

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav agrosystémů a bioklimatologie

Vyhodnocení chodu oxidu siřičitého v areálu BZA MZLU v Brně za období
1996 až 2006

Bakalářská práce

2009 / 2010

Jan Ondruška

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Vyhodnocení chodu oxidu siřičitého v areálu BZA MZLU v Brně za období 1996 až 2006” zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora MENDELU v Brně o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne 30.4.2010

podpis studenta

Děkuji prof. Ing. Zdeňku Žaludovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a ochotu při odborném vedení. Dále děkuji všem, kteří mi umožnili získat materiály a poznatky pro vypracování této bakalářské práce.

Jméno posluchače : Jan Ondruška

Název bakalářské práce : Vyhodnocení chodu oxidu siřičitého v areálu BZA MZLU v Brně za období 1996 až 2006.

Abstrakt :

Bakalářská práce se zabývá změnami koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší v aglomeraci Brno na stanici MENDELU BZA v období 1996 – 2006. V úvodu tato bakalářská práce popisuje vlastnosti atmosféry, obecné pojmy jako jsou emise, imise a transmise dále se zabývá fyzikálně – chemickými vlastnostmi oxidu siřičitého. V neposlední řadě se tato práce v obecné rovině zabývá rozptylem emisí, směrnici EU v ochraně ovzduší a legislativou České republiky o ochraně ovzduší, kde jsou vypsány zákony, které se problematikou znečištění ovzduší zabývají.

V praktické části se tato bakalářská práce zabývá metodikou a zpracováním dat a následně vyhodnocení získaných dat na stanici Brno – Arboretum. Výsledky jsem vyhodnocoval pro celé období tedy od roku 1996 do roku 2006. Tyto data jsou srovnány ze stanicemi Českého hydrometeorologického ústavu konkrétně ze stanic Brno – Soběšice, Brno – Kroftova, