfz | SWc3 | Ap3 | Wal | Wc | SWc1 |
| 3. | Bp | Ea | Ap1 | Wc | Vfz | NEc | Vfz | Bp | Wc | SWc2 |
| 4. | Bp | Ea | Bp | Bp | Vfz | NEc | Vfz | Bp | Wc | SWc2 |
| 5. | Wc | Wc | Bp | Bp | C | NEc | NEa | Bp | Ap1 | SWc2 |
| 6. | Wc | Wc | Bp | Wa | C | NEc | NEa | SWc3 | Ap1 | SWc2 |
| 7. | Wc | Wc | Bp | Wa | C | NEa | NEc | SWc3 | Bp | Bp |
| 8. | Wc | Wc | Ea | Wa | SWc2 | NEa | NEc | SWc3 | Bp | Bp |
| 9. | B | Wc | Ea | Wa | SWc2 | NEa | NWa | SWc3 | Bp | Ap1 |
| 10. | B | SWa | Ea | Wa | SWc2 | NEa | NWa | SWc2 | Ap1 | Vfz |
| 11. | NEc | SWa | Ea | Wc | SWc2 | NEa | B | SWc2 | SWc2 | Vfz |
| 12. | NEc | B | Ea | Wc | SWc2 | NEa | B | SWc2 | SWc2 | NEa |
| 13. | NEc | B | NWa | Wc | Ap1 | NEa | B | Bp | SWc2 | NEa |
| 14. | NEc | B | NWa | Wc | B | NEa | B | Bp | SWc2 | Ec |
| 15. | NEa | B | Nc | Wc | B | SWc2 | B | Bp | Bp | Ec |
| 16. | NEa | B | Nc | Wc | NEc | SWc2 | B | Wc | Bp | NEc |
| 17. | NEa | B | Ap3 | Nc | NEc | SWc2 | B | Wc | Ap1 | NEc |
| 18. | NEa | Wc | NWc | Nc | SWc3 | Bp | Wal | Wc | Ap1 | NEc |
| 19. | A | Wc | NWc | Nc | SWc3 | Bp | Wal | Wc | SWc2 | NEc |
| 20. | A | Wc | Wc | Nc | SWc3 | Ec | Wal | B | SWc2 | NEc |
| 21. | A | Wc | Wc | B | C | Ec | Wal | B | Ap1 | NEc |
| 22. | A | Nc | Wc | B | C | Ec | Wal | B | Bp | NEc |
| 23. | A | Nc | Wc | B | NEa | NEc | Wal | NEc | Bp | NEc |
| 24. | Cv | Wc | Wc | B | NEa | NEc | Wal | NEc | Bp | NEc |
| 25. | Cv | Wc | Wc | B | Bp | SEa | Wal | NEc | Wa | NEc |
| 26. | SWa | Wc | Wc | B | Bp | SEa | Wal | NEa | Wa | NEa |
| 27. | SWa | NWc | Wc | Vfz | Ap1 | SEa | Wal | NEa | Wa | NEa |
| 28. | SWa | NWc | Wc | Vfz | Ap1 | SEa | Wal | NEa | Wa | NEa |
| 29. | Bp | Ap2 | Wc | Bp | B | SEa | Wal | NEa | Bp | Wc |
| 30. | Bp | Bp | | Ap1 | B | SEa | Wal | NEa | Ap3 | Wc |
| 31. | Bp | Bp | | Ap1 | | B | | Ap4 | Ap3 | |

3 Teoretická východiska práce

3.1 Zhodnocení dostupné literatury k tématu teplotních inverzí

Pro základní charakteristiku teplotních inverzí byla použita skripta *Meteorologie a klimatologie* od doc. Miroslava Vysoudila (2004) a *Meteorologický slovník výkladový a terminologický* (1993). Základní klimatická charakteristika byla zpracována podle Quitta (1984) a *Atlasu podnebí Česka* (2007). Část poznatků o mikroklimatu a termodynamických procesech v přízemní vrstvě atmosféry byla čerpána z práce Proška a Reina (1982). Autoři detailně popisují problematiku výměny energie mezi aktivním povrchem a přízemní atmosférou, teplotní a vlhkostní poměry přízemní atmosféry v období pozitivní a negativní energetické bilance, proudění vzduchu aj. Při zpracování diplomové práce byla využita kapitola týkající se teplotních poměrů přízemní atmosféry.

Co se týče výzkumných článků na téma teplotních inverzí, v české odborné literatuře se jich vyskytuje jen nevelké množství. Z časopisu *Meteorologické zprávy* byl nastudován článek *Teplotní inverze na severních a jižních svazích Nízkých Tater v oblasti Chopoka*. Autor Holý (1988) v něm hodnotil desetileté období 1973–1982, při čemž inverzi určoval porovnáváním termínových pozorování v 7, 14 a 21 hodin, dále také podle denní průměrné teploty a podle minimální a maximální teploty vzduchu. Inverze byla zaznamenána jak na jižních, tak i na severních svazích téměř v polovině dnů v roce. Zatímco na jižních svazích dosahovala inverze největší počet případů podle minimální teploty, na severních v 7 hodin ráno. Na severních svazích díky méně intenzivní insolaci a tím i méně intenzivní konvekční činnosti inverze přetrvávala delší dobu a zanikala až v předpoledních hodinách. Inverze zde měly charakteristický roční chod s maximálním výskytem v zimě, převážně za anticyklonálních situací. V zimních měsících se jednalo převážně o intenzivní inverze s delším trváním, zatímco v letních měsících se vyskytovaly méně výrazné inverze, evidované hlavně podle minimálních teplot vzduchu v ranních hodinách.

Problematice studia zvrstvení mezní vrstvy atmosféry ve vztahu ke kvalitě ovzduší se u nás zabývali od poloviny 60. let 20. století především Rein a Coufal. Rein (1971) se věnoval problému určení prahových hodnot vertikálního gradientu pro klasifikaci základních typů zvrstvení a věnoval se metodě určení tohoto gradientu z pozemních meteorologických měření na stanicích v různých nadmořských výškách.

Coufal (1973) tuto metodiku dále rozpracoval a využil ji ke zhodnocení četnosti výskytu stabilního, neutrálního a labilního zvrstvení v jednotlivých oblastech Československa. Z rozptylových studií zpracovaných přímo pro oblast Olomouce se k výskytu inverzí zmiňuje Ambrož (1996) o velmi častém výskytu „inverzních stavů v Olomouci s výškou inverzní vrstvy mezi 80 až 150 m.“

V zahraniční literatuře se nachází mnoho studií zabývajících se teplotními inverzemi. Mezi nejvýznamnější patří např. studie Blatforda et. al. (2007) z Univerzity v Idaho, která se zabývá teplotami vzduchu a denními a sezónními teplotními gradienty v horském terénu v jižní centrální části Idaho. K dispozici měli 14 meteorologických stanic a z nich měření od ledna 1989 až do prosince 2004. Denní teploty vzduchu a sezónní gradienty ukazovaly vysokou proměnlivost. Teplotní gradienty ukazovaly rozdílné sezónní trendy, strmější teplotní gradienty se vyskytovaly v létě a menší výkyvy v zimě. Denní teplotní gradienty byly potom nejstrmější na jaře a nejmenší výkyvy se vyskytovaly kolem letního slunovratu. Různé synoptické povětrnostní podmínky také ovlivňovaly teplotní gradienty, ale rozdíly byly malé.

Daly et al. (2007) se zabývali prostorovým modelováním denních povětrnostních situací majících vysokou rozlišovací schopnost pro povodí v Kaskádovém pohoří v Oregonu v USA. Tato studie byla zaměřena na získání vysoce kvalitních denních meteorologických dat, která jsou důležitá pro hydrologické a ekologické modely. Ty slouží k odhadování ekologických rizik.

Povodí se vyznačuje prudkými svahy a hluboko zaříznutým údolím. Klima oblasti je charakteristické vysokými srážkami v zimě a obdobím sucha v létě, asi 70–75 % srážek spadne v období od listopadu do dubna. Krytá údolí jsou velice náchylná k odtékání studeného vzduchu a shromažďování. V případě nepřítomnosti slunečního záření nebo výraznějších větrů nedochází k dostatečnému promíchávání atmosféry. V těchto topografických podmínkách tvoří údolí větrací kanál, ve kterém se tlačí hustý a studený vzduch směrem dolů do údolí a v depresi se tvoří jezera studeného vzduchu. Tento fenomén má za následek teplotní inverze. Teplotní inverze se zde vyskytovaly po většinu roku, s výjimkou jara, kdy byla atmosféra poměrně dobře promíchána. Většina inverzí ale nastávala od listopadu do ledna.

Sezónní změny teplotních inverzí nad Aténami v Řecku byly tématem studie Kossomenose a Koletsise (2005). Ti studovali četnost a charakteristické rysy teplotních inverzí v letech 1974–2001. Analýzy byly prováděny zvlášť pro den a noc. Inverze úzce souvisí s podmínkami stability spodní vrstvy atmosféry a mají výrazný vliv na rozptyl

imisi. Snížený rozptyl imisi způsobený stabilní inverzí zapříčiňuje atmosférické znečištění. Ve studii se zkoumala síla a hloubka inverzní vrstvy a také potenciální rozdíl teploty mezi základem a vrcholem inverzní vrstvy a ekvivalentní rozdíl rosného bodu.

Každé roční období představovalo jiné charakteristické rysy a množství teplotních inverzí díky různým příčinám utváření. Léto bylo charakteristické anticyklonálními podmínkami, což mělo za následek minimální oblačnost a téměř bezvětří. Tato situace přispívala k tvorbě nočních přízemních inverzí. V zimě, která zde trvá asi dva měsíce, byla situace podobná, anticyklóny zůstávaly stát nad tímto územím a zvláště v období bez oblačnosti se tvořily přízemní noční inverze. Rozsáhlý počet inverzí a jejich vysoká síla mohly být také způsobeny pronikáním chladných kontinentálních vzduchových hmot. Přechodné období se pak vyznačovalo intenzivní proměnlivostí povětrnostních podmínek. Z tohoto důvodu bylo v tomto období obtížné určit původ inverzí.

Marth (2006) ze Státní univerzity v Oregonu se zabýval proměnlivostí teploty vzduchu v komplexním terénu. Prostorová distribuce teploty vzduchu závisí na topografii, vegetaci, půdních charakteristikách, slunečním záření a rychlosti proudění vzduchu. Cílem studie bylo popsat variabilitu teplotního gradientu, změny v intenzitě prohřívání nebo ochlazování přízemní vrstvy, snížení mechanického promíchávání vzduchu a toku teplého vzduchu v regionálním a velkém měřítku.

Analýza ukázala, že teplota s rostoucí nadmořskou výškou stoupá přibližně lineárně společně s měnícím se oteplením nebo ochlazením zemského povrchu. Velikost přízemního teplotního gradientu se snižuje se stoupajícím mechanickým promícháváním tepla, které vzniká z vertikálního promíchávání a horizontálního proudění.

Milionis a Davies (2008) zkoumali vlivy povětrnostních situací na statistiku atmosférických teplotních inverzí ve východní Anglii. Používali alternativní povětrnostní klasifikaci s cílem spojení statistiky inverzí nejen pro specifické typy počasí, ale také pro fyzikální důvody odpovědné za utváření inverzí. Toto třídění ukázalo, že za nepřítomnosti anticyklóny je aktivita inverzí dost nezávislá na běžném povětrnostním vzoru. Hlavní výsledky studie odhalily, že zvýšené inverze jsou nejintenzivnější v anticyklonálních situacích. Nejvyšší aktivita, stejně jako nejvyšší četnost inverzí, byla opět přidružena s anticyklonálními podmínkami. Méně intenzivní a méně časté inverze nastávají při cyklonálním počasí. Tyto situace nastávají možná

proto, že v nejnižší části troposféry jsou přítomny horizontální divergence a sesedání vzduchu za anticyklonálních podmínek, zatímco konvergence a pohyb vzhůru jsou přítomny v cyklonálních situacích.

Ryozo (2007) se zabýval současným vývojem městského klimatu a tepelným ostrovem na základě zkušeností z Japonska. V posledních letech zde velice stoupla míra urbanizace, s čímž souvisí místní změny klimatu, včetně městského tepelného ostrova, který způsobuje také větší městské znečištění ovzduší. Ryozo navrhl různé nástroje pro odhad mechanismu vzniku tepelného ostrova a možnosti prostředků ochrany ovzduší.

Trusilova et al. (2007) zkoumali dopad urbanizace na klima v Evropě. Ve studii byl použit model městské energetické bilance. Byly použity dva různé modelové scénáře, jeden pro mimoměstské oblasti a druhý pro městské oblasti v aktuálním stavu na začátku 21. století. Porovnáním simulace těchto odlišných scénářů byly spočítány rozdíly mezi povrchovou teplotou a srážkami. Studie ukázala významný vliv městských ploch na změnu povrchových teplot a srážek na místní i oblastní úrovni. Ukázalo se, že městská zástavba způsobuje významné snížení denní amplitudy teplot o více než 1,2 °C v létě a více než 0,7 °C v zimě. Díky městským plochám došlo také ke změně atmosférické cirkulace, což má za následek zvýšení srážek v zimním období asi o 8 % a snížení letních srážek v evropských městech asi o 19 %. Podle studie je silně ovlivněno nejen místní klima ve městech, ale také klima v příměstské zóně. Do studie nicméně nebyly zahrnuty tři dodatečné faktory, a to efekt městského znečištění na utváření srážek, odlišnosti morfologie a antropogenní zdroje tepla pro jednotlivá evropská města.

Tokem svahu a nízkou sklonitostí svahu a jejich vzájemným ovlivněním při údolních inverzích se zabýval Whiteman a Zhong (2007). Studie se zaměřila na vývoj teplotní a větrné struktury uvnitř a nad proudovou vrstvou svahu a jejich změnou se vzdáleností od svahu.

Zoumakis a Efstathiou (2005) zkoumali parametrizaci rozpadu inverze v idealizovaných údolích. Studie měla dvě části, první část se zabývala nastavitelnými parametry modelu a druhá termodynamickým modelem. Výsledky studie potvrdily, že výše rozpadu inverze může být určena charakteristickými rysy údolí, a to skrz jednoduchý parabolický poměr. Termodynamický model přesně simuluje změny v čase a výši vrcholu inverze a hloubku konvekční hraniční vrstvy během rozpadu noční teplotní inverze v širokém okruhu údolí.

Dále byla také nastudována literatura týkající se vlivu inverzí na kvalitu ovzduší. Zmíním několik článků z časopisu Atmospheric Environment.

Pudasainee et. al. (2006) se zabýval přízemní vrstvou ozonu a koncentrací NO_x a meteorologickými parametry v Káthmánském údolí v Nepálu. Několik let nepřetržitě měřil plynné emise NO , NO_2 , NO_x a O_3 . Maximální koncentrace se vyskytovaly v období slunečního svitu. Káthmánské údolí leží mezi $27^{\circ}37'$ a $27^{\circ}45'$ severní zeměpisné šířky a $85^{\circ}15'$ a $85^{\circ}22'$ východní zeměpisné délky, kde leží Káthmándú, hlavní město Nepálu. Je situované v nadmořské výšce 1300–1500 m a obklopené vysokými horami nad 2000 m. Má nesourodý terén a okolní hory jsou pokryty keři a stromy. Výškové rozdíly a extrémní denní rozdíly záření vedou k tvorbě inverzní vrstvy, která může trvat i několik dnů, zvláště během zimního období. Údolí má miskovitý tvar, který během zimy zachytí studený vzduch. Hustý studený vzduch zachycený na dně údolí brání vertikální výměně nízkého tlaku vzduchu, což vede k rozvoji znečištění ovzduší.

Silva et. al. (2007) studovali koncentraci a složení jemných částic během zimní inverze v Logan v Utahu, USA. Ukázalo se, že v zimě 2004 se zvýšily koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ vlivem inverzí. V této době došlo sedmáctkrát k překročení 24hodinového limitu pro $\text{PM}_{2,5}$. Vysoká koncentrace jemných částic v Cachetském údolí v Utahu je spojena s teplotní inverzí, směsí městských a venkovských emisí a uzavřeným reliéfem. Zvýšené koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ byly pozorovány od zavedení měření v roce 2000, i když zde nejsou žádné větší zdroje znečištění. Studie probíhaly v lednu a únoru 2004 a během těchto měsíců bylo v údolí zjištěno jedno z největších znečištění ovzduší v USA. V těchto měsících pokryla inverze údolí na několik týdnů. Podmínky během inverze se vyznačovaly chladnými povrchovými teplotami, nízkou rychlostí větru a nízkou intenzitou slunečního záření. Znečištění tedy úzce souvisí s teplotní inverzí.

Janhäll (2005) zkoumal vývoj městského aerosolu během epizod inverzí v zimním období. Tato studie byla prováděna ve skandinávských městech. Byly porovnány koncentrace emisí dnů bez ranní teplotní inverze s koncentracemi emisí ve dnech s inverzí. Ranní teplotní inverze měla za následek vysoké koncentrace emisí, spojené hlavně s dopravou, zatímco během rán bez inverze bylo znečištění značně nižší. Měření byla prováděna během února a března 2004 v Göteborgu. Kolem města jsou nízké hory a kopce, které zvyšují účinek teplotní inverze. Nejdůležitějšími meteorologickými systémy ovlivňující čistotu ovzduší jsou zde vítr vanoucí z moře na pevninu, větrné systémy hlubokého údolí omezující směr větru a městský tepelný ostrov rozvíjející se během klidných povětrnostních podmínek. Výsledky měření ukázaly, že koncentrace NO byla maximální během ranní dopravní špičky, zatímco během

odpolední špičky koncentrace zřetelně zvýšená nebyla. A tak to bylo prakticky u všech měřených látek, a to v období ranních teplotních inverzí.

Titov (2006) se ve své studii zabýval aplikací MM5 a CAMx4 modelů pro zjištění kvality ovzduší v novozélandském městě Christchurch. I zde byl odhalen velký vliv teplotních inverzí na znečištění ovzduší. Při typické zimě v Christchurch dochází k silnému zhoršení kvality ovzduší, a to hlavně díky nočním teplotním inverzím, které se navrství během stacionárních synoptických podmínek. Hlavním cílem této studie bylo ohodnotit práci meteorologicko-chemických modelových systémů MM5 a CAMx4, které byly aplikované na město Christchurch, které zažívalo během zimních teplotních inverzí vysoké koncentrace rozptýlených částic v ovzduší v prostředí ovládaném místními procesy cirkulace vzduchu.

Kerminen (2006) zkoumal vývoj množství emisí v oblasti hlavní cesty v Helsinkách během inverzních situací. Vliv dopravy na kvalitu ovzduší ve městě je největší v období nízké rychlosti větru a v přítomnosti teplotní inverze. Měření dat probíhalo od 10. do 26. února 2003, aerosol byl měřen současně v 9metrové a 65metrové vzdálenosti od silnice, asi 6 km na východ od centra města. Týdně zde projede asi 45 000 aut. Měření ukázala, že špatný rozptyl aerosolu během inverzní situace značně zhoršuje kvalitu ovzduší, na rozdíl od situací, kdy inverze nevznikala. Inverze zde byly nejčastější během zimních nocí, kdy dochází k ochlazení aktivního povrchu vyzařováním v nočních hodinách.

3.2 Obecná charakteristika teplotních inverzí

Inverze teploty označuje zvláštní případ vertikálního rozložení teploty vzduchu. Ve vrstvě atmosféry označované jako inverzní se teplota s nadmořskou výškou zvyšuje. Teplotní inverze obvykle zasahuje nepřilíš mocné vrstvy atmosféry. Inverze jsou charakterizované výškou, ve které je pozorujeme, mocností inverzní vrstvy, dále rozdílem teploty mezi horní a dolní hranicí inverze a teplotním gradientem.

Inverze se dělí podle výšky inverzní vrstvy na přízemní a výškové. Přízemní inverze jsou vázané na aktivní povrch. Inverze ve volném ovzduší tedy výškové se mohou vyskytovat i v několika různých výškových hladinách. Inverzních vrstev může být i několik za sebou potom hovoříme o smíšených inverzích (Vysoudil, 2000).

3.2.1 Teplotní gradient

Změna teploty vzduchu s výškou se v meteorologii charakterizuje pomocí tzv. vertikálního teplotního gradientu. Ten se určuje obvykle pro interval výšky 100 m. Velikost gradientu závisí na místních poměrech a na charakteru a přenosu vzduchových hmot v jednotlivých místech.

Kladné hodnoty vertikálního teplotního gradientu vyjadřují pokles teploty a záporné růst teploty s výškou. Proto je změna teploty s výškou nelineární. Nejvýraznější je v blízkosti aktivního povrchu a se stoupající výškou intenzita změn teploty klesá.

Vertikální profil teploty přízemní vrstvy atmosféry je v období negativní energetické bilance podmíněn ztrátou energie a tedy poklesem teploty aktivního povrchu. Období negativní energetické bilance je charakterizované převládajícím dlouhodobým vyzařováním nad ziskem radiační energie, tudíž teplota vzduchu s výškou v období maxima na zemském povrchu obvykle stoupá. Výrazným ochlazením aktivního povrchu dojde i k ochlazení přízemní atmosféry. Výsledkem těchto procesů je stabilní teplotní zvrstvení atmosféry. Naopak v období pozitivní energetické bilance roste intenzita turbulence v přízemní atmosféře s výškou. Tím je podmíněn i vertikální profil teploty, charakteristický maximem na aktivním povrchu nebo v jeho těsné blízkosti. A tedy i poklesem vertikálního teplotního gradientu s výškou (Prošek, Rein, 1982).

3.2.2 Typy teplotních inverzí

Inverze teploty vzduchu přízemní

Inverze se vyskytují v mezní vrstvě atmosféry začínající bezprostředně od zemského povrchu. Obvykle vzniká jako důsledek nočního vyzařování aktivního povrchu. Kromě noční doby se v její vertikální mohutnosti a teplotním gradientu projevuje konfigurace reliéfu, geologické složení a charakter vegetační nebo sněhové pokrývky zemského povrchu. Proto se přízemní inverze mohou vytvářet i během dne (Sobíšek, B. a kol., 1993).

Inverze teploty vzduchu výšková

Její dolní hranice leží v určité výšce nad zemským povrchem. Vzniká např. v důsledku subsidence vzduchu v oblastech vysokého tlaku, advekce teplého vzduchu ve výšce, při pasátové cirkulaci a často v oblasti tropopauzy.

Přízemní radiační inverze

Vyskytují se v planetární mezní vrstvě atmosféry a vážou se na pevninu nebo na zamrzlou vodní hladinu. Příčinou vzniku je ochlazování aktivního povrchu vyzařováním v nočních hodinách. Vznik těchto inverzí je nejčastější za jasného počasí s mírným vánkem nebo bezvětřím a vznikají hlavně v noci. Na jaře a na podzim způsobují tyto inverze mrazy a přízemní mlhy. V létě se pak projevují rosou. Tento typ inverzí zesiluje georeliéf, zejména konkávní tvary, ve kterých se studený vzduch hromadí v podobě jezer studeného vzduchu a často nemůže odtékat. Radiační inverze lze považovat za statické, protože vznikají hlavně v důsledku vyzařování bez výraznějšího uplatnění dynamických a advekčních příčin.

Advekční inverze

Tyto inverze vznikají působením nerovnoměrné teplé advekce, při které se přemísťuje relativně teplý vzduch nad studený povrch. Studený vzduch těsně u aktivního povrchu je tímto povrchem ještě více ochlazován. Výskyt advekčních inverzí je typický nad sněhovou pokrývkou v jarním období, poté hovoříme o jarních inverzích. Tyto inverze mají přízemní charakter. Pokud teplý vzduch proudí do dané oblasti ve vyšších hladinách než studený, vznikají advekční inverze výškové.

Subsidenční inverze

Subsidenční inverze neboli inverze sesedáním vznikají sestupem z vyšších vrstev atmosféry do nižších. Vyskytují se nad plošně rozsáhlými oblastmi, ve kterých je dobře vyvinutý mechanismus subsidenčních pohybů vzduchu, a to jsou především anticyklóny a osy hřebenů vysokého tlaku vzduchu. V mírných zeměpisných šířkách se často vyskytují i v letních měsících. Souvisejí s poklesem relativní vlhkosti vzduchu, která dosahuje nejvyšší hodnoty pod spodní hranicí inverze. Tady se také může vytvářet inverzní oblačnost.

Spojením subsidenční inverze s přízemní radiační inverzí, vznikají vertikálně rozsáhlé a výrazné inverze, které mají obvykle dlouhé trvání. Také inverze ve volném ovzduší můžou mít charakter radiační inverze, ale radiační ochlazování vzduchu se děje na horní hranici oblačnosti.

Pasátové inverze teploty vzduchu

Nacházejí se v oblastech výskytu pasátových větrů a jsou způsobené subsidencí vzduchu s vyšších vrstev atmosféry. Oddělují vlhký pasátový vzduch v nižších hladinách od teplého a suchého vzduchu ležícího nad ním.

Turbulentní inverze teploty vzduchu

Tyto inverze nejsou vertikálně příliš mohutné a překrývají směšovací vrstvu. Předpokladem pro tyto inverze je stabilní teplotní zvrstvení atmosféry. Pokud ve vrstvě vzduchu přiléhající k zemskému povrchu dojde k výraznému turbulentnímu mísení, vytvoří se v ní vertikální teplotní gradient blízký adiabatickému. Nad směšovací vrstvou zůstane zachovaný původní vertikální profil teploty vzduchu. Takové inverze patří mezi výškové.

Inverze ve volné atmosféře

U těchto inverzí se dolní hranice inverze nachází v různé výšce nad zemským povrchem. Většina inverzí ve volné atmosféře vzniká v důsledku stlačování nebo sesedání vzduchových hmot při pasátové cirkulaci v oblasti tropopauzy nebo při teplé advekci ve výšce (Vysoudil, 2000).

Nejpříznivější podmínkou pro vznik inverzí jsou v tlakových výších (anticyklónách), které po několik dní mění svou polohu velmi málo. V zimních obdobích je anticyklonální počasí chladné a mrazivé, takže tlakové výše přinášejí ochlazení. Vlivem silného vyzařování zemského povrchu dochází k přízemním inverzím, na jejichž horní hranici se vytváří nízká vrstevnatá oblačnost nebo mlhy. V těchto případech je v nižších nadmořských výškách zataženo, mlhavo a rozdíl v teplotách vzduchu mezi dnem a nocí je minimální. Na horách nad inverzí teploty je přitom jasno, slunečno a v údolích se často vyskytuje oblačné moře.

Inverze teploty vzduchu sněhová

Vyskytuje se v přízemní vrstvě atmosféry, jež vzniká zpravidla na jaře nad tající sněhovou pokrývkou v důsledku spotřeby tepla na tání sněhu. Při silnějším větru se v důsledku turbulence inverze tohoto typu nevyskytuje přímo u zemského povrchu, ale v určité výšce nad ním.

V létě je počasí v oblastech pod vlivem tlakových výší obvykle teplé a suché, a přináší proto oteplení. Během dne dochází k intenzivnímu ohřívání zemského povrchu a přilehlých vrstev vzduchu. Současně však za jasných nocí dochází ke vzniku inverze teploty vzduchu noční.

Inverze teploty vzduchu noční

Vznikají v mezní vrstvě atmosféry ochlazováním vzduchu efektivního vyzařování aktivního povrchu. Jsou nejčastějším případem přízemních radiačních inverzí teploty vzduchu. Dobře bývají vyvinuty za jasných nocí se slabým větrem nebo bezvětřím. V kotlinách a údolních polohách podporuje tuto inverzi stékání ochlazeného vzduchu z okolních svahů do nízkých poloh (kol., 1993).

3.3 Stručná fyzickogeografická charakteristika města Olomouce se zaměřením na klimatické poměry

3.3.1 Poloha a vymezení

Město Olomouc leží ve východní části České republiky na toku řeky Moravy v Hornomoravském úvalu. V rámci Moravy zaujímá centrální polohu. Rozloha města je 10 335 ha, zeměpisné souřadnice středu města jsou 49°45' s. š. a 17°15' v. d. Nadmořská výška středu města je 219 m n. m. Město má 26 městských částí a je hlavním centrem Olomouckého kraje. Je pátým největším městem v České republice, k 31. 12. 2007 žilo v Olomouci 100 373 obyvatel.

3.3.2 Geomorfologické a hydrologické poměry

Podle geomorfologického členění náleží Olomouc k systému Alpsko-himálajskému, subsystému Karpaty, provincii Západní Karpaty, subprovincii Vněkarpatské sníženiny a celku Hornomoravský úval (Demek et al., 1987). Hornomoravský úval je protáhlá sníženina vyplněná neogenními a kvartérními usazeninami. Hornomoravský úval se dále člení na čtyři podcelky: Prostějovská pahorkatina, Středomoravská niva, Holešovská plošina a Uničovská plošina (Demek et al., 1987). Území města Olomouce leží ve střední části podcelku Středomoravská niva. Niva je ohraničena na severovýchodě Uničovskou pahorkatinou a na západě Prostějovskou pahorkatinou.

Nejvýznamnější řeka území je Morava. Protéká Olomoucí a dělí území města na západní a východní část. V jižní části města přitéká rameno Střední Moravy (Mlýnský potok) a tvoří pravý přítok řeky Moravy. Levostranným přítokem řeky Moravy je Bystřice (Vlček et. al., 1984). Ve městě je mnoho náhonů, svodnic, zvlhčených ploch a řada bezejmenných toků.

3.3.3 Klimatické poměry

Klimatické oblasti

Většina území města Olomouce náleží do teplé klimatické oblasti T2. Menší východní část města leží v oblasti mírně teplé. Mírně teplá oblast má ve městě dvě podoblasti: MT10 a MT11. Jihovýchodní část města se nachází v mírně teplé klimatické oblasti MT11. Do mírně teplé klimatické oblasti MT10 patří severovýchod území (Quitt, 1971).

Pro teplou klimatickou oblast T2 je charakteristické dlouhé, teplé a suché léto. Velmi krátké přechodné období s teplým až mírně teplým jarem i podzimem. Suchá mírně teplá a krátká zima s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Pro mírně teplou klimatickou oblast MT10 je charakteristické dlouhé léto, které je teplé a mírně suché. Krátké přechodné období s mírně teplým jarem i podzimem. A velmi suchou mírně teplou a krátkou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Pro mírně teplou klimatickou oblast MT11 je charakteristické dlouhé léto, které je teplé a suché. Přechodné období krátké s mírně teplým jarem i podzimem. Zima je velmi suchá, mírně teplá a krátká s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Tab. 2 Charakteristika klimatických oblastí

| Klimatická oblast | T2 | MT10 | MT11 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Počet letních dnů | 50 – 60 | 40 – 50 | 40 – 50 |
| Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více | 160 – 170 | 140 – 160 | 140 – 160 |
| Počet mrazových dnů | 100 – 110 | 110 – 130 | 110 – 130 |
| Počet ledových dnů | 30 – 40 | 30 – 40 | 30 – 40 |
| Průměrná teplota v lednu (°C) | -2 - -3 | -2 - -3 | -2 - -3 |
| Průměrná teplota v červenci (°C) | 18 – 19 | 17 – 18 | 17 – 18 |
| Průměrná teplota v dubnu (°C) | 8 – 9 | 7 – 8 | 7 – 8 |
| Průměrná teplota v říjnu (°C) | 7 – 9 | 7 – 8 | 7 – 8 |
| Počet dnů se srážkami 1mm a více | 90 – 100 | 100 – 120 | 90 – 100 |
| Srážkový úhrn ve vegetačním období | 350 – 400 | 400 – 450 | 350 – 400 |
| Srážkový úhrn v zimním období | 200 – 300 | 200 – 250 | 200 – 250 |
| Počet dnů se sněhovou pokrývkou | 40 – 50 | 50 – 60 | 50 – 60 |
| Počet dnů zamračených | 120 – 140 | 120 – 150 | 120 – 150 |
| Počet dnů jasných | 40 – 50 | 40 – 50 | 40 – 50 |

Zdroj: Quitt (1971) *Klimatické oblasti Československa*.

Teplota vzduchu v Olomouci

Podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007), který je zpracován na základě dat za období let 1961–2000, leží území Olomouce téměř celé v oblasti s průměrnou roční teplotou mezi 8 °C až 9 °C, jen malá část území na severovýchodě (Svatý Kopeček, Radíkov, Lošov) náleží do oblasti s průměrnou teplotou 7 °C až 8 °C.

Průměrné sezonní teploty vzduchu jsou rozdílné v centrální části města a v západní a východní okrajové části. Průměrná teplota ve čtyřech ročních obdobích se mění takto. Na jaře je průměrná teplota v centrální části města 9 °C, na západním a východním okraji jsou průměrné teploty od 8 °C po 9 °C. V létě je průměrná teplota v centru 16 °C až 17 °C a v okrajových částech 15 °C až 16 °C. Na podzim se teplota snižuje na 9 °C až 10 °C v užším centru města a na 8 °C až 9 °C v okrajových částech. V zimě potom průměrná teplota klesá na –1 °C až 0 °C v centrální části po –2 °C až –1 °C na okrajích intravilánu.

Průměrná teplota vzduchu v letním půlroce (duben až září) dosahuje hodnot od 14 °C do 15 °C, jen v severní okrajové části jsou hodnoty nižší mezi 13 °C až 14 °C. Průměrná roční suma průměrných denních teplot vzduchu 10 °C a více činí na většině území města 2 800 °C až 3 000 °C, v západní a východní části potom 2 600 °C až 2 800 °C.

Charakteristické teploty vzduchu podle denního průměru ukazují, že průměrná doba trvání průměrné teploty vzduchu 5 °C a více se pohybuje mezi 230 až 240 dny v roce a to v centrální části města, v okrajových částech potom mezi 220 až 230 dny. Průměrné datum nástupu průměrných denních teplot vzduchu 5 °C a více je mezi 20. až 25. březnem a průměrné datum konce je mezi 5. až 10. listopadem.

Průměrná doba trvání průměrné teploty vzduchu 10 °C a více činí na většině území města 170 až 180 dní, v okrajových částech potom 160 až 170 dní. Průměrné datum nástupu průměrných denních teplot vzduchu 10 °C a více je mezi 20. až 25. dubnem, pouze v severní části je později mezi 25. až 31. dubnem. Průměrné datum konce průměrných denních teplot vzduchu 10 °C a více nastává mezi 5. až 10. říjnem a opět v severní okrajové části je posunuto mezi 30. září až 5. říjen.

Průměrná doba trvání průměrné teploty vzduchu 15 °C a více činí na většině území města 100 až 120 dní, v severní okrajové části potom 80 až 100 dní. Průměrné datum nástupu průměrných denních teplot vzduchu 15 °C a více je mezi 20. až 30. květnem, pouze v severní části je později mezi 30. květnem až 10. červnem. Průměrné datum konce průměrných denních teplot vzduchu 15 °C a více nastává od

10. září v centrální části města a na západním a východním okraji se pohybuje mezi 31. srpnem až 10. zářím.

Průměrná doba trvání průměrné teploty vzduchu 20 °C a více se pohybuje mezi 30 až 40 dny v roce a to v centrální části města, v okrajových částech potom mezi 20 až 30 dny. Průměrné datum nástupu průměrných denních teplot vzduchu 20 °C a více je do 1. června a průměrné datum konce je mezi 20. až 31. srpnem na většině území intervilánu pouze v centrální části nastává konec po 31. srpnu.

Průměr ročních maxim teploty vzduchu činí na většině území 32 °C až 33 °C, pouze v okrajové severní části se pohybuje mezi 31 °C až 32 °C. Naopak průměrné roční minimum teploty vzduchu je na celém území města v rozsahu –18 °C až –19 °C.

Z tab. 3 je patrné, že průměrná roční teplota vzduchu v roce 2007 i v roce 2008 byla v Olomouci 10,5 °C, což je o 1,8 °C více než činí dlouhodobý normál za období 1961–1990 (8,7 °C).

Tab. 3 Průměrné měsíční teploty vzduchu v Olomouci od ledna 2007 do května 2009 ve srovnání s dlouhodobým normálem 1961–1990

| 2007 | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| T | 3,5 | 3,4 | 6,2 | 11,6 | 16,1 | 19,7 | 20,5 | 20,4 | 12,9 | 8,5 | 2,7 | 0,1 | 10,5 |
| O | 5,9 | 3,6 | 2,4 | 2,5 | 1,9 | 2,6 | 1,9 | 2,4 | -1,4 | -0,6 | -1,0 | 0,5 | 1,8 |

| 2008 | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|-------|------|-----|-----|------|------|
| T | 1,7 | 3,1 | 4,4 | 9,9 | 15,3 | 19,6 | 20,2 | 19,3 | 14,0 | 9,8 | 6,4 | 2,2 | 10,5 |
| O | 4,1 | 3,3 | 0,6 | 0,8 | 1,1 | 2,5 | 1,6 | 1,3 | -0,3 | 0,7 | 2,7 | 2,6 | 1,8 |

| 2009 | I. | II. | III. | IV. | V. |
|------|------|-----|------|------|------|
| T | -3,4 | 0,4 | 4,7 | 13,9 | 15,2 |
| O | -1,0 | 0,6 | 0,9 | 4,8 | 1,0 |

| N | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|---|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|-----|-----|------|-----|
| T | -2,4 | -0,2 | 3,8 | 9,1 | 14,2 | 17,1 | 18,6 | 18,0 | 14,3 | 9,1 | 3,7 | -0,4 | 8,7 |

Zdroj: ČHMÚ (2009b) *Informace o klimatu* (on-line).

T: Průměrná měsíční teplota vzduchu (°C)

O: Odchylka od normálu (°C)

N: Dlouhodobý normál 1961–1990

Atmosférické srážky v Olomouci

Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje od 500 mm do 550 mm na většině územní města, přes 550 mm až 600 mm na severním okraji města, až po 600 mm až 650 mm v úplném severním cípu města.

Průměrný sezonní úhrn srážek se pohybuje mezi 120 mm až 150 mm na jaře, 200 mm až 250 mm v létě, 125 mm až 150 mm na podzim a do 100 mm v zimě na téměř celém území města, jen na severním okraji města je 100 mm až 125 mm.

Průměrná roční maxima denních úhrnů srážek činí 35 mm až 40 mm, v případě dvou denních úhrnů srážek činí 45 mm až 50 mm. U třídních úhrnů srážek je hodnota 50 mm až 60 mm.

Průměrný sezonní počet dní se sněžením je v oblasti Olomouce 50 až 60 dní v roce, pouze v severní okrajové části je vyšší a to 60 až 70 dní v roce.

Průměrný sezonní počet dní se sněhovou pokrývkou je téměř na většině území Olomouce 40 až 50 dní, v severní části 50 až 60 dní a v nejsevernějším cípu města je nejvyšší a to 60 až 80 dní.

Tab. 4 Úhrny srážek v Olomouci od ledna 2007 do května 2009 ve srovnání s dlouhodobým normálem 1961–1990

| 2007 | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| S | 29,1 | 28,4 | 36,7 | 2,6 | 69,2 | 48,2 | 45,6 | 56,5 | 68,1 | 39,9 | 31,3 | 19,6 | 475,2 |
| % | 106 | 111 | 135 | 7 | 94 | 61 | 60 | 82 | 153 | 100 | 77 | 65 | 83 |

| 2008 | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| S | 25,9 | 11,1 | 38,5 | 44,2 | 59,9 | 47,8 | 75,7 | 86,1 | 30,2 | 16,2 | 22,9 | 26,3 | 484,8 |
| % | 94 | 44 | 142 | 117 | 82 | 61 | 99 | 125 | 68 | 41 | 57 | 87 | 85 |

| 2009 | I. | II. | III. | IV. | V. |
|------|------|------|------|-----|------|
| S | 27,7 | 50,1 | 67,9 | 6,5 | 44,5 |
| % | 101 | 196 | 250 | 17 | 61 |

| N | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | rok |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| S | 27,5 | 25,5 | 27,2 | 37,8 | 73,3 | 78,4 | 76,4 | 68,8 | 44,5 | 40,0 | 40,4 | 30,3 | 570,0 |

Zdroj: ČHMÚ (2009b) *Informace o klimatu* (on-line).

S: Úhrn srážek (mm)

%: Úhrn srážek v procentech dlouhodobého normálu

N: Dlouhodobý normál úhrnu srážek za období 1961–1990

Průměrný měsíční počet dní se sněžením je v prosinci do 10 až 12 dnů, v lednu dosahuje 12 až 14 dnů, v únoru se pohybuje mezi 10 až 12 dny a v březnu je počet dnů pouze do 8 v měsíci.

Průměrné datum prvního sněžení nastává mezi 10. až 20. listopadem a datum posledního sněžení mezi 31. březnem až 10. dubnem (Tolasz et al., 2007).

Z tab. 4 je vidět, že v roce 2007 a 2008 se roční úhrn srážek pohyboval okolo 480 mm, což je oproti normálu za období 1961–1990 jen asi 84 %. Oba roky tedy byly srážkově podprůměrné.

Vlhkost vzduchu v Olomouci

Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu se pohybuje mezi 75 % až 80 %. Průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu v měsíci červenci se pohybuje mezi 70 % až 75 %, v prosinci mezi 85 % až 90 %.

Průměrný roční počet dusných dní je na většině území Olomouce více jak 20, pouze na severním okraji činí 15 až 20 dní. (Z klimatologického hlediska je za dusný den považován takový, v němž tlak vodní páry dosáhl v kterémkoliv z pozorovacích časů hodnoty alespoň 18,8 hPa.)

Sluneční záření v Olomouci

Průměrný roční úhrn globálního záření je 3 800 až 3 900 MJ/m². Průměrný roční úhrn přímého záření činí 1 800 až 1 900 MJ/m². Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu je v jižní části města 1 600 až 1 700 hodin a v severní části 1 500 až 1 600 hodin. Průměrná roční oblačnost je 60 až 65 %. (Tolasz et al., 2007).

3.4 Problematika ochrany kvality ovzduší v ČR a v Olomouci

Olomoucká aglomerace se nachází v Hornomoravském úvalu, který je místem častého výskytu plošně i vertikálně rozsáhlých teplotních inverzí. Městem protéká řeka Morava, která společně s dalšími přítoky tvoří příznivé podmínky k četnému výskytu inverzí. Z toho vyplývá, že samotné město je oblastí častého vzniku teplotních inverzí a je pro něj typický výskyt městského klimatu.

Inverze představují vždy zhoršení rozptylových podmínek, které jsou v případě olomoucké aglomerace za normálních podmínek dobré. V době špatných rozptylových podmínek dochází ke zvýšení koncentrace znečišťujících příměsí a celkovému zhoršení

stavu ovzduší. Území města Olomouce bylo v roce 2003 vyhlášeno Ministerstvem životního prostředí spolu s dalšími městy a obcemi jako oblast se zhoršenou kvalitou ovzduší ve smyslu zákona 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Magistrát města Olomouce, odbor životního prostředí, oddělení ochrany ovzduší zajišťuje již dlouhodobě provoz stanic monitorujících kontinuálně kvalitu ovzduší, z nichž jedna je předměstská a druhá je umístěna na ulici Velkomoravská a svým charakterem je stanicí dopravní. Se získanými daty a výstupy dále Magistrát pracuje a od roku 2005 byla v rámci Systému řízení kvality ovzduší města Olomouce provedena řada modelování a analýz, které podrobně zkoumaly imisní situaci, emisně imisní vztahy a zároveň se snažily definovat příčiny zhoršené kvality ovzduší v Olomouci (Pudelová, 2008).

Z výsledků studií vyplývá, že v Olomouci je překračován jak roční limit, tak i krátkodobý 24hodinový limit u škodliviny PM₁₀ (prachové částice). Zhoršená dlouhodobá imisní situace je v případě PM₁₀ zapříčiněna vlivem průmyslových zdrojů, ale také dopravou. Tento vliv je navíc významnější u maximálních krátkodobých koncentrací PM₁₀ během teplotních inverzí a bezvětří. Místně se pak na zhoršené kvalitě ovzduší významnou mírou podílí lokální topeniště.

Další problematickou oblastí ochrany ovzduší je již zmiňovaná doprava. V Olomouci se na přední pozice v míře znečišťování ovzduší staví automobilová doprava, u které pak obecně platí, že míra a množství emisí z automobilů závisí na mnoha parametrech (typ vozidla, použité palivo, technický stav komunikace), ale zejména se odvíjí od stále rostoucí intenzity dopravy. V současnosti je žádoucí hledat cesty jejich vzájemného přiblížení a motivovat občany k využívání např. městské hromadné dopravy či jinému ekologickému způsobu přepravy. Velký význam má v této oblasti také městská zeleň, jakožto zdroj kyslíku a také jako „zachycovač“ prachových částic, přičemž platí, že čím více zeleně, tím méně se prach víří.

3.4.1 Znečišťování ovzduší

V České republice jsou dva základní registry znečišťování ovzduší, a to Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) a Integrovaný registr znečišťování životního prostředí (IRZ).

Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší

Podkladem pro národní emisní bilanci je databáze Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší provozovaný v rámci Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) Českým hydrometeorologickým ústavem jako jeden ze základních článků soustavy nástrojů pro sledování a hodnocení kvality ovzduší v České republice. Správou databáze REZZO za celou ČR je pověřen ČHMÚ. Jednotlivé dílčí databáze, které slouží k archivaci a prezentaci údajů o stacionárních a mobilních zdrojích znečišťování ovzduší, tvoří ISKO. Podrobné údaje o emisích podle druhu zdrojů, charakteru znečišťujících látek a podle území lze zjistit přímo z REZZO a v souborných tabelárních přehledech vydávaných ČHMÚ (ČHMÚ, 2009c) a Českou informační agenturou pro životní prostředí (CENIA, 2008).

Zdroje znečišťování ovzduší jsou rozděleny pro potřeby emisní bilance do jednotlivých kategorií:

- I. Zvláště velké a velké zdroje znečišťování – REZZO 1
- II. Střední zdroje znečišťování – REZZO 2
- III. Malé zdroje znečišťování – REZZO 3
- IV. Mobilní zdroje znečišťování – REZZO 4

Zdroje znečišťování REZZO 1, 2 a 3 se označují souhrnně jako stacionární zdroje. Zvláště velké, velké a střední zdroje znečišťování ovzduší jsou sledovány jako bodové zdroje jednotlivě, malé zdroje plošně na úrovni obcí, mobilní zdroje liniově a plošně na úrovni okresů. Údaje o zdrojích znečišťování REZZO 1 a 2 jsou uváděny až do úrovně okresů, REZZO 3 do úrovně jednotlivých obcí a REZZO 4 jen do úrovně krajů.

System REZZO zjišťuje emise čtyř hlavních znečišťujících látek tj. TZL (tuhé znečišťující látky), SO₂, NO_x a CO, ale k vytvoření představy o znečištění ovzduší na území České republiky patří i údaje o emisích oxidu uhličitého (CO₂) a dalších skleníkových plynů (ČHMÚ, 2009c).

Integrovaný registr znečišťování životního prostředí

Integrovaný registr znečišťování životního prostředí je databáze údajů o vybraných látkách, jejich přenosech a emisích. Emise do ovzduší se pro potřeby IRZ sledují u 57 látek. Databáze IRZ na rozdíl od REZZO zaznamenává emise vypouštěné do ovzduší, vody a půdy. Integrovaný registr znečišťování životního prostředí je zřízen

a spravován Ministerstvem životního prostředí (MŽP) jako veřejný informační systém veřejné správy. (Maršák et al., 2005).

V evidenci olomouckého regionu bylo v roce 2001 celkem cca 776 zdrojů znečišťování (v Olomouckém kraji celkem 2 531), z toho velkých a zvláště velkých zdrojů REZZO 1 je 35 (v kraji 132), středních zdrojů REZZO 2 je 649 (v kraji 2005) a malých REZZO 3 je 92 (v kraji 394; počet zdrojů REZZO 3 je shodný s počtem obcí) (Krajský úřad Olomouckého kraje, 2004).

Největší zdroje znečišťování uvádí tab. 5, ze které je patrné, že u emisí VOC a C_xH_y tvoří Setuza a.s., Teplárna Olomouc a MLS Holice a.s. cca 50 % všech zdrojů REZZO 1 celého Olomouckého kraje. U emisí NO_x a SO₂ zabírají cca 24 % teplárna a špičková výtopena. Teplárna Olomouc a ISH a.s. nejvíce vypouštěli emise TZL a dávají dohromady asi 12 % ze zdrojů celého kraje. U emisí CO vedou společnosti teplárna a cihelna Olomouc (3,5 %).

Tab. 5 Výběr největších zdrojů znečišťování REZZO 1 v Olomouci za rok 2001

| Firma | TZL | SO ₂ | NO _x | CO | VOC | C _x H _y |
|---------------------------|-------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------------------------------|
| Teplárna Olomouc | 25,72 | 1 107,89 | 740,79 | 42,76 | 36,02 | 41,88 |
| Špičková výtopena Olomouc | 1,58 | 35,59 | 24,83 | 15,58 | | 66,14 |
| ISH a.s. | 5,16 | 7,60 | 0,49 | 4,59 | | 7,07 |
| MLS Holice | 0,17 | 0,02 | 0,60 | 0,14 | 15,35 | 15,94 |
| Setuza a.s. | 0,07 | 0,02 | 2,33 | 0,02 | 229,06 | 229,06 |
| Cihelna Olomouc | 0,91 | 1,89 | 8,10 | 16,78 | 17,00 | 0,143 |

Pozn. v [t/rok]

Zdroj: (Krajský úřad Olomouckého kraje, 2004)

Ochrana ovzduší v české legislativě

Zákonodárny systém České republiky postihuje emise škodlivin do ovzduší pomocí zákona a ochraně ovzduší č.86/2002 Sb., pomocí nařízení vlády č. 350-354/2002 Sb. a vyhlášek Ministerstva životního prostředí č. 355-358/2002 Sb. Úplné znění zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a změně některých dalších zákonů pojednává zákon č. 472/2005 Sb. (ČHMÚ, 2009c).

Zákon stanoví práva povinnosti osob a působení státních orgánů při ochraně vnějšího ovzduší, včetně stanovení poplatků za vnášení znečišťujících látek do ovzduší,

zacházení s regulovanými látkami, které poškozují ozonovou vrstvu Země, či výrobky, které takové látky obsahují, včetně regulovaných látek. Dále stanoví podmínky pro další snižování látek znečišťujících ovzduší, působících nepříznivým účinkem na život lidí, zvířat, na životní prostředí a hmotný majetek (včetně pachových látek obtěžujících obyvatelstvo a seznamu paliv, jejichž spalování v malých spalovacích zdrojích může orgán obce ve svém obvodu zakázat). Zákon je rovněž nástrojem pro snižování množství látek ovlivňujících klimatický systém Země a definuje také skupiny znečišťovatelů ovzduší na velké, střední a malé zdroje znečišťování. Všechny tyto skupiny mají povinnost platit za vnášení znečišťujících látek do ovzduší (Kaličinská, J. 2006).

Limity znečištění ovzduší

Cílem imisních limitů, jejichž úroveň je stanovena na základě vědeckých poznatků, je ochránit lidské zdraví a životní prostředí jako celek před škodlivými účinky znečišťujících příměsí ve venkovním ovzduší. Pro dlouhodobé škodlivé účinky znečištění ovzduší byly stanoveny hodnoty cílových imisních limitů. Úroveň, nad níž je pro stanovení kvality venkovního ovzduší povinné měření a která je specifikovaná pro každou znečišťující příměs v direktivách EU, se nazývá horní mez pro posuzování. Dle podmínek specifikovaných v Direktivě 96/62/EC je mezi tolerance procentuální podíl imisního limitu, o který může být imisní limit překročen. Dolní mez pro posuzování je úroveň, pod níž je pro stanovení kvality venkovního ovzduší plně postačující modelování nebo odborný odhad (ČHMÚ, 2009c).

Tab. 6 Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a přípustné četnosti překročení

| Znečišťující látka | Doba průměrování | Imisní limit | Přípustná četnost překročení za kalendářní rok |
|---------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| oxid siřičitý | 1 hodina | 350 µg.m | – |
| oxid siřičitý | 24 hodin | 125 µg.m | – |
| PM ₁₀ | 1 kalendářní rok | 40 µg.m | – |
| PM ₁₀ | 24 hodin | 50 µg.m | 35 |
| oxid dusičitý | 1 hodina | 200 µg.m | – |
| oxid dusičitý | 24 hodin | 40 µg.m | – |

Zdroj: Portál veřejné zprávy ČR (online, 2003)

Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., v plném znění (novela č. 597/2006 Sb.), zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje způsob sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. Stanovuje imisní limity a přípustné četnosti jejich překročení, cílové imisní limity a dlouhodobé imisní cíle, kterých je třeba postupně dosáhnout, pro vybrané znečišťující látky. U plynných znečišťujících látek se objem přepočítává na standardní podmínky. U PM₁₀, PM_{2,5} a znečišťujících látek, které se analyzují v PM₁₀, se odběr vzorků vztahuje k vnějším podmínkám (Portál veřejné zprávy ČR online, 2003).

Horní a dolní mez pro posuzování

Překročení horní a dolní meze posuzování se zjišťuje na základě úrovně znečištění ovzduší během posledních pěti let, pokud jsou k dispozici dostatečné údaje. Mez pro posuzování se považuje za překročenou, pokud byla během pěti let překročena nejméně ve třech kalendářních letech. Když je k dispozici méně údajů, než za dobu pěti let, určí se překročení dolních a horních prahů posuzování na základě spojení výsledků krátkodobých měřících kampaní během roku a v místech, které budou pravděpodobně reprezentativní pro nejvyšší úroveň znečištění ovzduší a výsledků získaných z údajů z emisních inventur a modelování (Portál veřejné zprávy ČR online, 2003).

Tab. 7 Horní a dolní mez pro posuzování PM₁₀, SO₂ a NO₂

| Imisní limit | Horní mez pro posuzování | Dolní mez pro posuzování |
|-------------------------|---|---|
| PM10 24 hodin | 30 µg·m ⁻³ /7 ¹) | 20 µg·m ⁻³ /7 ¹) |
| Roční imisní limit PM10 | 14 µg·m ⁻³ | 10 µg·m ⁻³ |
| SO2 24 hodin | 75 µg·m ⁻³ /3 ¹) | 50 µg·m ⁻³ /3 ¹) |
| NO2 24 hodin | 140 µg·m ⁻³ /18 ¹) | 100 µg·m ⁻³ /18 ¹) |
| Roční imisní limit NO2 | 32 µg·m ⁻³ | 26 µg·m ⁻³ |

Poznámka: 1) Povolený počet překročení za kalendářní rok.

Zdroj: Portál veřejné zprávy ČR (online, 2003)

4 Analýza výskytu teplotních inverzí v Olomouci

Při zjišťování teplotních inverzí je třeba vycházet z naměřených teplot vzduchu v různých výškových úrovních atmosféry. Inverze zjištěné v terénu se dají vyhodnotit z hodnot naměřených na stanicích rozmístěných v údolí, na úbočích svahů a na vrcholu. Průběh inverzí lze nejlépe sledovat z rozdílů teplot naměřených stanicemi na úbočí svahů, a to v celém sledovaném vertikálním profilu. Nejsou-li k dispozici potřebná profilová měření teploty, inverze se zjišťují nepřímou na základě naměřených teplot na dvou místech v různých výškových úrovních. Umístění měřicích stanic použitých pro tuto práci nebylo přímo nad sebou, takže se v tomto případě nejedná o adiabatický gradient, ale o tak zvaný pseudoadiabatický gradient.

Při zjišťování teplotních inverzí v olomoucké aglomeraci v období květen 2008 až září 2008 bylo vycházeno z naměřených hodnot teploty vzduchu v účelové staniční síti tvořené stanicemi Svatý Kopeček, Klášterní Hradisko a Dominikáni. V období prosinec 2007 až březen 2008 a prosinec 2008 až březen 2009 bylo vycházeno z hodnot naměřených pomocí dataloggerů na stanicích Svatý Kopeček a Chválkovice. Charakteristika této staniční sítě je uvedena v kapitole 2.1.

4.1 Četnost výskytu inverzí

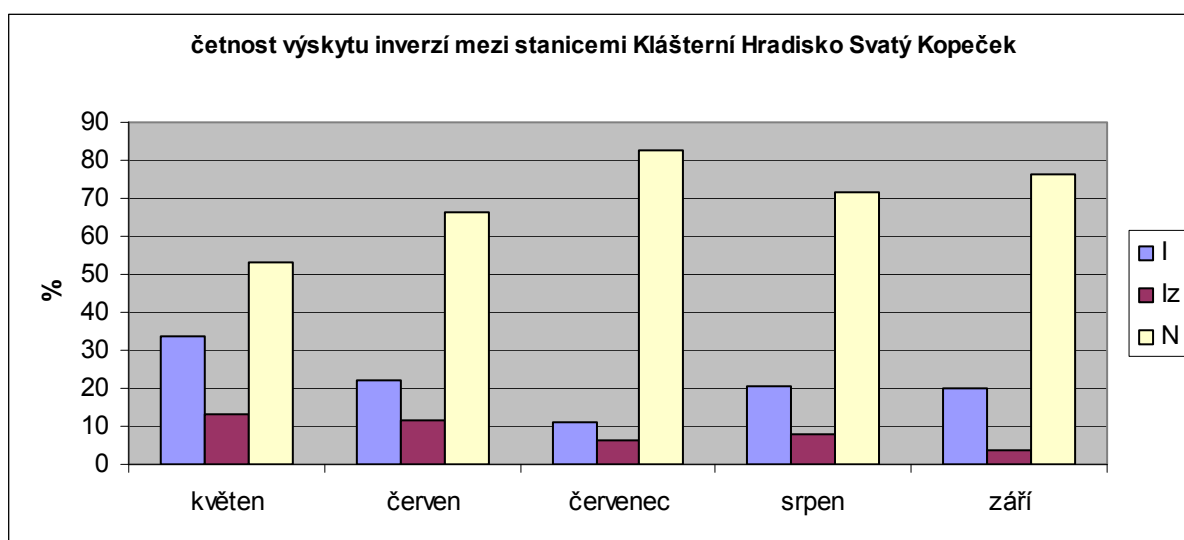
Četnost výskytu inverzí byla hodnocena ve dvou chladných částech roku a to od prosince 2007 do března 2008 a od prosince 2008 do března 2009, a v jedné teplé polovině roku od května do září 2008. Ve sledovaném období bylo vyhodnoceno celkem 325 dní. Inverze, a to minimálně půlhodinové, byly zjištěny ve 244 dnech, což je 75,1 % všech dní období. Výskyt inverzí byl také zjišťován v jednotlivých půlhodinách, kterých bylo vyhodnoceno 15 600, což je 7 800 hodin. V teplé části roku bylo mezi stanicemi Hradisko – Svatý Kopeček zjištěno 1576,6 půlhodin, ve kterých se objevila teplotní inverze a v 1570 půlhodinách mezi stanicemi Dominikáni – Svatý Kopeček. V obou chladných částech měřeného období bylo zjištěno dohromady 2290 půlhodin, ve kterých se vyskytla teplotní inverze.

Na teplou polovinu roku připadá 104 dní s inverzí, tj. 68 %. Na chladnou část měřeného období 2007/08 připadlo 57 dní s inverzí, tj. 82,6 %, a v období 2008/09 se vyskytlo 83 dní s inverzí tj. 80,6 %. Nejvyšší výskyt teplotních inverzí byl v měsíci

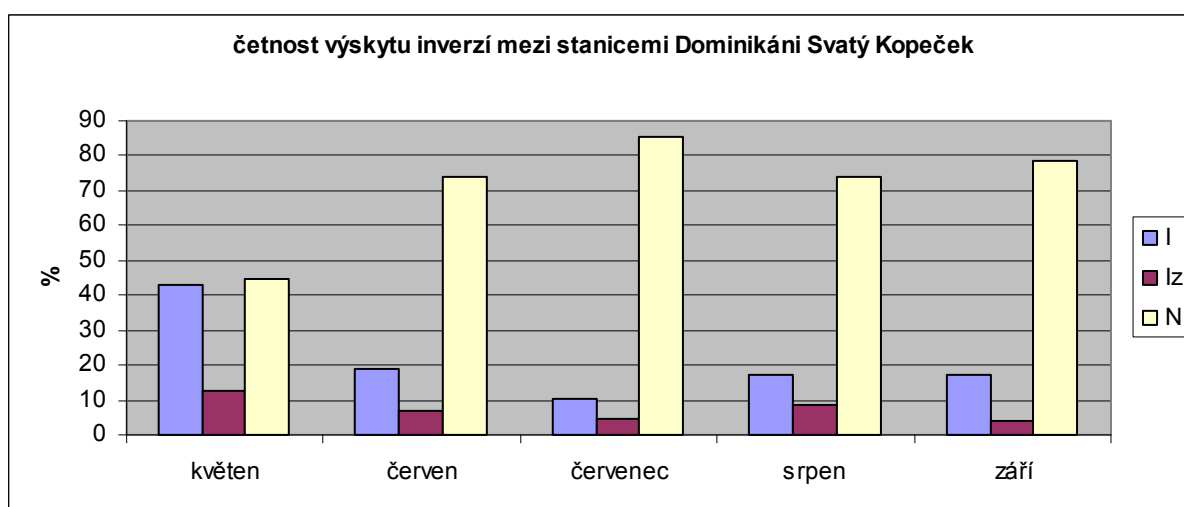
květen 2008, červen 2008, leden 2008, únor 2009. Naopak nejmenší výskyt inverzí byl zjištěn v měsíci prosinci 2007, v září 2008 a v lednu 2009.

Grafické znázornění průběhu inverzí je vidět na obrázcích číslo 3, 4, 5 a 6. Grafy názornějším způsobem vyjadřují rozdíly v relativní četnosti výskytu inverzí v jednotlivých měsících a umožňují srovnání s četností výskytu izotermie a období bez inverze ((I = teplotní inverze, Iz = izotermie, N = normální zvrstvení atmosféry).

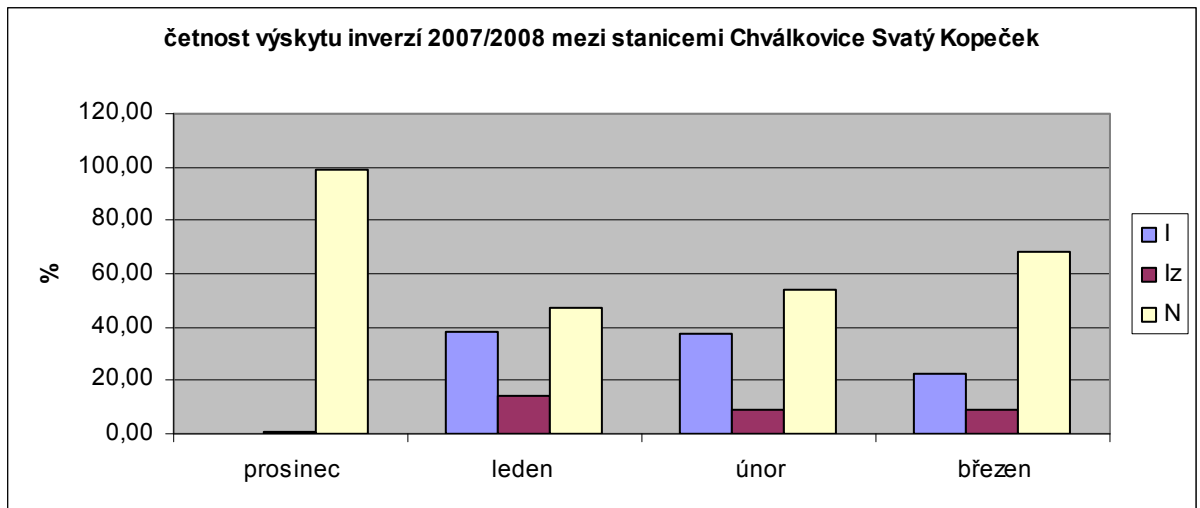
Z obrázků 3 a 4 je patrné, že v teplé části roku v obou případech byla největší četnost inverzí v měsíci květnu. Naopak nejnižší četnost se vyskytla v měsíci červenci. Izotermie se vyskytla nejčastěji v květnu a nejméně potom v září. Normální zvrstvení atmosféry bylo nejběžnější v měsíci červenci.



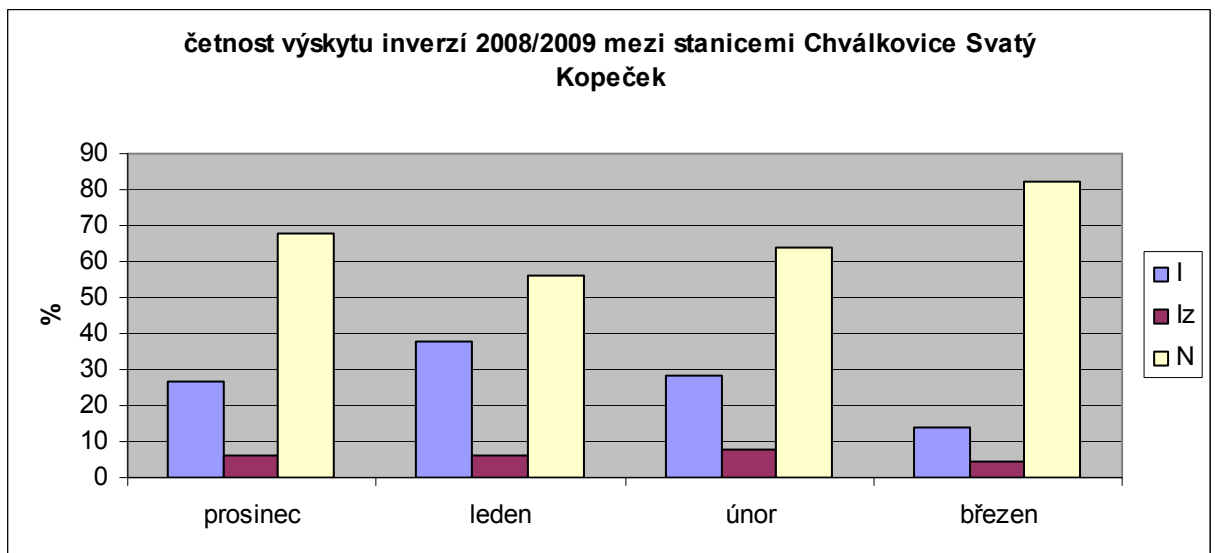
Obr. 3



Obr. 4



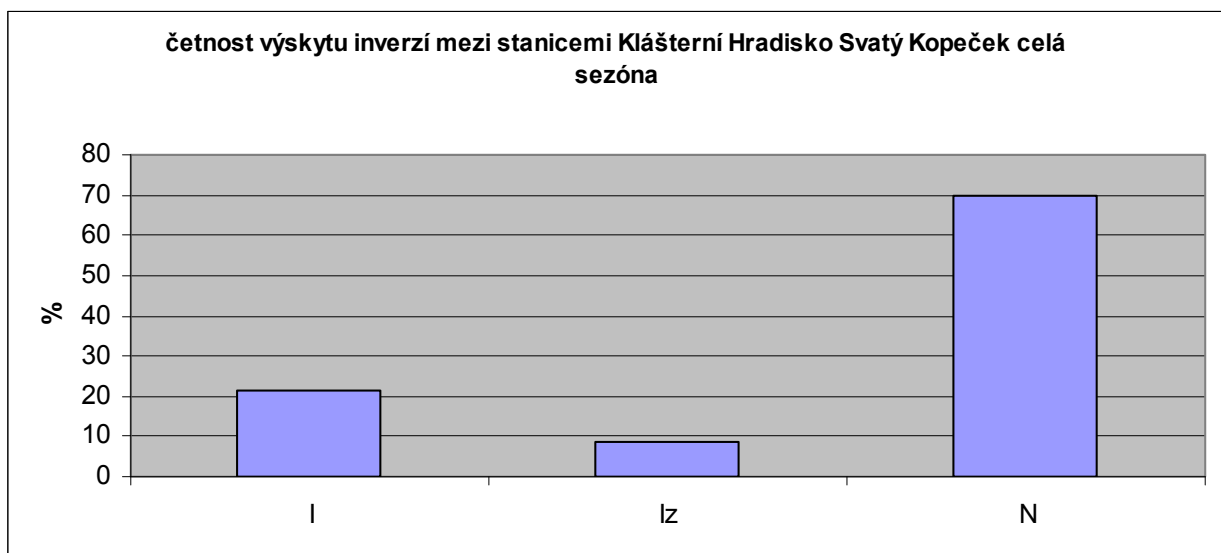
Obr. 5



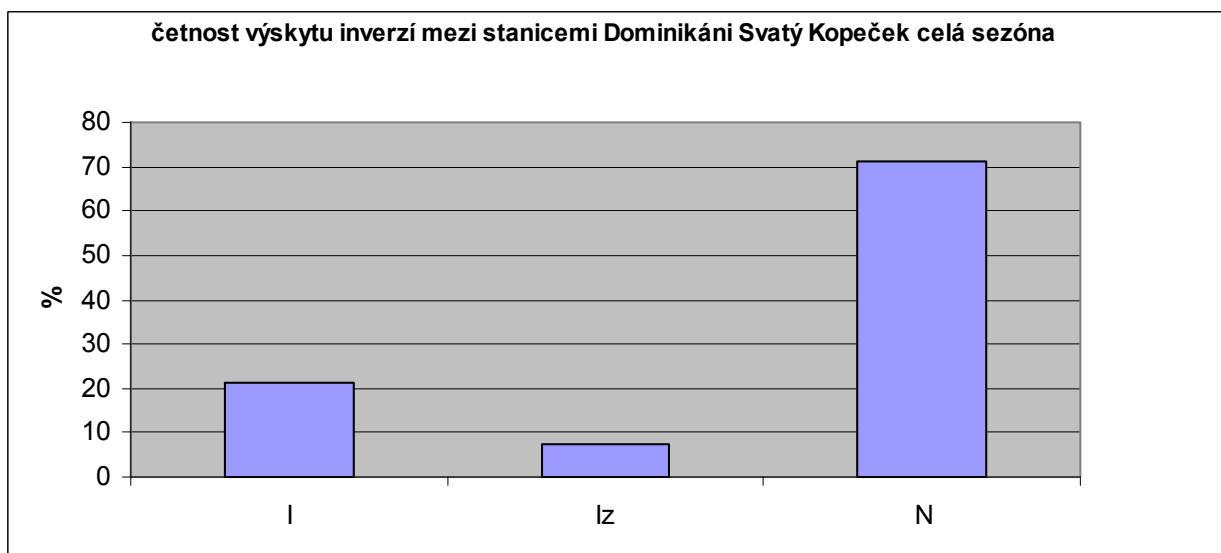
Obr. 6

Obrázky 5 a 6 ukazují četnost v chladných částech roku. A je vidět, že největší četnost inverzí byla v obou obdobích v měsíci lednu, poté následoval únor. Nejnižší četnost se pak vyskytla v prosinci 2007, ale musíme brát v zřetel, že v tomto měsíci bylo sledováno pouze 10 dní a také v březnu 2009, kde bylo měřeno pouze 16 dní. Izotermie byla nejčastější v lednu 2008, který ovšem opět nebyl naměřen celý, ale pouze do 20. 1. 2008. Nejméně se izotermie vyskytla v prosinci 2007 a březnu 2009. Normální zvrstvení bylo nejčastnější v prosinci 2007 a březnu 2009.

Obrázky 7, 8, 9 a 10 ukazují četnost výskytu inverzí za jednotlivé sezóny.

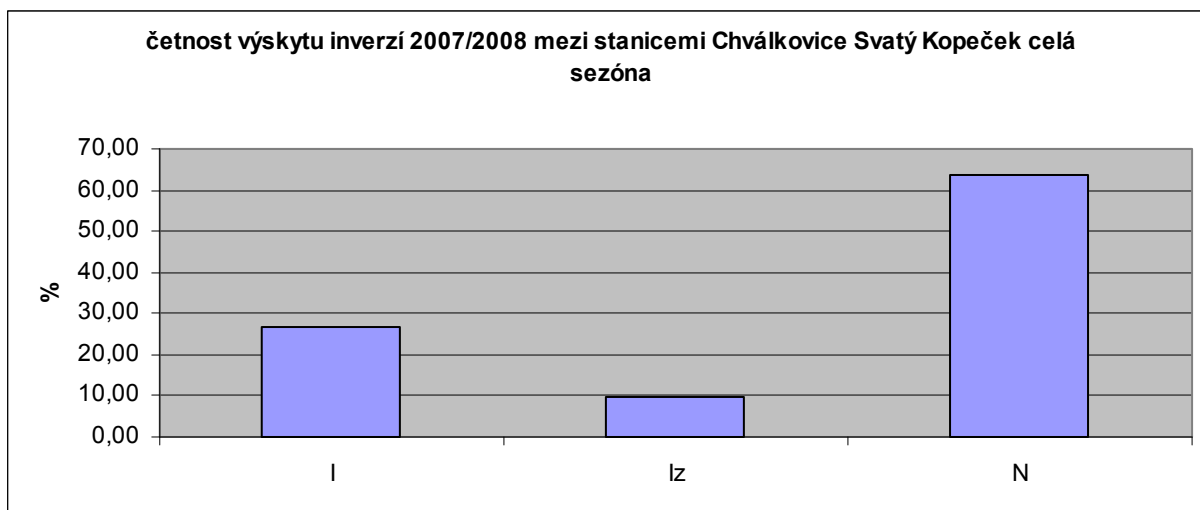


Obr. 7

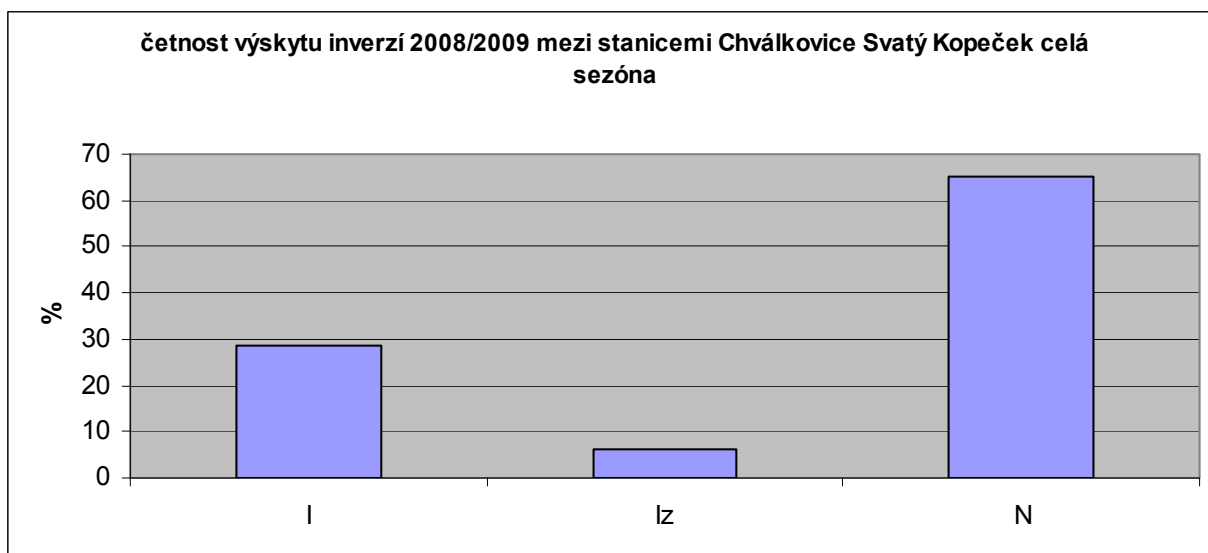


Obr. 8

Na obrázcích 7 a 8 můžeme vidět četnost za celou sledovanou letní sezónu. Mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček nastala izotermie v 8,6 % případů, inverze v 21,5 % a normální zvrstvení atmosféry ve zbylých 69 %. A mezi stanicemi Dominikáni a Svatý Kopeček byla inverze pozorována v 21,4 % měření, izotermie v 7,3 % a ve zbylých 71,3 % nastalo normální zvrstvení atmosféry.



Obr. 9



Obr. 10

Na obrázcích 9 a 10 můžeme vidět, že v pozorovaných chladných částech roku se četnost výskytu inverze zvýšila. A to tak, že v sezóně 2007/2008 dosáhla 26,6 % četnosti výskytu, četnost izotermie se v porovnání s teplou částí roku jen nepatrně zvýšila na 9,5 % ve zbylých 63,9 % se vyskytovalo normální zvrstvení atmosféry. V sezóně 2008/2009 byla četnost inverzí největší ze všech tří sledovaných období a to 28,5 %, četnost izotermie se mírně snížila na 6,3 % a normální zvrstvení atmosféry nastalo ve zbylých 65,2 % případů.

4.2 Trvání a doba výskytu inverzí

V této kapitole se hodnotí denní doba, ve které se inverze vyskytovaly v jednotlivých měsících sledovaného období. Nejprve budou vyhodnoceny měsíce v teplé části roku. První sledovaný byl květen 2008, v tomto měsíci se inverze vyskytovaly nejčastěji ve večerních, nočních a dopoledních hodinách. Odpoledne se inverze vyskytla jen ve dvanácti případech. Nejčastěji inverze začínaly po 19. hodině a trvaly až do ranních nebo dopoledních hodin. Druhý častý případ byl začátek inverzí kolem půlnoci. Nejdéle v měsíci květnu trvala inverze 16 hodin a 30 minut, a to 7.5.2008.

V měsíci červnu se vyskytovaly spíše inverze kratšího trvání, nejčastěji kolem dvou až tří hodin. Nejvíce inverzí se projevilo od půlnoci do ranních hodin. Nejdéle trvala inverze od 21:10 hodin 2. 6. do 9:50 hodin 3.6., tedy 12 hodin a 40 minut.

V červenci se stejně jako v červnu projevovaly kratší inverze mezi dvěmi až třemi hodinami trvání. A opět nejčastěji v nočních a poté ranních hodinách. V odpoledním čase se inverze vyskytla pouze v šesti případech. Nejdelsí nepřetržitá inverze trvala 11 hodin a 50 minut ze dne 2.7. na 3.7.2008.

V srpnu stejně jako v ostatních letních měsících inverze neměly až na výjimky příliš dlouhého trvání, nejčastěji mezi jednou až čtyřmi hodinami. Nejdéle trvala inverze ze 30. na 31.8.2008, a to 13 hodin. Opět se inverze vyskytovaly nejčastěji ve večerních, nočních a ranních hodinách. Odpoledne byla inverze pozorována pouze dvanáctkrát ze všech sledovaných případů.

Posledním sledovaným měsícem v tomto období bylo září, které bylo na inverze poměrně bohaté. Trvání inverzí se zde začalo prodlužovat, téměř v polovině případů trvala inverze 8 až 12 hodin. Nejdelsí pozorovaná měla dobu trvání 15 hodin. Inverze se opět vyskytovaly nejčastěji ve večerních, nočních a ranních hodinách. V odpoledních hodinách se vyskytla inverze pouze v sedmi případech.

Další sledované období byla zima 2007/08, a to od 22. prosince do 26. března. Ve sledované části prosince všechny inverze trvaly pouze hodinu až tři hodiny. S výjimkou tří případů: osmihodinové, čtrnáct hodinové a nejdelsí inverze, která trvala 14 hodin a 30 minut. Na rozdíl od měsíců v teplé části roku se v prosinci začaly inverze více vyskytovat během dopoledních a odpoledních hodin. A to téměř v polovině případů.

Leden nebyl z důvodů vyřazení dataloggerů naměřen celý, ale pouze do 20.1. V tomto období bylo naměřeno nejméně inverzí za tuto zimní etapu. Ve třetině případů se inverze vyskytla v odpoledních hodinách. Ve zbylých případech převažovaly inverze, které nastaly po půlnoci. Inverze měly ve většině případů kratší trvání, a to mezi jednou až třemi hodinami. Výjimku tvořila 24hodinová inverze, a to od 16 hodin 13.1. do 16 hodin 14.1.2008.

V měsíci únoru bylo opět kvůli vyřazení dataloggerů sledováno pouze 13 dnů. Inverze v tomto měsíci měly v třetině případů dlouhého trvání, a to mezi sedmi až dvanácti hodinami. Nejdelší inverze trvala 13 hodin a 30 minut. Nejčastěji se inverze vyskytovaly v ranních, dopoledních a odpoledních hodinách.

Poslední sledovaný měsíc v tomto období byl březen, který nebyl opět naměřen celý, ale pouze do 26.3.2008. Téměř v polovině případů se inverze projevil v odpoledních hodinách a měly nejčastěji trvání mezi půlhodinou až dvěma hodinami. Nejdelší pozorované inverze trvala 14 hodin a 30 minut.

Třetí pozorované období trvalo od 4.12.2008 do 16.3.2009. Měření byla nepřetržitá. V prosinci měly inverze v devíti případech delší trvání, a to mezi šesti a 16,5 hodinami. Ve zbylých případech inverze trvaly maximálně tři hodiny. Ve většině případů se inverze vyskytovaly ve večerních, nočních a ranních hodinách. Pouze sedmkrát se inverze vyskytla odpoledne.

V lednu se vyskytla druhá nejdelší inverze ze všech měřených měsíců a trvala 32,5 hodiny. Od 15:00 20.1.2009 do 23:30 21.1.2009. Jinak ale v tomto měsíci převažovaly inverze kratšího trvání, a to mezi půlhodinou až třemi hodinami. Výskyt inverzí v jednotlivých částech dne byl vyrovnaný.

V únoru se pouze v devíti případech vyskytly inverze trvající šest až patnáct hodin. U ostatních inverzí byla doba trvání poměrně krátká, a to mezi půlhodinou až třemi hodinami. Podstatně se zvýšilo množství inverzí, které se vyskytly v odpoledních hodinách, a to ve více než polovině všech sledovaných měření. Ve zbylém množství převažovaly ranní inverze.

Březen na inverze v tomto zimním období nejchudší. Inverze až na jednu výjimku, která se vyskytla na přelomu února a března, byly krátké, a to s délkou trvání od 30 minut do dvou hodin. Nejdelší inverze tohoto období byla zároveň nejdelší ze všech sledovaných měsíců a vyskytla se od 20:30 28.2. 2009 do 8:00 2.3.2009 a trvala tedy 35 hodin a 30 minut.

4.3 Četnost synoptických situací vzhledem k typům teplotního zvrstvení

Při hodnocení teplotních inverzí nelze opomenout stav některých meteorologických prvků v době jejich výskytu. Komplexně byly tyto vlivy vyhodnoceny na základě vztahu k synoptickým situacím. K základním tlakovým útvarům patří tlakové níže (cyklóny) a tlakové výše (anticyklóny). Nejpříznivější podmínky pro vznik teplotních inverzí jsou v tlakových výších, pro něž jsou typické sestupné pohyby. Vlivem těchto pohybů dochází k sesedání a ke vzniku subsidenčních teplotních inverzí. Počasí s malou oblačností, které se často vyskytuje za anticyklonálních situací, napomáhá zejména v zimním období intenzivnímu radiačnímu ochlazení zemského povrchu, což vede ke vzniku mohutných přízemních teplotních inverzí. V cyklonálních oblastech se ve vzduchové hmotě zpravidla vyskytují vzestupné pohyby. V těchto oblastech inverze buď nevznikají, nebo jsou jen slabé.

Z hlediska ochrany čistoty ovzduší se anticyklonální situace jeví ve srovnání s cyklonálními nepříznivější. Sestupné pohyby anticyklonálních oblastí potlačují vertikální promíchávání, a omezují tak prostorový rozptyl příměsí. V důsledku toho dochází ke vzniku vysokých koncentrací znečišťujících látek v ovzduší (Bednář, Zikmunda, 1985).

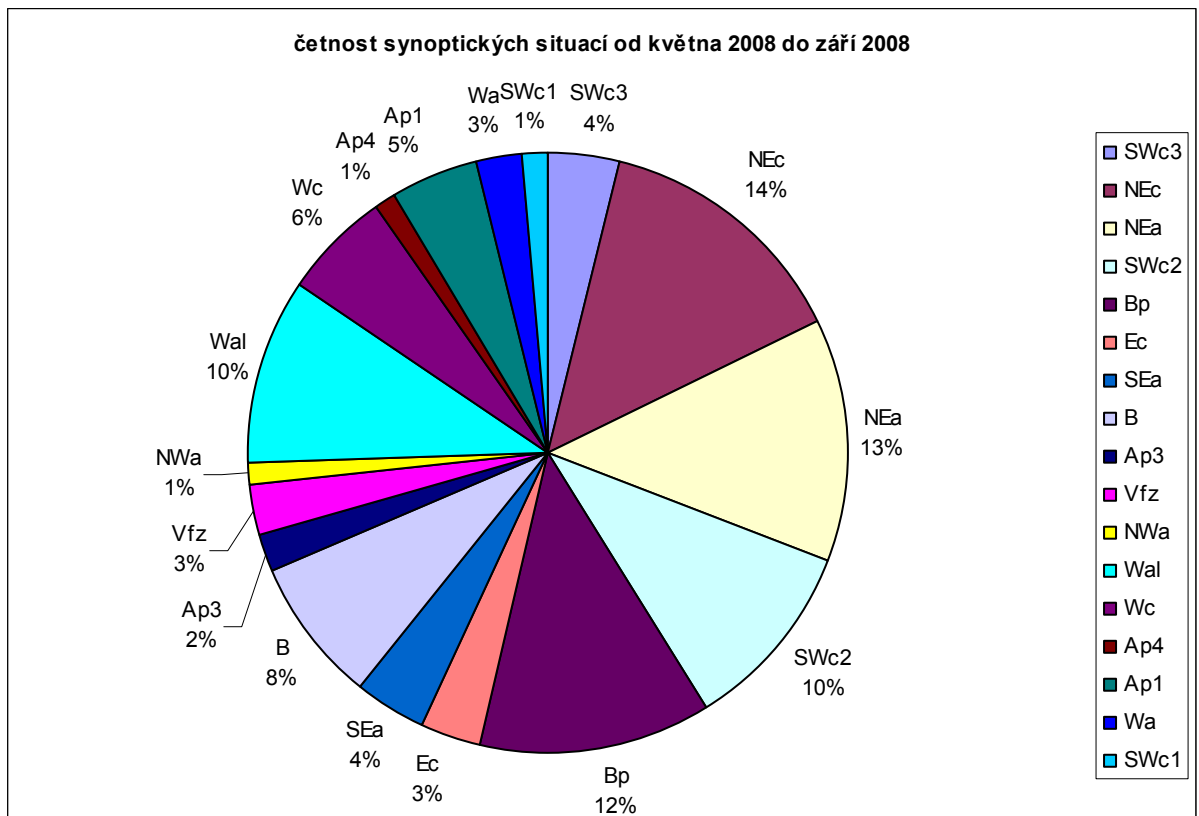
Synoptické situace byly sledovány v období od prosinec 2007 do března 2008 a od května 2008 do září 2008. Pro poslední sledovanou sezónu prosinec 2008 až březen 2009 v období leden až březen 2009 nebyla v době zpracování diplomové práce dostupná kompletní typizace povětrnostních situací pro území České republiky.

Symbyly situací a jejich vysvětlení, které se vyskytly ve sledované období:

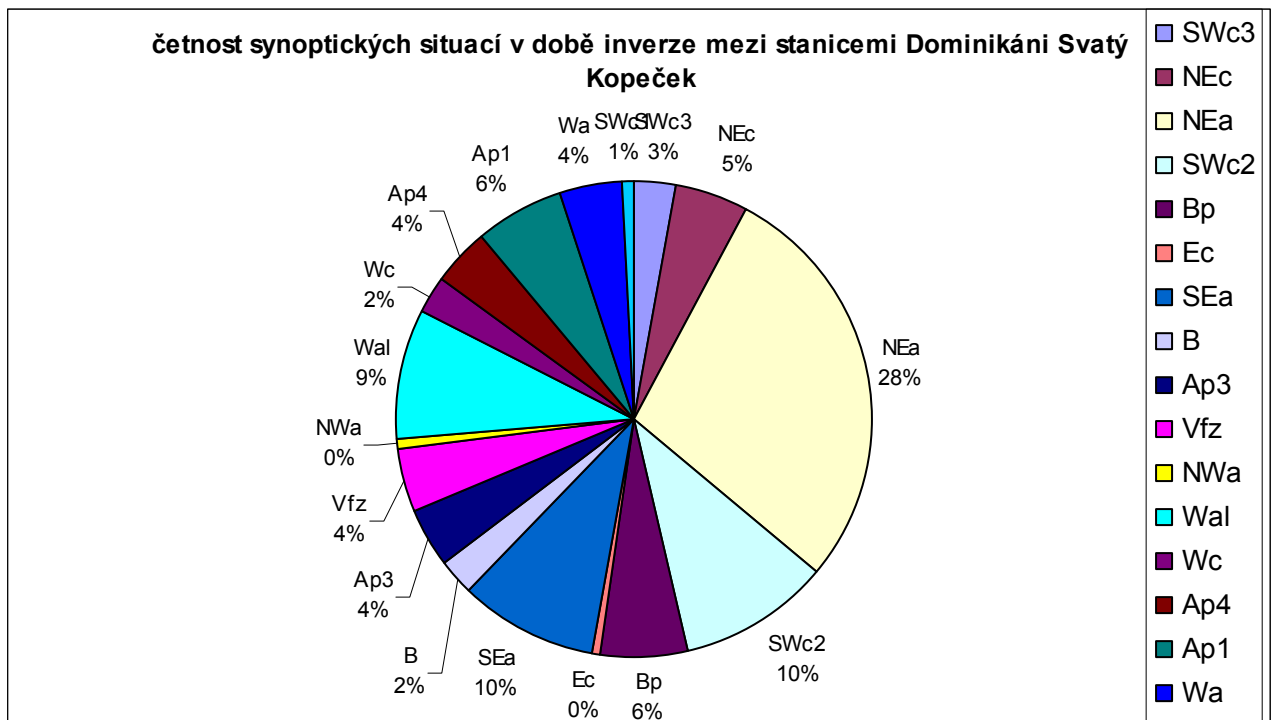
- Wc – západní cyklonální situace
- Wa – západní anticyklonální situace
- Wal – západní anticyklonální situace letního typu
- NWa – severozápadní anticyklonální situace
- Nc – severní cyklonální situace
- NEc – severovýchodní cyklonální situace
- NEa – severovýchodní anticyklonální situace
- Ec – východní cyklonální situace
- Ea – východní anticyklonální 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
 Cv – cyklóna výšková
 A – anticyklóna nad střední Evropou
 Ap – putující anticyklóna
 (Typizace povětrnostních situací pro území České republiky
 on-line, 2008)

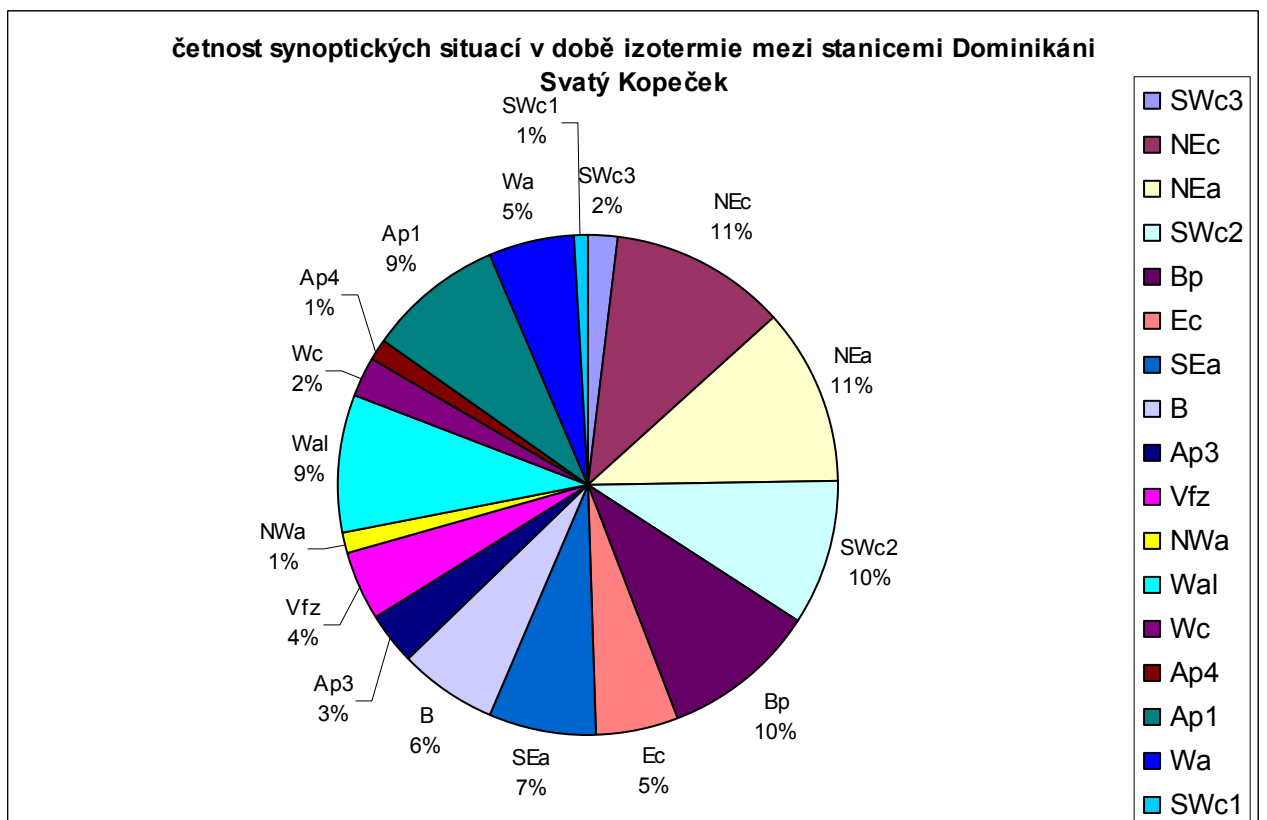
Následujících grafy ukáží četnost jednotlivých synoptických situací a jejich srovnání v době inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry.



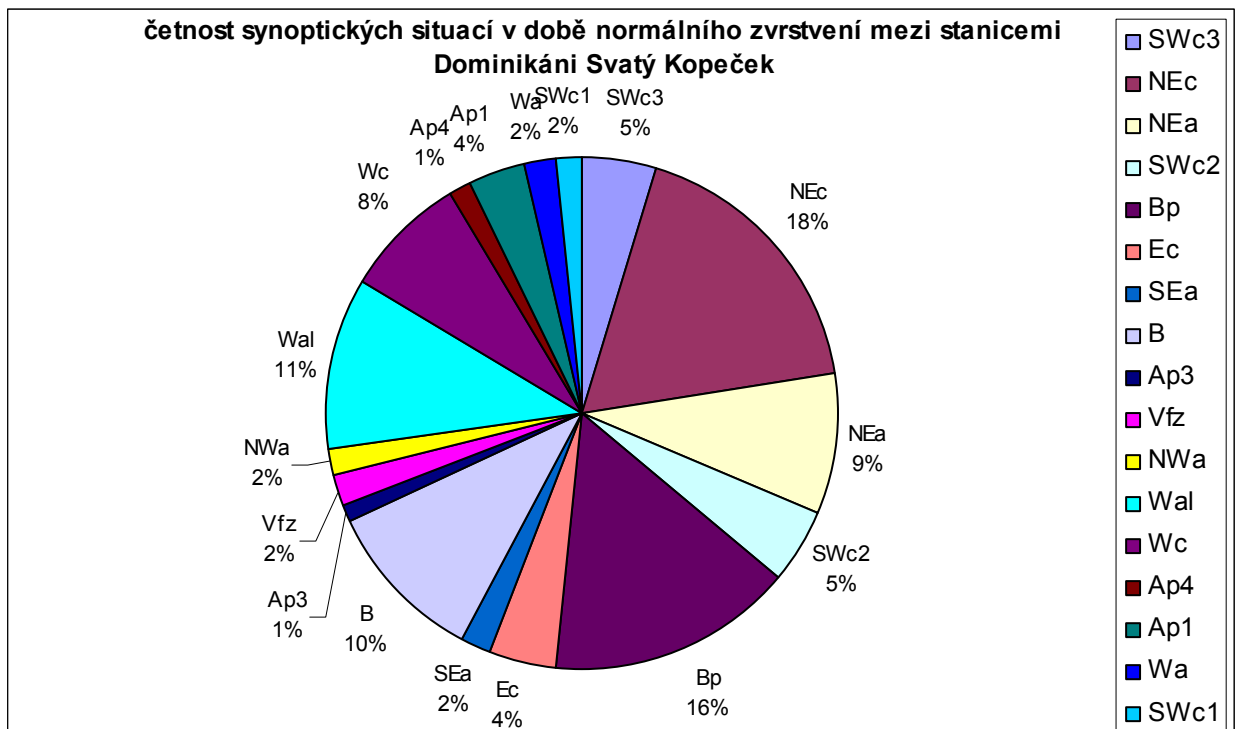
Obr. 11



Obr. 12

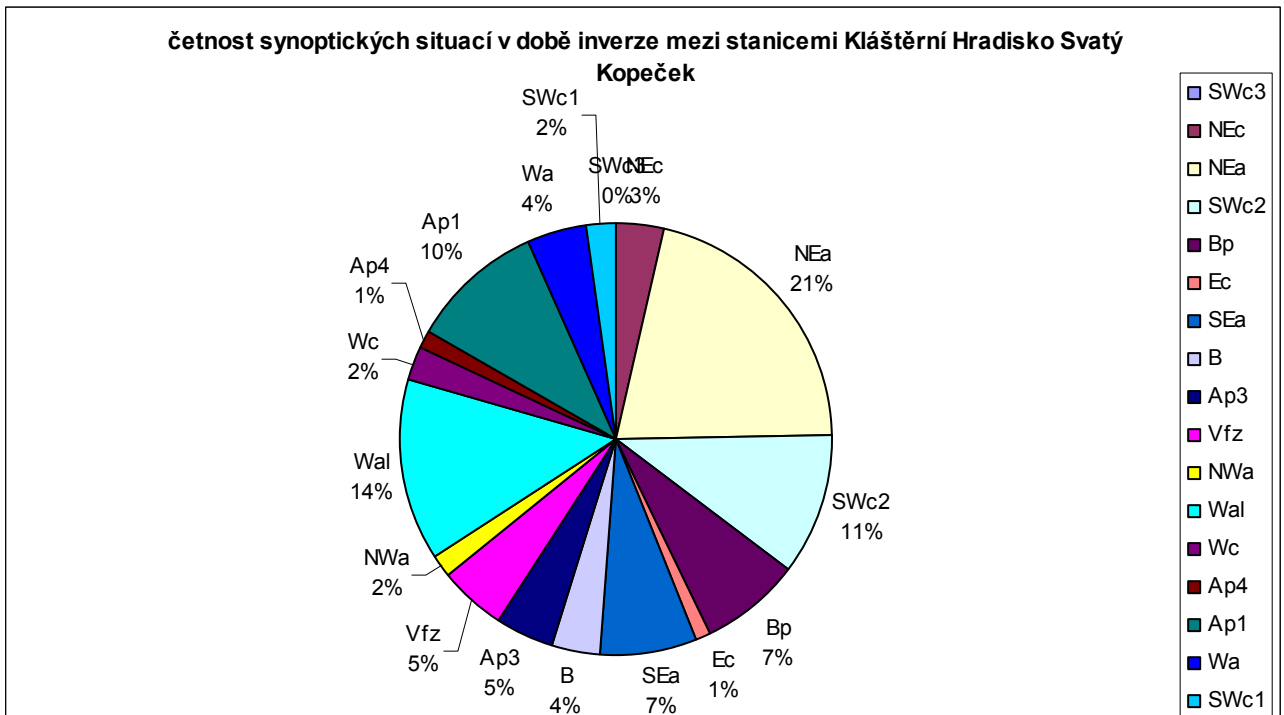


Obr. 13

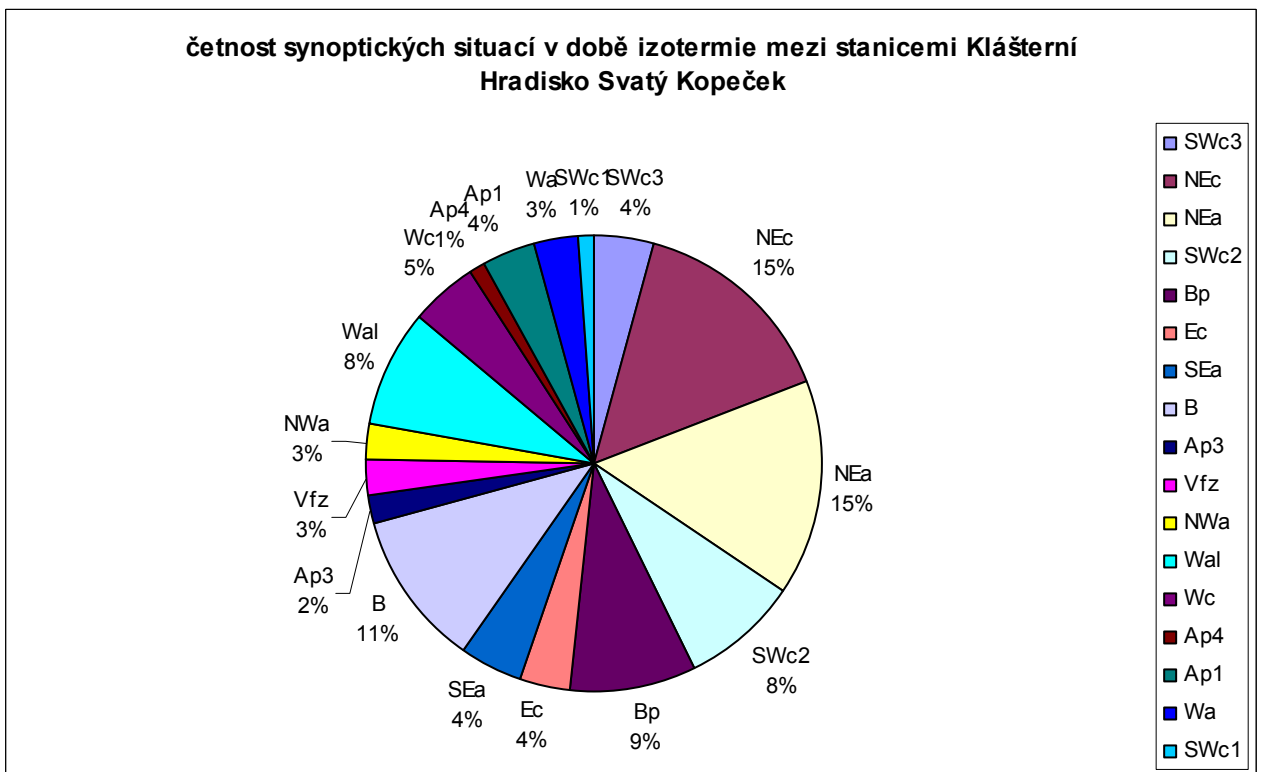


Obr. 14

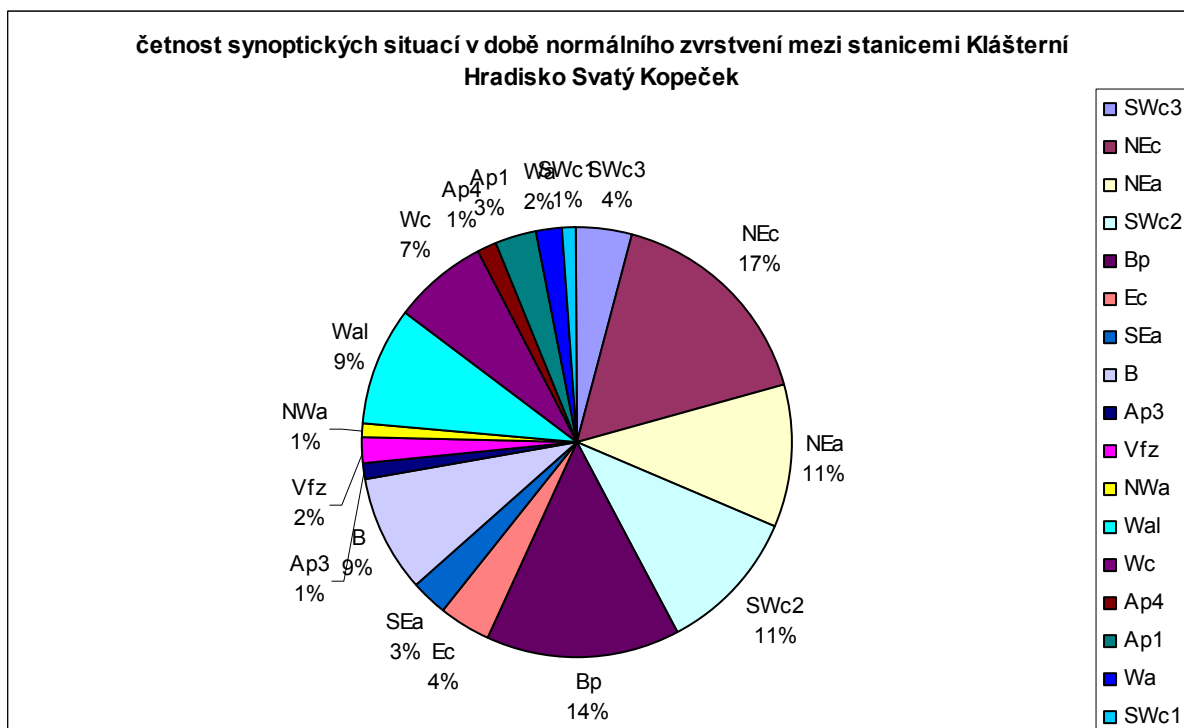
Podle obrázků 12, 13 a 14 je patrné, že v době výskytu inverze mezi stanicemi Dominikáni Svatý Kopeček, se nejčastěji vyskytla severovýchodní anticyklonální situace. Druhá nejčastější byla jihozápadní cyklonální situace. V průběhu izotermie se nejčastěji vyskytli dvě situace a to severovýchodní anticyklonální a severovýchodní cyklonální. Další dvě situace, které se poměrně často vyskytly v době izotermie, byly brázda postupující přes střední Evropu a jihozápadní cyklonální situace. V období normálního zvrstvení atmosféry měla největší četnost severozápadní cyklonální situace, druhou nejčastější byla brázda postupující přes střední Evropu.



Obr. 15

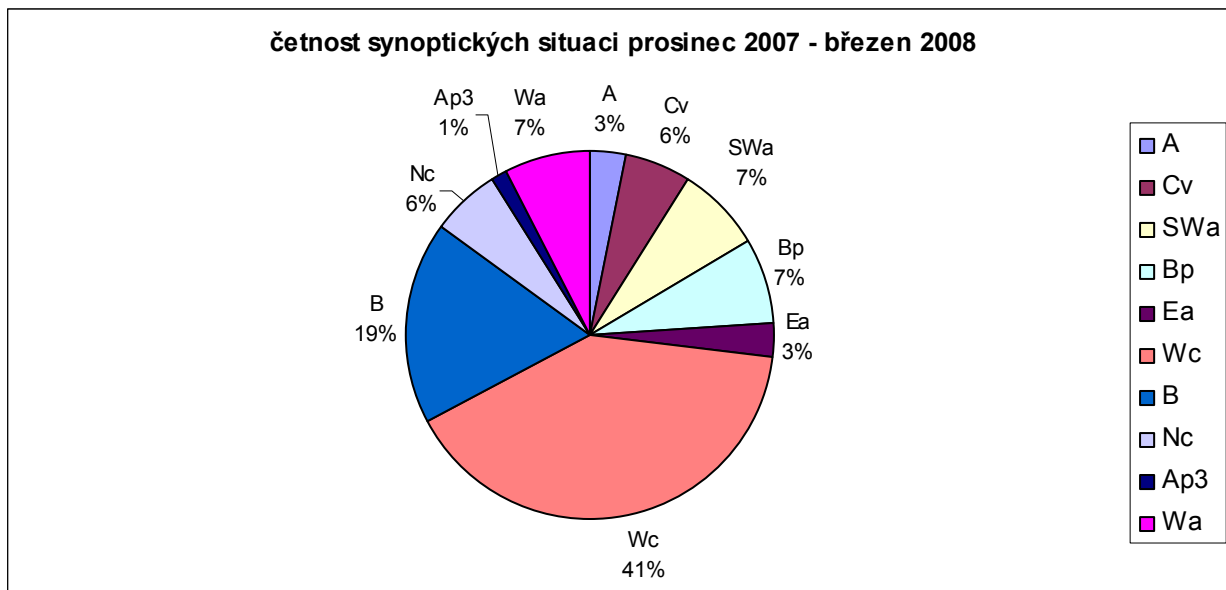


Obr. 16



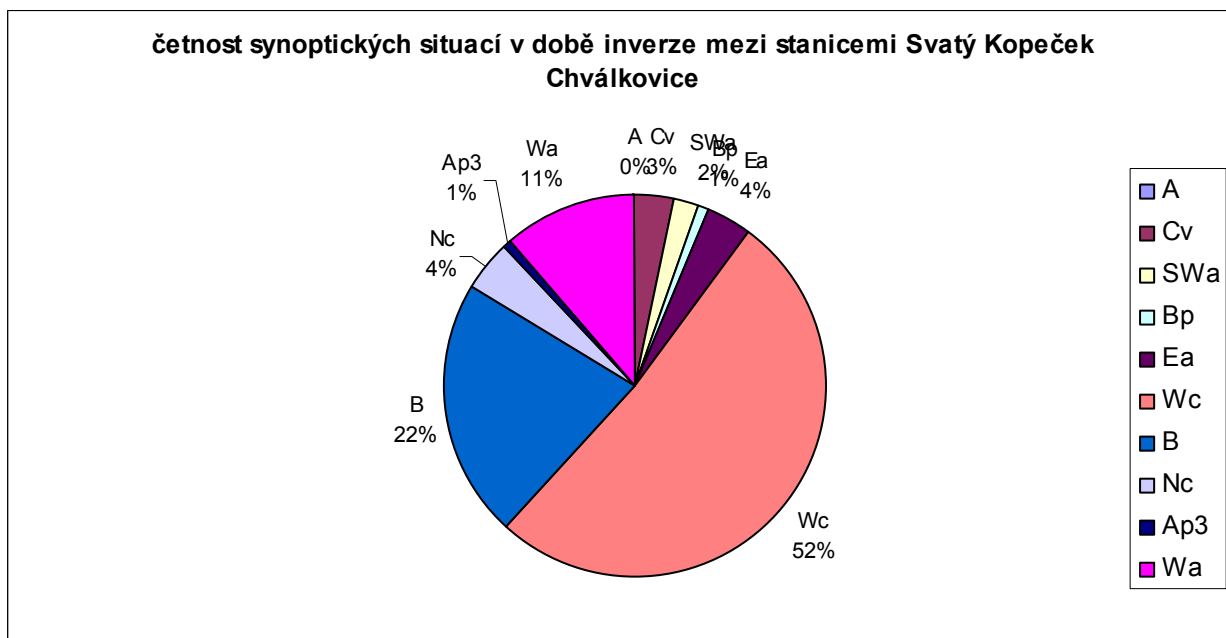
Obr. 17

Na obrázcích 15, 16 a 17 je patrné, že v době inverze mezi stanicemi Klášterní Hradisko Svatý Kopeček se nejčastěji vyskytla severovýchodní anticyklonální situace, druhá nejčetnější byla jihozápadní cyklonální situace. V průběhu izotermie se nejčastěji vyskytla severovýchodní anticyklonální a severovýchodní cyklonální situace, další nejčastější byla jihozápadní cyklonální situace. V období normálního zvrstvení atmosféry byly nejčetnější severovýchodní cyklonální situace. Druhou nejčetnější situací byla brázda postupující přes střední Evropu.

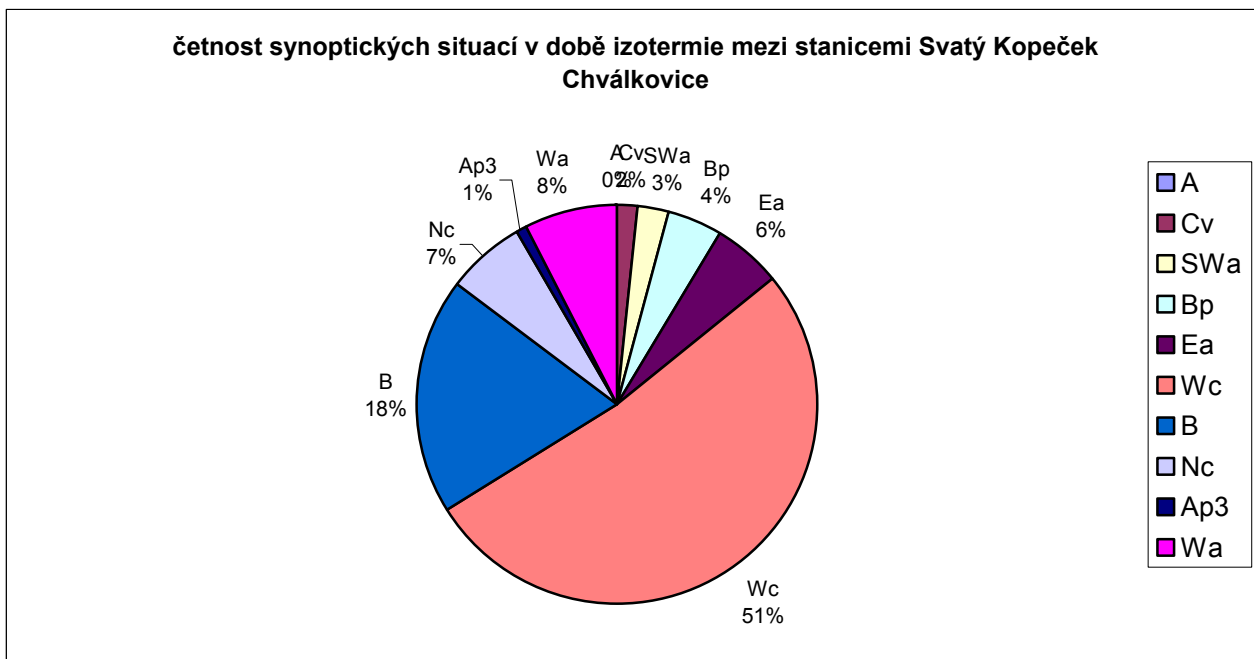


Obr. 18

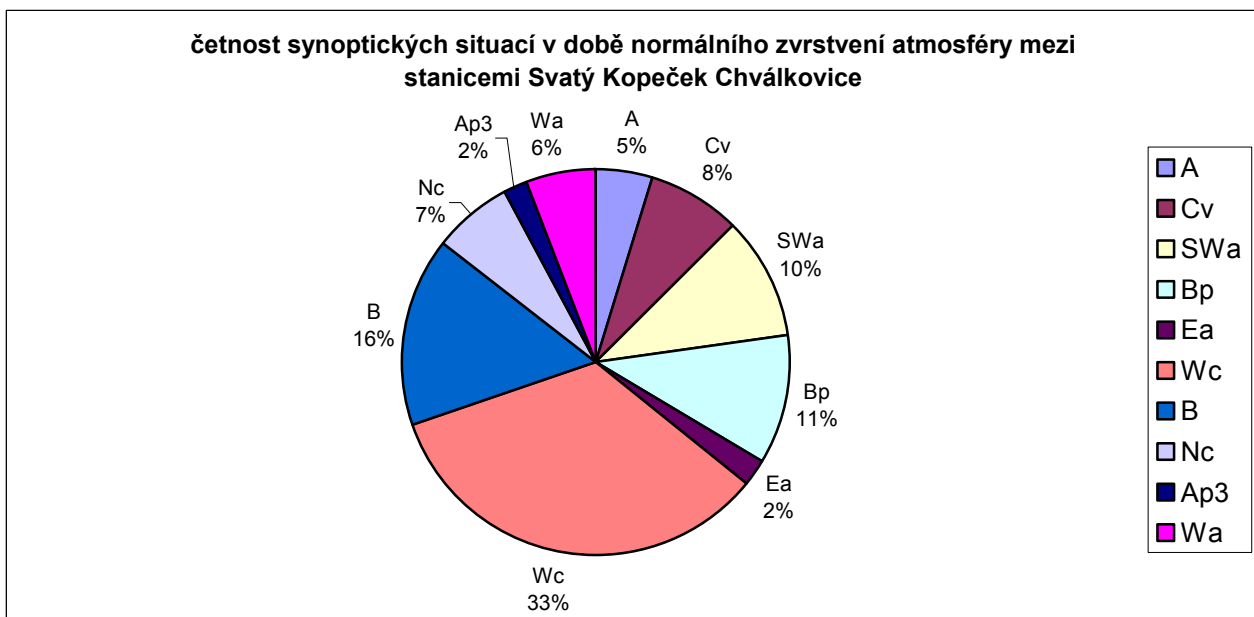
V obrázku 18 můžeme vidět četnost synoptických situací za celou sledovanou sezónu. Je patrné, že v chladné části roku převažuje jiná situace než v teplé a to západní cyklonální situace.



Obr. 19



Obr. 20

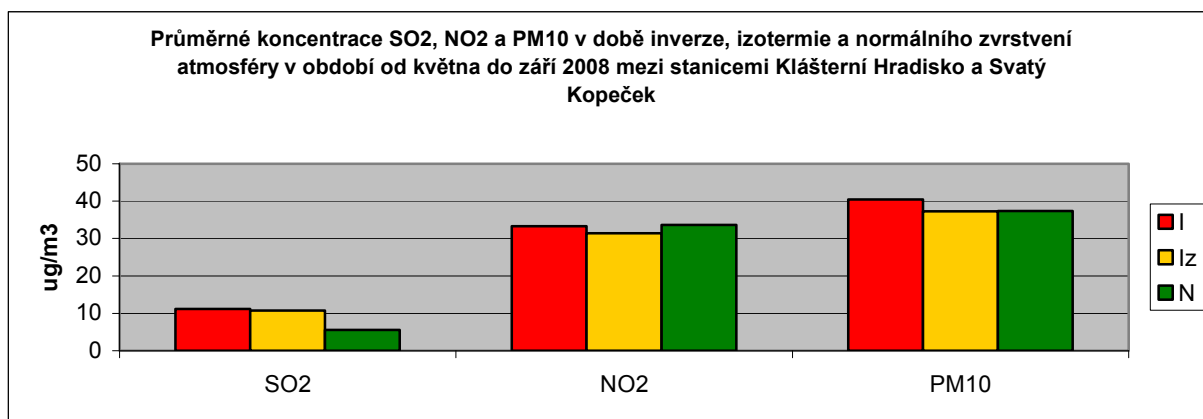


Obr. 21

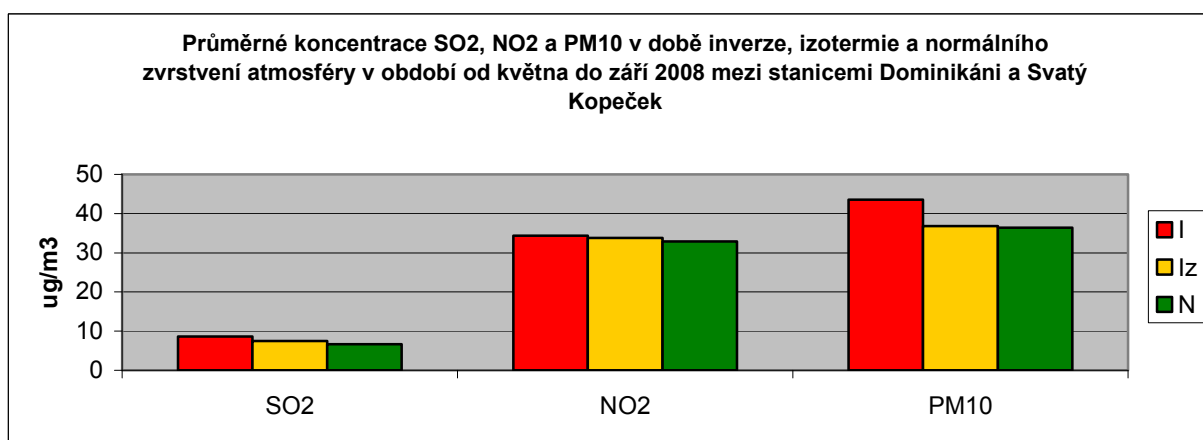
Na obrázcích 19, 20 a 21 můžeme vidět, že v době inverze v chladné části roku se v 52 % vyskytla západní cyklonální situace a ve 22 % brázda nízkého tlaku nad střední Evropou. V době izotermie také převažovala západní cyklonální situace a druhou nejčastější situací byla brázda nízkého tlaku nad střední Evropou. V průběhu normálního zvrstvení atmosféry, jako v celém zimním období převažovala opět západní cyklonální situace. Druhou nejčastější byla zase brázda nízkého tlaku nad střední Evropou.

4.4 Koncentrace znečišťujících látek vzhledem k typům teplotního zvrstvení

Z grafů na obrázcích 22 a 23 lze dobře vidět průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ za sledované období teplé části roku a to v době výskytu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry. U hodnot mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček je patrné, že v době inverze byly průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ nejvyšší a to 11,17 μg/m³ u SO₂, 33,27 μg/m³ u NO₂ a u PM₁₀ 40,5 μg/m³. Stejná situace nastala také u výsledků mezi stanicemi Dominikáni a Svatý Kopeček v průběhu inverze byla průměrná koncentrace SO₂ 8,66 μg/m³, NO₂ 34,41 a μg/m³, PM₁₀ 43,6 μg/m³. V průběhu izotermie byly průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ druhé nejvyšší až na výjimku u průměrné koncentrace NO₂ srovnávané s měřením mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček.



Obr. 22



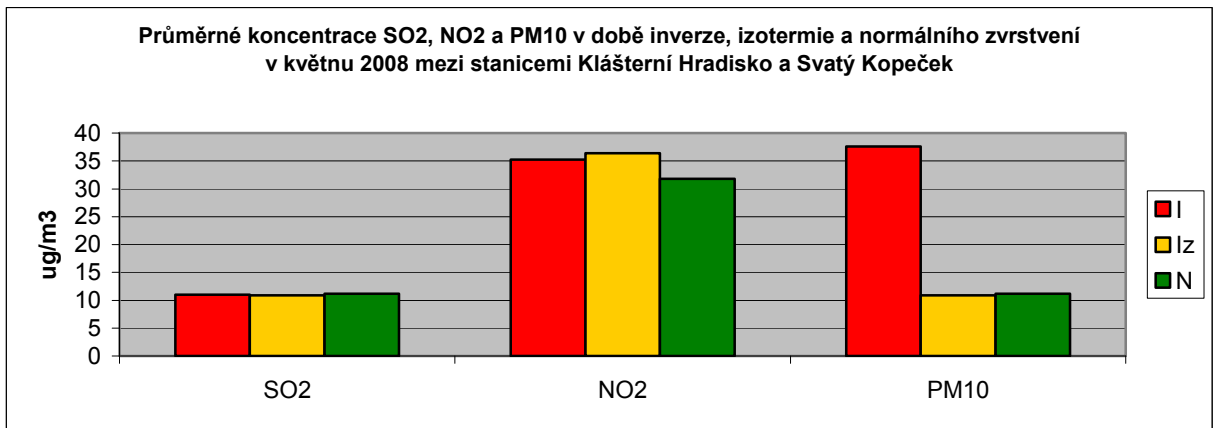
Obr. 23

Grafy na obrázcích 24, 25, 26, 27 a 28 znázorňují průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček a to v jednotlivých měsících sledované teplé části roku. V květnu byla průměrná koncentrace SO₂ nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry a to 10,98 µg/m³, u NO₂ byla průměrná koncentrace nejvyšší v průběhu izotermie a to 35,25 µg/m³ a v případě PM₁₀ nastala nejvyšší koncentrace v době inverze 37,6 µg/m³.

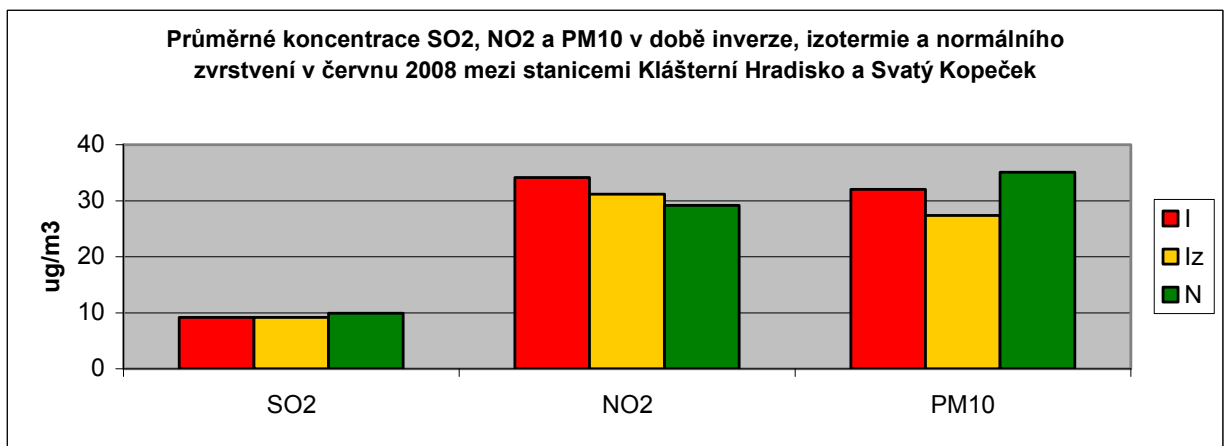
V červnu byla průměrná koncentrace SO₂ ve všech sledovaných případech skoro stejná a to od 9,13 až po 9,92 µg/m³. Zatím co v případě NO₂ byla průměrná koncentrace nejvyšší v době inverze 34,16 µg/m³ a nejnižší v průběhu normálního zvrstvení atmosféry 29,18 µg/m³. Průměrné koncentrace v případě PM₁₀ se pohybovaly od 27,36 µg/m³ v době izotermie, přes 32,03 µg/m³ v průběhu inverze, až po 35,07 µg/m³ v době normálního zvrstvení atmosféry.

V červenci byla situace u průměrné koncentrace SO₂ a NO₂ podobná jako v červnu, akorát hodnoty byly v případě SO₂ nižší od 5,98 µg/m³ po 6,33 µg/m³, zatímco u NO₂ vyšší od 36,5 µg/m³ v době inverze po 34,14 v době normálního zvrstvení atmosféry. U PM₁₀ byla situace opačná jako u NO₂, nejnižší koncentrace v průběhu inverze 22,78 µg/m³ a nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry 34,97 µg/m³.

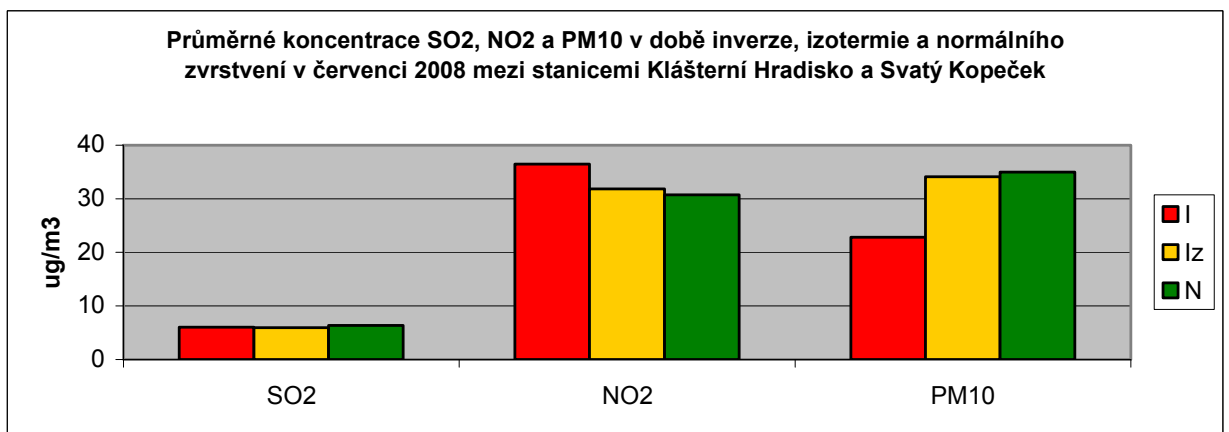
V srpnu a září byla průměrná koncentrace SO₂ nejnižší za celé sledované období teplé části roku. Hodnoty se pohybovaly od 3,43 µg/m³ v průběhu inverze v srpnu po 5,31 µg/m³ v době normálního zvrstvení atmosféry v měsíci září. Naopak v měsíci září byla průměrná koncentrace NO₂ ve všech sledovaných případech nejvyšší a pohybovala se od 39,49 µg/m³ v době normálního zvrstvení, přes 45,12 µg/m³ v době izotermie, až po 45,36 µg/m³ v době inverze. Také v případě průměrné koncentrace PM₁₀ byly hodnoty v měsíci září nejvyšší od 39,49 µg/m³ v průběhu inverze po 52,37 µg/m³ v době normálního zvrstvení atmosféry.



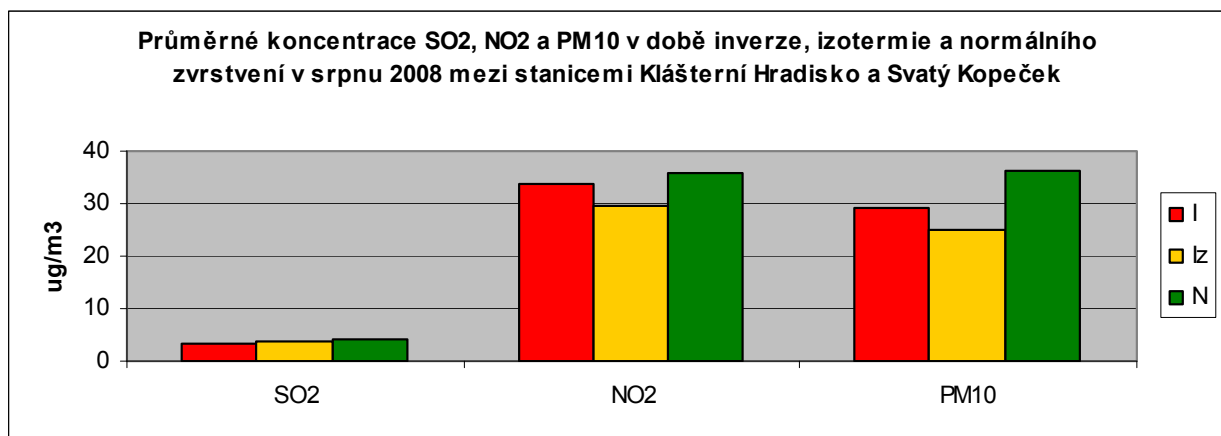
Obr. 24



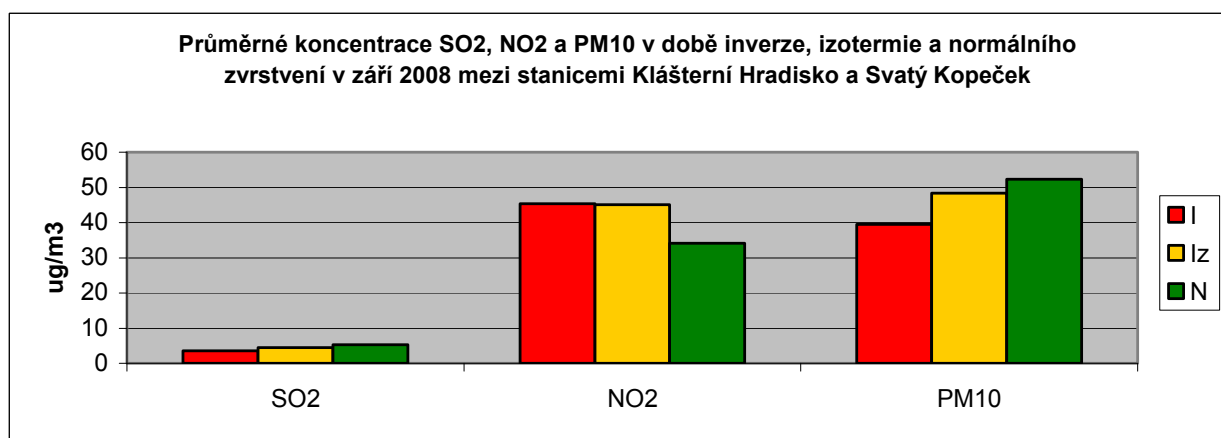
Obr. 25



Obr. 26



Obr. 27



Obr. 28

Grafy na obrázcích 29, 30, 31, 32 a 33 znázorňují průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Dominikáni a Svatý Kopeček a to v jednotlivých měsících sledované teplé části roku.

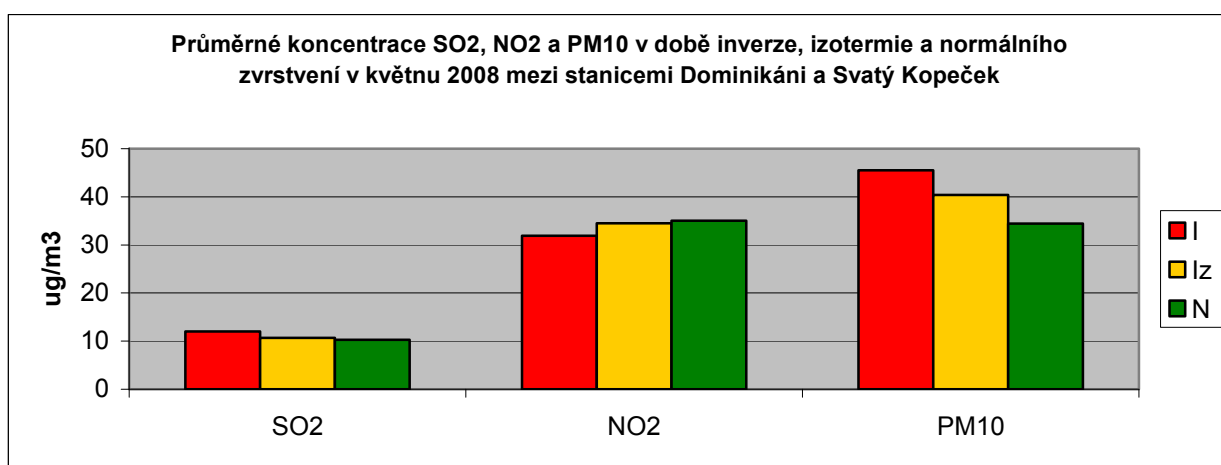
V měsíci květnu měl SO₂ nejvyšší průměrnou koncentraci v době inverze a to 11,98 µg/m³, stejně jako PM₁₀ a to 45,5 µg/m³. Naopak průměrná koncentrace NO₂ byla nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry 35 µg/m³.

V červnu byla u všech škodlivin nejvyšší koncentrace v průběhu inverze a to u SO₂ 10,94 µg/m³, u NO₂ 33,29 µg/m³ a u PM₁₀ 44,45 µg/m³.

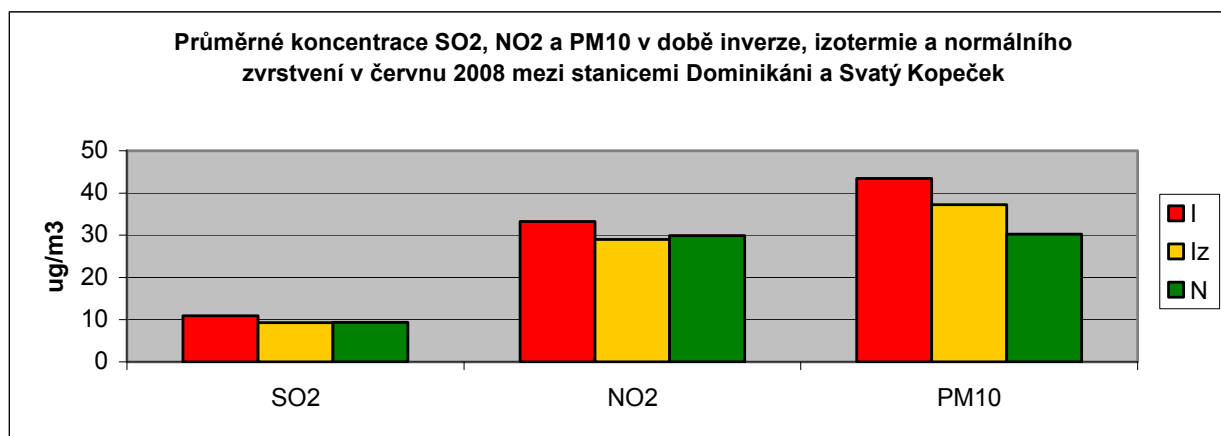
Průměrná koncentrace SO₂ v měsíci červenci byla nejvyšší v době izotermie 7 µg/m³. V případě NO₂ potom v době normálního zvrstvení atmosféry 37,27 µg/m³ a u PM₁₀ opět v době izotermie 37,73 µg/m³.

V srpnu byla průměrná koncentrace SO₂ nejnižší ze všech měsíců v teplé části roku a to od 3,69 µg/m³ v době inverze, přes 3,82 µg/m³ v průběhu izotermie až po 3,96 µg/m³ v době normálního zvrstvení atmosféry. Průměrná koncentrace NO₂ byla nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry 36,14 µg/m³ a PM₁₀ v době inverze 38,29 µg/m³.

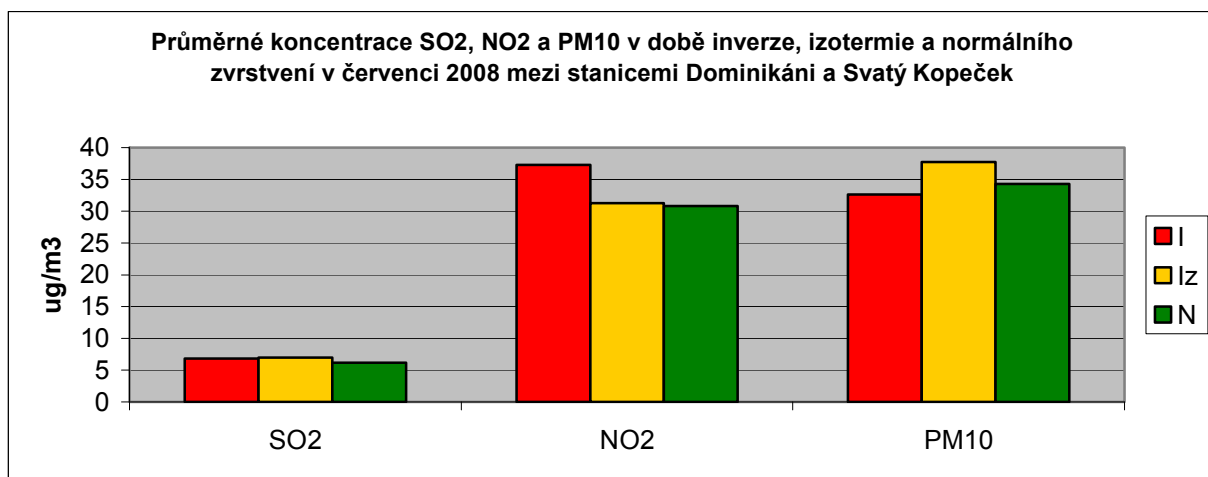
V měsíci září byla průměrná koncentrace SO₂ nejnižší v době inverze 3,63 µg/m³ a nejvyšší 5,28 µg/m³ v době normálního zvrstvení atmosféry. V případě NO₂ byla nejvyšší průměrná koncentrace v průběhu inverze 44,43 µg/m³. Koncentrace PM₁₀ byla nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry a to 50,53 µg/m³.



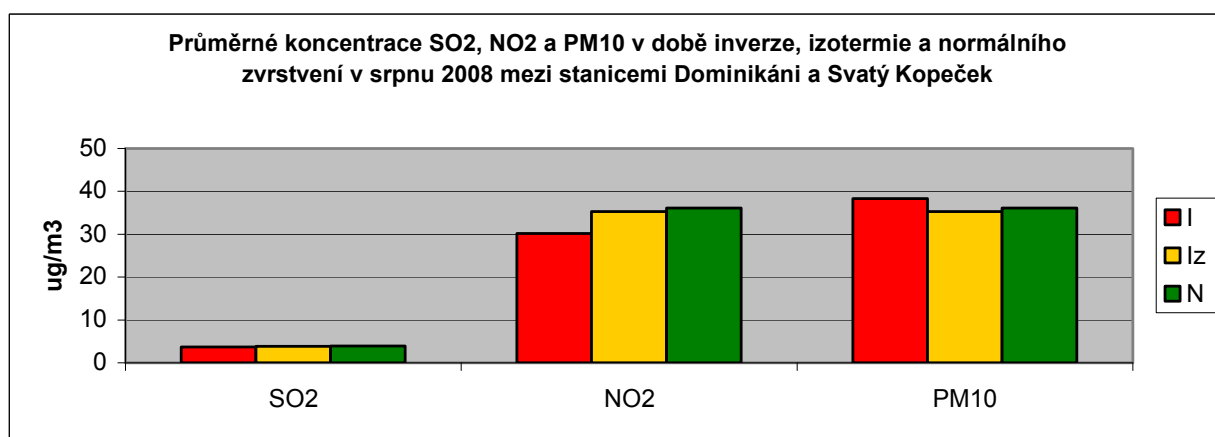
Obr. 29



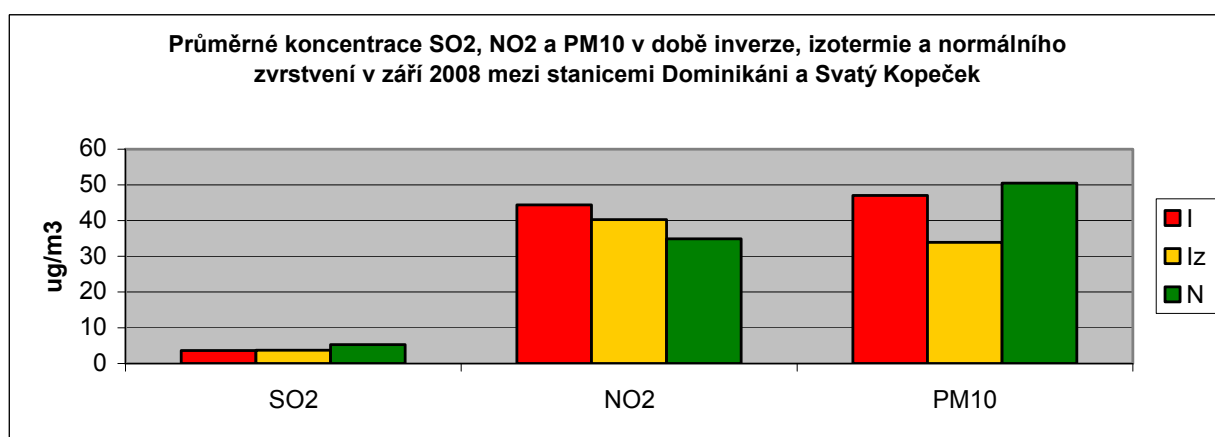
Obr. 30



Obr. 31

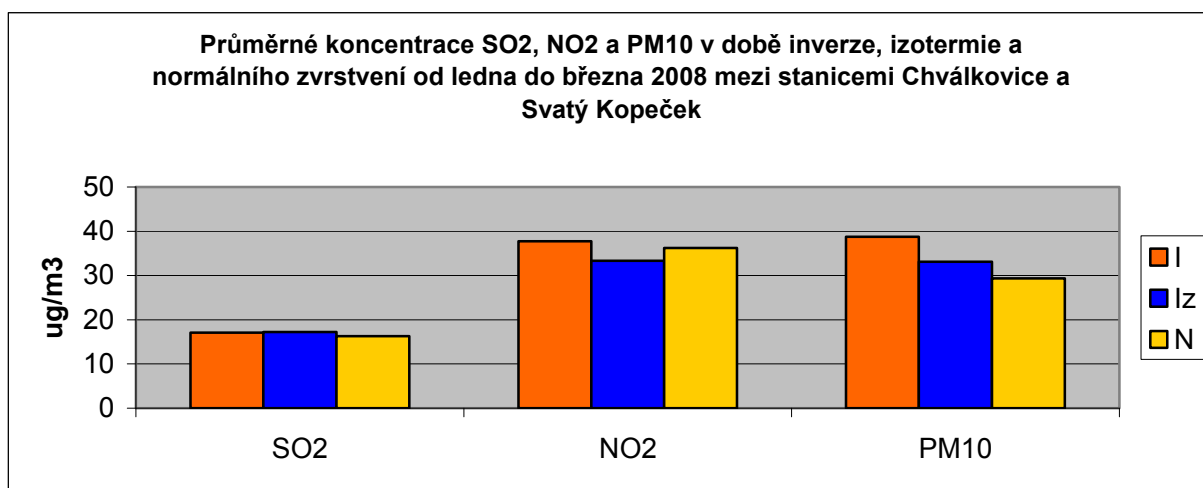


Obr. 32



Obr. 33

Na grafu z obrázku 34 jsou vidět průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček a to v zimní sezóně 2008. Z grafu je patrné, že průměrné koncentrace všech škodlivin byly nejvyšší v době inverze a to 17,06 µg/m³ v případě SO₂, 37,71 u NO₂ µg/m³ a 38,74 µg/m³ u PM₁₀.



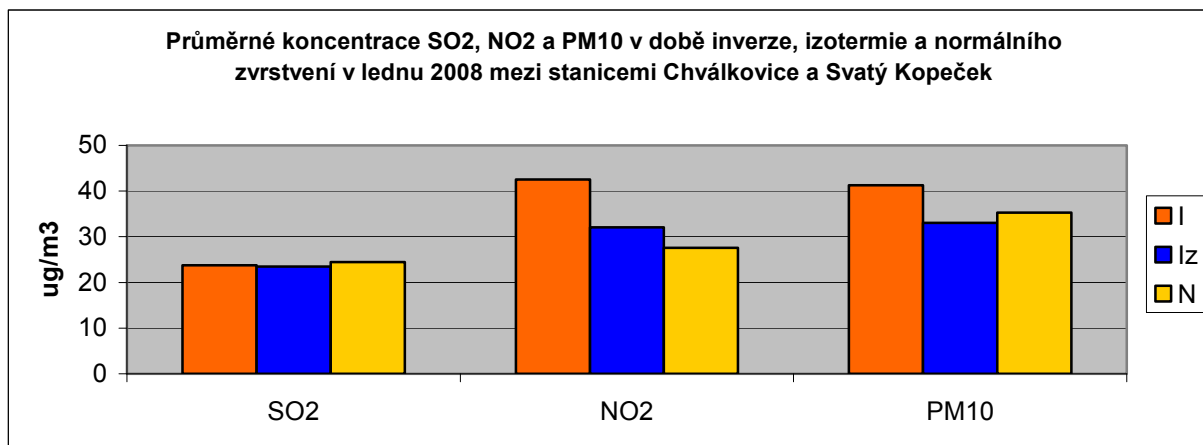
Obr. 34

Grafy na obrázcích 35, 36 a 37 znázorňují průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček a to v jednotlivých měsících sledované chladné části roku 2008.

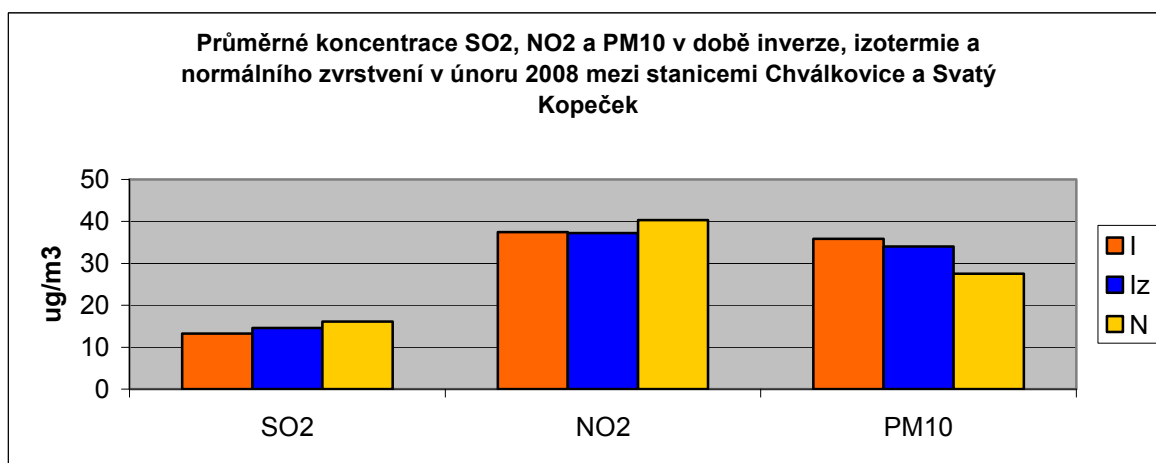
V lednu byla průměrná koncentrace SO₂ nejvyšší v porovnání s ostatními měsíci zimního období a dosahovala hodnot od 23,49 µg/m³ v době izotermie, přes 23,74 µg/m³ v průběhu inverze, až po 24,42 µg/m³. Průměrná koncentrace NO₂ byla v době inverze také nejvyšší z celého sledované sezóny a to 42,54 µg/m³ a stejně tak v případě PM₁₀ 41,3 µg/m³.

V únoru byla průměrná koncentrace SO₂ v době inverze nejnižší 13,24 µg/m³. U NO₂ byla koncentrace nejvyšší v době normálního zvrstvení atmosféry 40,34 µg/m³ a v případě PM₁₀ v době inverze 35,87 µg/m³.

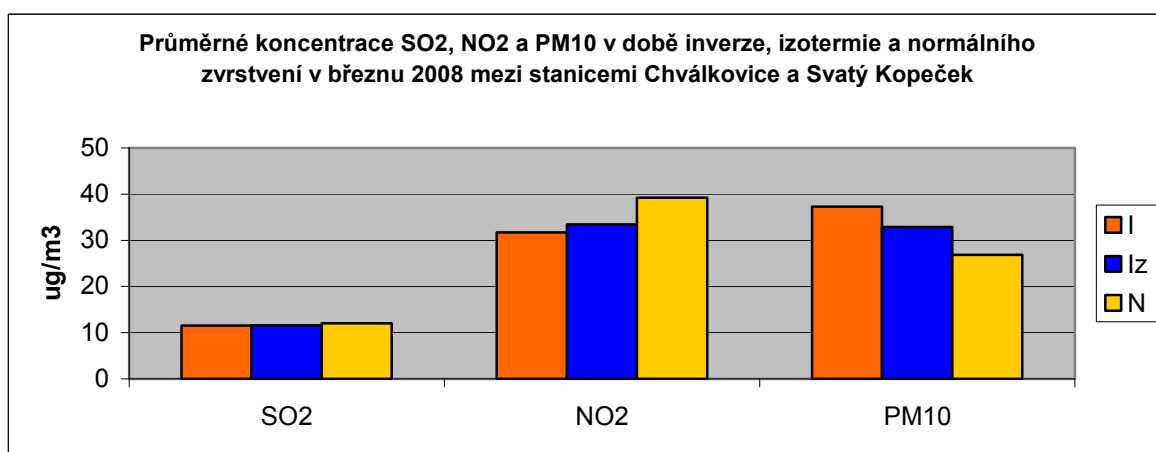
V měsíci březnu byla průměrná koncentrace SO₂ nejnižší v porovnání s ostatními měsíci zimního období a dosahovala hodnot od 11,56 µg/m³ v době izotermie, přes 11,57 µg/m³ v průběhu inverze, až po 12,03 µg/m³. Při normálním zvrstvení atmosféry byla nejvyšší koncentrace NO₂ a to 39,25 µg/m³. Nejvyšší průměrná koncentrace PM₁₀ nastala v době inverze a činila 37,27 µg/m³.



Obr. 35



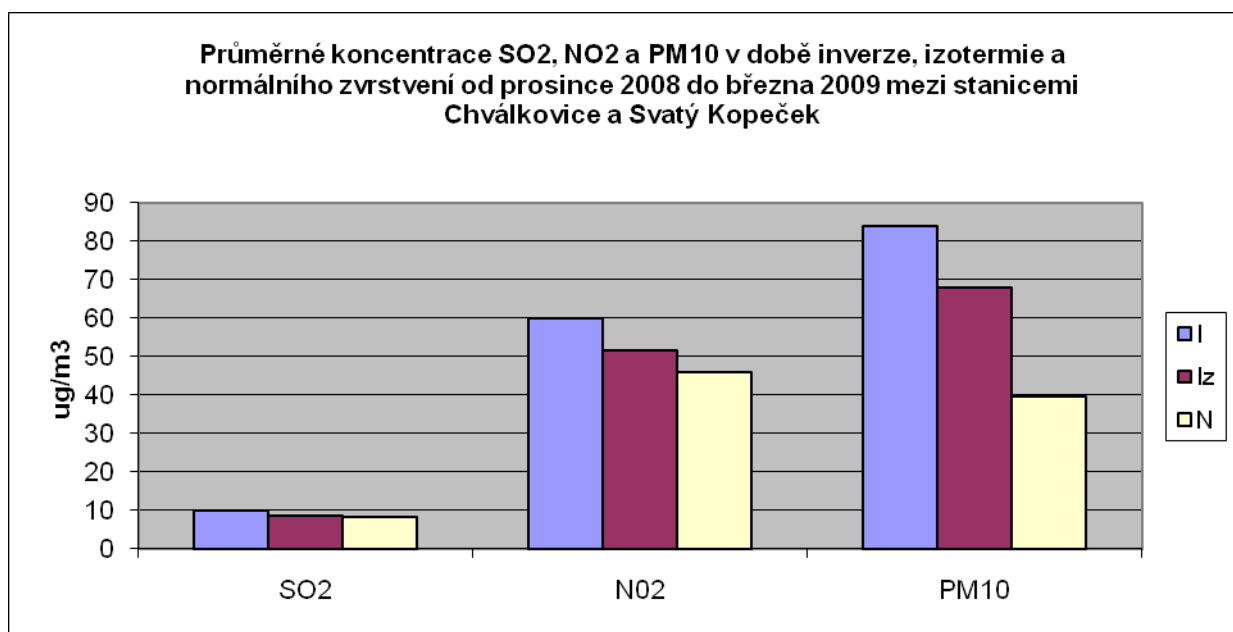
Obr. 36



Obr. 37

(I = teplotní inverze, Iz = izotermie, N = normální zvrstvení atmosféry)

Na grafu z obrázku 38 jsou vidět průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček a to v zimní sezóně 2008/2009. Z grafu je patrné, že průměrné koncentrace všech škodlivin byly nejvyšší v době inverze a to 9,85 µg/m³ v případě SO₂, 59,96 u NO₂ µg/m³ a 83,79 µg/m³ u PM₁₀. Nejnižší koncentrace nastaly v době normálního zvrstvení atmosféry SO₂ 8,24 µg/m³, NO₂ 45,98 µg/m³ a PM₁₀ 39,68 µg/m³.



Obr. 38

Grafy na obrázcích 39, 40, 41 a 42 znázorňují průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček a to v jednotlivých měsících sledované chladné části roku 2008/2009.

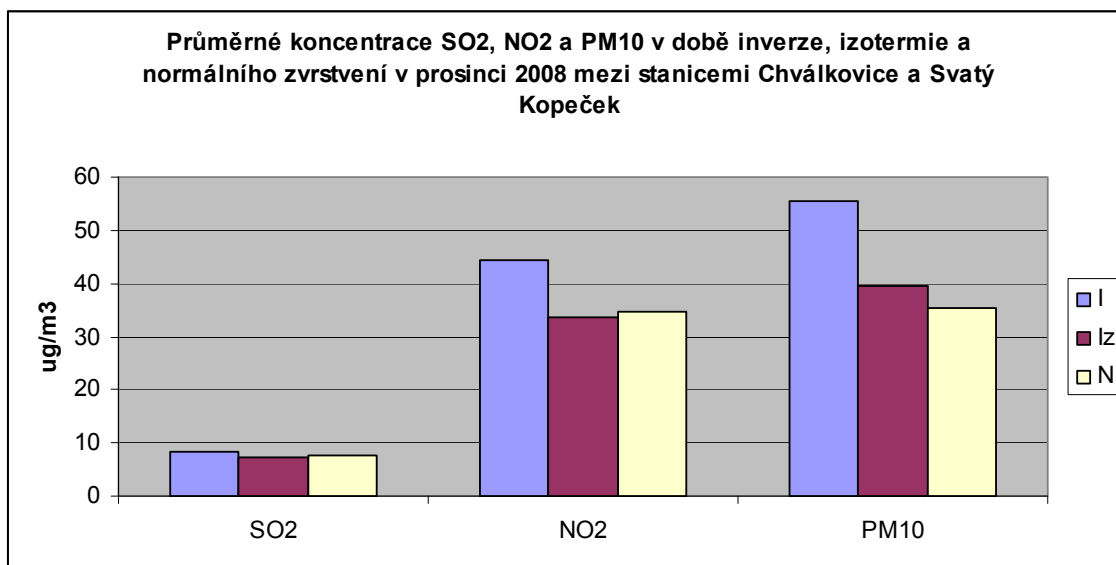
V prosinci byly průměrné koncentrace všech škodlivin nejvyšší v době inverze a to 8,24 µg/m³ v případě SO₂, 44,27 u NO₂ µg/m³ a 55,5 µg/m³ u PM₁₀. Nejnižší koncentrace nastaly v případě SO₂ 7,21 µg/m³ a NO₂ 33,51 µg/m³ v době izotermie a u PM₁₀ 35,21 µg/m³ to bylo v době normálního zvrstvení atmosféry.

Leden byl, co se týče znečištění ovzduší v této sledované sezoně, nejméně příznivý, u všech hodnocených škodlivin se projevily nejvyšší průměrné koncentrace a to v době inverze. A činily SO₂ 11,99 µg/m³, NO₂ 80,43 µg/m³ a PM₁₀ 172,91 µg/m³. V průběhu izotermie nastal mírný pokles těchto hodnot SO₂ 11,98 µg/m³, NO₂ 68,61

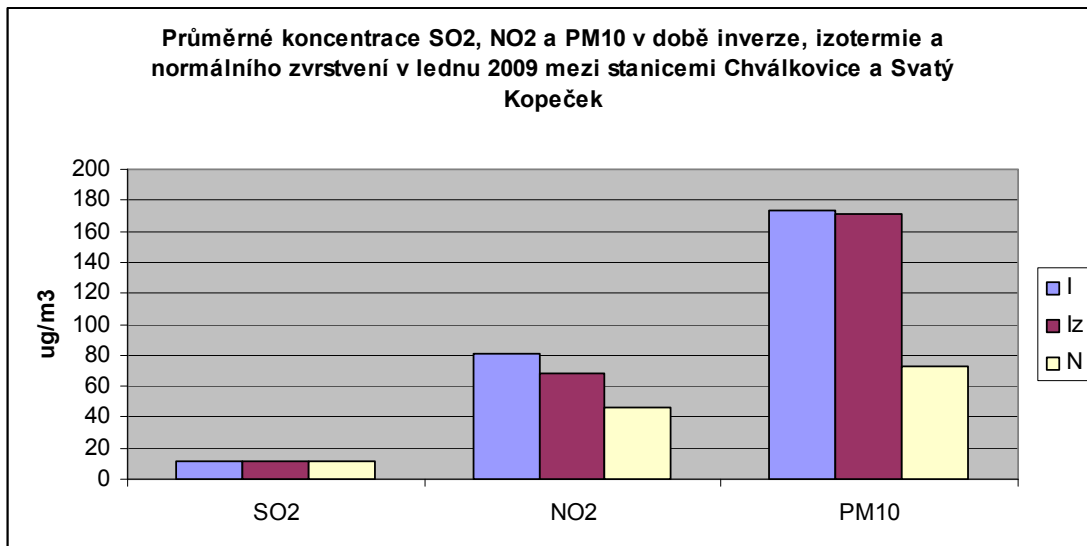
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $171,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V době normálního zvrstvení hodnoty ještě klesly SO_2 $11,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 $45,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $72,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

V únoru se, stejně jako v lednu, průměrné koncentrace SO_2 , NO_2 a PM_{10} postupně snižovaly od nejvyšších v době inverze po nejnižší v době normálního zvrstvení atmosféry. Hodnoty naměřených průměrných koncentrací byly v době inverze SO_2 $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 $56,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $35,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V průběhu izotermie SO_2 $8,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 $56,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $39,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V době normálního zvrstvení atmosféry pak dosahovaly průměrné koncentrace hodnot SO_2 $7,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 $53,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $29,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

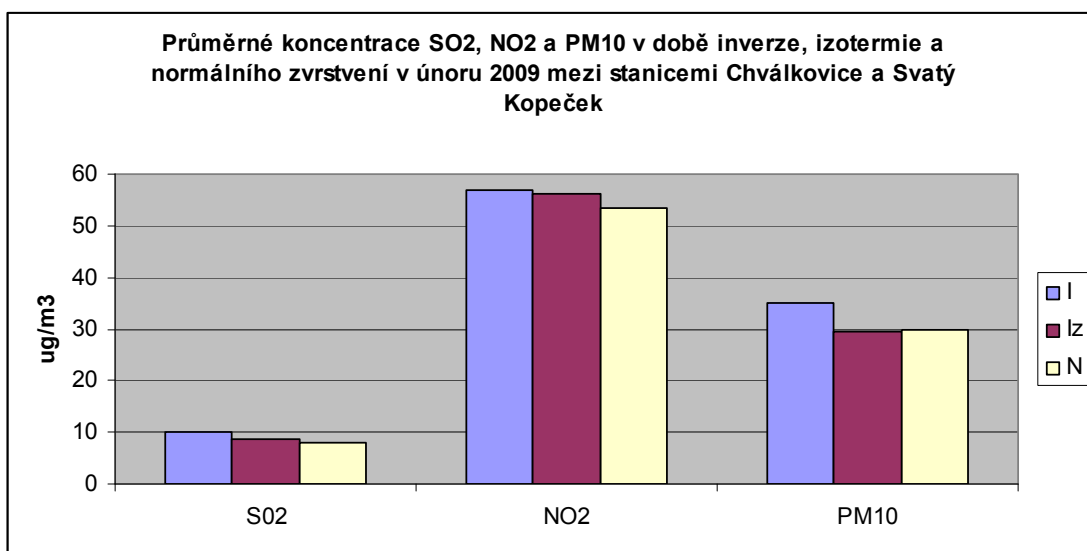
V březnu byly koncentrace SO_2 , ve všech třech sledovaných případech, nejnižší za celou tuto zimní sezonu. A to v době inverze $7,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za izotermie $5,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a v době normálního zvrstvení atmosféry $5,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejvyšší koncentrace NO_2 $52,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} $36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se projeví v době inverze.



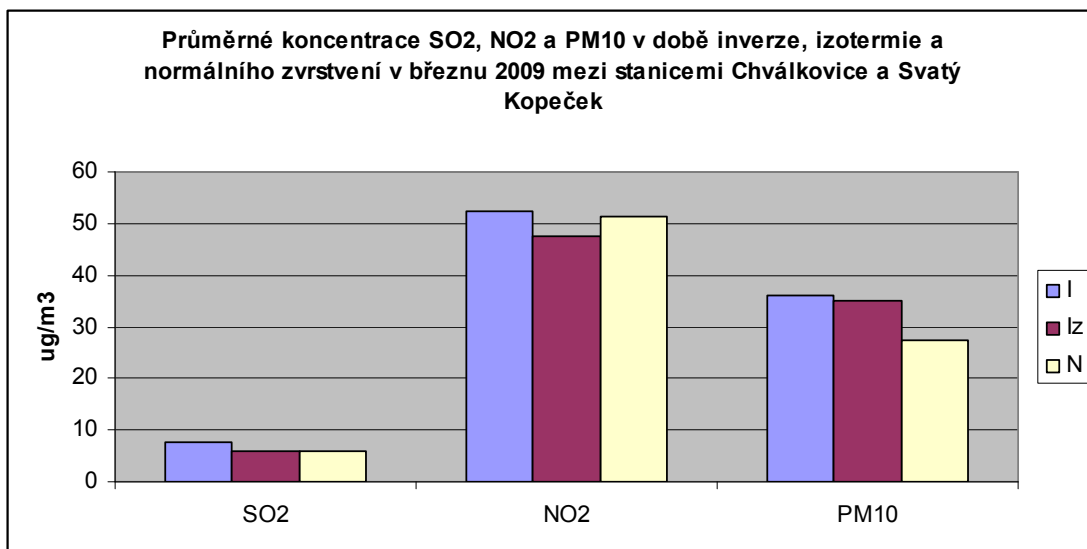
Obr. 38



Obr. 39



Obr. 40



Obr. 41

(I = teplotní inverze, Iz = izotermie, N = normální zvrstvení atmosféry)

4.5 Koncentrace znečišťujících látek u déletrvajících inverzí

V této kapitole jsou zvláště prezentovány průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ u inverzí trvajících alespoň 12 hodin. U krátkodobých inverzí se nepříznivé rozptylové podmínky vyskytují krátce na to, aby se projevilo výraznější zvýšení koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Proto byla zvolena prahová hodnota 12 h, aby bylo možné blíže posoudit efekt zadržování znečišťujících látek v inverzní vrstvou.

Tabulky 8 a 9 obsahují údaje o jednotlivých déletrvajících inverzních epizodách za letní měřicí kampaň 2008 včetně dat o imisních průměrech a maximech. Mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček se vyskytlo takových epizod celkem 14, mezi stanicemi Dominikáni a Svatý Kopeček pouze 9, v obou případech se jedná o příliš nízké číslo pro obecné posouzení statistické závislosti délky inverze na vzrůstu koncentrací. Z toho důvodu jsou také prezentovány pouze samostatně. Žádná z inverzí za hodnocenou sezónu květen-září nepřesáhla trvání 24 h.

Tab. 8 Průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v době alespoň 12h inverzí mezi stanicemi Klášterní Hradisko a Svatý Kopeček v květnu až září 2008

| délka inverze | průměrná koncentrace | | | maximální koncentrace | | |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ |
| 12 hod 10 min | 3,0 | 31,9 | 18,1 | 3,5 | 45,0 | 25,0 |
| 12 hod 10 min | 3,1 | 53,9 | 28,5 | 3,5 | 69,5 | 87,0 |
| 12 hod 40 min | 3,0 | 53,8 | 52,3 | 4,0 | 93,0 | 56,0 |
| 12 hod 50 min | 12,3 | 39,2 | 42,7 | 17,5 | 62,5 | 87,0 |
| 13 hod 10 min | 3,3 | 32,0 | 29,4 | 4,5 | 43,5 | 59,0 |
| 13 hod 20 min | 3,0 | 43,4 | 29,5 | 4,0 | 55,5 | 48,5 |
| 13 hod 40 min | 4,1 | 39,1 | 57,4 | 5,0 | 61,5 | 75,0 |
| 14 hod 30 min | 11,6 | 39,3 | 41,4 | 18,0 | 65,5 | 80,0 |
| 14 hod 40 min | 15,9 | 30,8 | 61,2 | 18,5 | 50,0 | 93,0 |
| 14 hod 50 min | 3,0 | 47,5 | 49,6 | 3,5 | 71,0 | 87,0 |
| 14 hod 50 min | 14,1 | 49,5 | 20,1 | 28,0 | 64,5 | 53,0 |
| 16 hod 10 min | 11,4 | 35,9 | 56,1 | 20,0 | 57,5 | 95,5 |
| 17 hod 0 min | 4,3 | 39,9 | 66,1 | 7,5 | 90,5 | 90,0 |
| 17 hod 10 min | 11,4 | 28,4 | 39,8 | 19,5 | 57,5 | 68,5 |

Tab. 9 Průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v době alespoň 12h inverzí mezi stanicemi Dominikáni a Svatý Kopeček v květnu až září 2008

| délka inverze | průměrná koncentrace | | | maximální koncentrace | | |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ |
| 12 hod 10 min | 3,0 | 57,4 | 52,0 | 4,0 | 93,0 | 56,0 |
| 13 hod 10 min | 13,9 | 15,5 | 53,5 | 20,0 | 31,5 | 63,0 |
| 13 hod 10 min | 4,1 | 39,9 | 58,6 | 5,0 | 61,5 | 75,0 |
| 13 hod 10 min | 15,6 | 36,3 | 88,5 | 24,5 | 53,0 | 110,0 |
| 13 hod 50 min | 15,6 | 29,9 | 70,6 | 22,5 | 58,0 | 101,0 |
| 14 hod 30 min | 10,7 | 22,4 | 56,1 | 12,5 | 57,5 | 72,0 |
| 14 hod 30 min | 3,0 | 55,9 | 38,8 | 3,5 | 72,5 | 111,0 |
| 16 hod 30 min | 10,6 | 43,3 | 74,0 | 18,0 | 61,5 | 109,0 |
| 16 hod 50 min | 4,3 | 39,9 | 66,1 | 7,5 | 90,5 | 90,0 |

Tabulky 10 a 11 obsahují údaje o jednotlivých déletrvajících inverzních epizodách za zimní měřicí kampaně 2007/2008 a 2008/2009 mezi lokalitami Chvátkovice a Klášterní Hradisko, opět včetně dat o imisních průměrech a maximech ze stanice Olomouc-Velkomoravská.

V zimní měřicí kampani 2007/2008 bylo identifikováno 10 inverzí trvajících déle než 12 h, v zimní měřicí kampani 2008/2009 pak 13 takových inverzí. Celkový počet těchto epizod tedy není výrazně odlišný od letní kampaně 2008, obecně delší jsou však dosažené doby trvání ve dvou případech za období zimy 2008/2009 překročily délku 30 h). Zejména v zimním období 2008/2009 se pak vyskytly případy velmi vysokých průměrných koncentrací prашného aerosolu PM₁₀.

V případě pokračování teplotních měření v topoklimatické staniční síti v následujících letech by bylo zajímavé provést toto hodnocení za delší období a zhodnotit na obsáhlejší datovém souboru závislost koncentrací škodlivin v ovzduší na délce trvání inverzí (je třeba počítat s poměrně značnou meziroční variabilitou výskytu déletrvajících inverzí).

Tab. 10 Průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v době alespoň 12h inverzí mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček od ledna do března 2008

| délka inverze | průměrná koncentrace | | | maximální koncentrace | | |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ |
| 12,5 hod | 17,2 | 37,8 | . | 18,5 | 49,0 | . |
| 13,0 hod | 53,1 | 53,9 | 79,5 | 82,5 | 58,0 | 98,0 |
| 14,0 hod | 12,3 | 39,0 | 73,7 | 16,0 | 67,5 | 120,0 |
| 14,5 hod | 11,0 | 43,8 | 48,8 | 13,5 | 87,0 | 106,0 |
| 15,5 hod | 11,1 | 26,3 | 21,0 | 12,0 | 37,0 | 50,0 |
| 15,5 hod | 12,6 | 26,7 | 33,9 | 14,5 | 40,5 | 95,0 |
| 16,0 hod | 10,5 | 27,9 | 17,2 | 11,5 | 41,5 | 47,0 |
| 17,5 hod | 18,3 | 53,8 | 37,3 | 20,5 | 62,0 | 48,0 |
| 21,5 hod | 19,9 | 49,9 | 40,3 | 21,0 | 69,0 | 47,5 |
| 23,5 hod | 20,9 | 45,8 | 52,7 | 27,5 | 66,0 | 80,5 |

Tab. 11 Průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v době inverze mezi stanicemi Chválkovice a Svatý Kopeček od prosince 2008 do března 2009

| délka inverze | průměrná koncentrace | | | maximální koncentrace | | |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | PM ₁₀ |
| 12,5 hod | 11,8 | 58,5 | 84,3 | 16,5 | 88,0 | 124,0 |
| 13,0 hod | 7,9 | 58,1 | 54,9 | 15,0 | 74,5 | 53,0 |
| 13,5 hod | 19,4 | 100,7 | 228,8 | 26,0 | 107,5 | 400,0 |
| 14,0 hod | 8,7 | 44,8 | 61,2 | 10,0 | 62,0 | 78,0 |
| 15,5 hod | 16,1 | 60,4 | 40,0 | 18,5 | 77,0 | 56,0 |
| 16,0 hod | 14,4 | 62,1 | 43,0 | 15,5 | 127,0 | 59,0 |
| 16,5 hod | 7,6 | 54,7 | 39,8 | 9,5 | 70,5 | 48,0 |
| 16,5 hod | 9,1 | 78,9 | 123,8 | 12,5 | 118,0 | 168,0 |
| 17,0 hod | 9,5 | 48,4 | 93,8 | 15,5 | 70,0 | 128,0 |
| 17,0 hod | 8,7 | 54,1 | 73,5 | 12,0 | 90,0 | 122,0 |
| 23,0 hod | 13,9 | 111,5 | 228,7 | 17,5 | 150,5 | 400,0 |
| 32,0 hod | 13,9 | 102,8 | 265,4 | 18,0 | 161,0 | 400,0 |
| 35,0 hod | 8,2 | 52,6 | 37,0 | 30,0 | 78,0 | 55,0 |

5 Závěr

Teplotní inverze a jejich vliv na kvalitu ovzduší v Olomouci byly hodnoceny v jedné teplé části roku 2008 a to od 1. května do 30. září a ve dvou chladných úsecích roků. První trvalo od 22. 12. 2007 do 26. 3. 2008, s tím že mezi 21. lednem a 16. únorem nebyla z technických důvodů data zaznamenána. Druhé období trvalo od 4. 12. 2008 a skončilo 16. 3. 2009, toto měření probíhalo nepřetržitě.

Při analýze průběhu teplotních inverzí bylo zjištěno, že v teplé části roku se inverze vyskytly v 68 % dnů, v období 2007/2008 v 82,6% dnů a v období 2008/2009 v 80,6% dnů. Nejvyšší výskyt teplotních inverzí byl v měsíci květen 2008, červen 2008, leden 2008 a únor 2009. Naopak nejmenší výskyt inverzí byl zjištěn v měsíci prosinci 2007, září 2008 a lednu 2009.

Při hodnocení trvání a doby výskytu teplotních inverzí bylo podle očekávání zjištěno, že v teplé části roku se inverze nejčastěji vyskytovaly v nočních a ranních hodinách. Zatím co v chladných částech roku, se kromě ranních a dopoledních hodin, začaly inverze projevovat více v odpoledních hodinách. Od června do srpna 2008 převažovaly inverze kratšího trvání mezi jednou až čtyřmi hodinami. V měsíci září se trvání inverzí začalo prodlužovat, téměř v polovině případů trvala inverze 8 až 12 hodin. Ve sledovaných zimních obdobích sice také převažovaly kratší inverze, ale jejich podíl nebyl tak vysoký. Nejdéle trvající inverze se vyskytla od 20:30 28. 2. 2009 do 8:00 2. 3. 2009 a trvala tedy 35 hodin 30 minut.

Analýza četnosti synoptických situací v době inverze ukázala, že v teplé části roku se nejčastěji vyskytla severovýchodní anticyklonální situace, zatím co v chladné části 2007/2008 západní cyklonální situace.

Z analýzy průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ za jednotlivé sezóny bylo podle očekávání zjištěno, že jak v teplé části roku tak v zimních obdobích byla nejvyšší koncentrace všech sledovaných škodlivin v době inverze. U měsíčních hodnot průměrných koncentrací SO₂, NO₂ a PM₁₀ už byly výsledky různorodé.

6 Shrnutí

Práce byla zaměřena na vyhodnocení teplotních inverzí a jejich vlivu na kvalitu ovzduší v Olomouci z dat o teplotách vzduchu neměřených v účelové měřicí síti provozované katedrou geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci. A z imisních dat z oboru životního prostředí Magistrátu města Olomouce. Vzorky pro tato data byly naměřeny dopravním typem měřicí stanice Olomouc – Velkomoravská. Data prošla verifikací a dalším zpracováním.

Výsledky jsou pro lepší přehlednost zpracovány do grafů a tabulek.

Těžištěm práce bylo zpracovat dostupná údaje za dvě zimní období 2007/2008 a 2008/2009 a jednu teplou část roku 2008. A poté zhodnotit a okomentovat průběh inverzí, trvání a dobu výskytu inverzí, meteorologické podmínky v době výskytu inverzí se zaměřením a synoptické situace. A také průměrné koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v době inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry, průměrné a maximální koncentrace těchto škodlivin v době inverze. Množství výsledných grafů dokumentuje, že v teplé části roku byla největší četnost inverzí v měsíci květnu a v chladných částech roku v lednu. Za celou letní sezónu byla četnost inverzí kolem 21 %, v zimní sezóně 2007/2008 potom 26,6 % a v sezóně 2008/2009 28,5 %. V letních měsících měly inverze kratší trvání mezi jednou až třemi hodinami a vyskytovaly se nejčastěji v nočních a ranních hodinách. Teprve v září se začalo trvání teplotních inverzí prodlužovat. V zimních sezónách se vyskytovalo více déle trvajících inverzí a také se projevovaly častěji v odpoledních hodinách. V teplé části roku se v době inverze nejčastěji vyskytla severovýchodní anticyklonální situace. Zatím co v chladné části roku převažovala v době inverze západní cyklonální situace.

Co se týče vlivu inverzí na kvalitu ovzduší v Olomouci z výsledků nelze jednoznačně říct, že inverze mají na kvalitu ovzduší zásadní vliv. A to hlavně proto, že v případě výskytu teplotních inverzí v Olomouci neměli inverze příliš dlouhého trvání. Hlavně v případě škodlivin SO₂ nebyl rozdíl v koncentraci během inverze, izotermie a normálního zvrstvení atmosféry příliš velký. Zatím co v případě znečištění polétavý prachem se rozdíl koncentrace během inverze a normálního zvrstvení projevil mnohem více. Průměrné a maximální koncentrace SO₂, NO₂ a PM₁₀ v průběhu déle trvajících inverzí, byly ve většině případů vyšší, než v době normálního zvrstvení atmosféry.

7 Summary

This work was focused on assessment of temperature inversion and its influence on air pollution quality in Olomouc from databasis of temperatures that were measured by effective measure network which is run by geographical department of Science fakulty at University of Palacky in Olomouc. Data were also taken from imision databasis at Department of environment of town council Olomouc city. Samples for this data were measured by traffic type of measuring station Olomouc-Velkomoravská and subsequently passed through data verification and next processing. Results are for better lucidity processed to the graphs.

Crux of this work was procesing of free data in two winter seasons 2007/2008 and 2008/2009 and one warm part of year 2008. And then evaluate and comment on continuance of inversions, its progress and time of appearance, meteorological conditions in time of inversion appearance with focus on synoptic situations. And also average concentrations of SO₂, NO₂ and PM₁₀ at the time of inversion, izotermics and normal stratification of atmosphere, average and maximum concentration of pollution at the time of inversion. Amount of consequent graphs documents that in warm part of the year there was highest frequency of inversion in May and in cold part of the year in January. In whole summer seasons was frequency of inversions about 21%, in winter seasons 2007/2008 about 26,6% and in seasons 2008/2009 28,5%. In summer months the inversions lasted shorter between one and three hours and they occur more often in night and early morning hours. In September the temperature inversions started to last Langer. In winter seasons there were more long lasting inversions and they appeared more in afternoon hours. In warm part of the year there was quite often northeast anticyclonic situation. In winter season there was predominating west cyclonic situation at the time of inversion.

Concerning the influence of inversion on air quality in Olomouc we cannot say that it is very obvious because the inversions here lasted only short time. Mainly in example with toxic substances of SO₂ was the difference between inversion, izotermie and normal stratification of atmosphere quite low. But in the example of dust pollution was difference between inversion and normal situation high. Average and maximum concentrations of SO₂, NO₂ and PM₁₀ were usually higher at the time of long-lasting inversions than in normal stratification of atmosphere.

8 Seznam použité literatury

Tištěné prameny

- Bednář, J., Zikmunda, O. (1985): *Fyzika mezní vrstvy atmosféry*. Praha: Academia. 245 s.
- Blandford, R. et al. (2008): Seasonal and Synoptic Variations in Near-Surface Air Temperature Lapse Rates in a Mountainous Basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, leden 2008, s. 249–261.
- Coufal, L. (1973) *Klimatologické hodnocení mezní vrstvy atmosféry*. In: Sborník prací HMÚ Praha, sv. 19, s. 81-129.
- Daly, Ch. et al. (2007): High-Resolution Spatial Modeling of Daily Weather Elements for a Catchment in the Oregon Cascade Mountains, United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, říjen 2007, s. 1565-1586.
- Demek, J. (ed.) et al. (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR – Hory a nížiny*. Praha: Academia. 574 s.
- Holý, D. (1988): Teplotní inverze na severních a jižních svazích Nízkých Tater v oblasti Chopoka. *Meteorologické zprávy*, 1988.
- Janhäll, S. (2006): Evolution of the urban aerosol during winter temperature inversion episodes. *Atmospheric Environment*, č. 40, s. 5355–5366.
- Kaličinská, J. (2006): *Monitorování životního prostředí*. Ostrava: Pavel Klouda. 88 s.
- Kerminen, V. (2007): Development of particle number size distribution near a major road in Helsinki during an episodic inversion situation. *Atmospheric Environment*, č. 41, s. 1759–1767.
- Kossomenose, P. a Koletsise, I. (2005): Seasonal variation of the temperature inversions over Athens, Greece. *International Journal of Climatology*, 2005, č. 25, s. 1651–1663.
- Marth (2006): Variation of Surface Air Temperature in Complex Terrain, Model Parameters. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45, listopad 2006, s. 1481–1493.

- Milionis, A. E. a Davies, T. D. (2008) The effect of the prevailing weather on the statistics of atmospheric temperature inversions. *International Journal of Climatology*, 2008, č. 28, s. 1385–1397.
- Prošek, P., Rein, F. (1982): *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry* (skriptum). Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 237 s.
- Pudasainee, D. et al. (2006): Ground level ozone concentrations and its association with NO_x and meteorological parameters in Kathmandu valley, Nepal. *Atmospheric Environment*, č. 40, s. 8081–8087.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica* 16. Brno: GgÚ ČSAV.
- Rein, F. (1971) Znečištění ovzduší a mezní vrstva atmosféry z hlediska klimatologie. *Meteorologické zprávy* 25, č. 3-4, s. 74-79.
- Ryozo, O. (2007): Recent development of assessment tools for urban climate and heat-island investigation especially based on experiences in Japan. *International Journal of Climatology*, 2007, č. 27, s. 1919–1930.
- Silva, P. et al. (2007): Fine particle concentrations and composition during wintertime inversions in Logan, Utah, USA. *Atmospheric Environment*, č. 41, s. 5410–5422.
- Sobišek, B. et al. (1993): *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Academia. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.
- Tito, M. (2007): Application of MM5 and CAMx4 to local scale dispersion of particulate matter for the city of Christchurch, New Zealand. *Atmospheric Environment*, č. 41, s. 327–338.
- Tolasz, R. et al. (2007) Atlas podnebí Česka / Climate Atlas of Czechia. Praha: Český hydrometeorologický ústav, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), ISBN 978-80-244-1626-7 (UP).
- Trusilova, K. a Jung, M. (2008): Urbanization Impacts on the Climate in Europe: Numerical Experiments by the PSU–NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, květen 2008 s. 1442–1455.
- Vlček, V. (ed) at al.: *Zeměpisný lexikon – Vodní toky a nádrže*. Academia, Praha 1984, 315 s.

Vysoudil, M. (2004): *Meteorologie a klimatologie* (skriptum). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 284 s. ISBN 80-244-0875-9.

Whiteman, D. a Zhong, S. (2008): Downslope Flows on a Low-Angle Slope and Their Interactions with Valley Inversions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, červen 2008, s. 2023–2038.

Zoumakis, N. M. a Efstathiou, G. A. (2006): Parameterization of Inversion Breakup in Idealized Valleys. Part I: The Adjustable Model Parameters. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45, duben 2006, s. 600–608.

Zoumakis, N. M. a Efstathiou, G. A. (2006): Parameterization of Inversion Breakup in Idealized Valleys. Part II: Thermodynamic Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45, č. duben 2006 s. 609–623.

Elektronické prameny

CENIA (2008): *Česká informační agentura pro životní prostředí* (on-line) © 2008 [cit. 2009-03-30] Dostupné z: (www.cenia.cz)

ČHMÚ (2009a): *Typizace synoptických typů* (on-line) [cit. 2009-04-08]. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html>>

ČHMÚ (2009b): *Informace o klimatu* (on-line) [cit. 2009-06-10]. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz/meteo/ok/infklim.html>>

ČHMÚ (2009c): *Úsek ochrany čistoty ovzduší ČHMÚ* (on-line). [cit. 2009-03-01] Dostupné z: <http://www.chmu.cz/uoco/oco_main.html>

Krajský úřad Olomouckého kraje (2004): *Integrovaný program snižování emisí a imisí znečišťujících látek v ovzduší Olomouckého kraje* (on-line) [cit. 2009-04-09]. Dostupné z: <<http://www.kr-olomoucky.cz/OlomouckyKraj/Životní+prostředí+a+zemědělství/Ochrana+ovzduší/>>

Maršák, J. et al. (2005): *Příručka pro ohlašování do IRZ – I. díl, 3. přepracované vydání* (on-line) [cit. 2009-03-31]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. Dostupné z: <http://www.irz.cz/repository/irz_prirucka_1.pdf>

Portál veřejné správy ČR (on-line) © 2003 [cit. 2009-07-12]

Dostupné z:

<http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701/.cmd/ad/.c/313/.ce/10821/.p/8411/_s.155/701?PC_8411_number1=597/2006&PC_8411_l=597/2006&PC_8411_pi=0&PC_8411_ps=25&>

Pudelová, J. (2008): *Kvalita ovzduší a zodpovědnost jednotlivce* (on-line) [cit. 2009-04-10]. Dostupné z: <<http://www.olomouc.eu/phprs/view.php?cislocclanku=2008101701>>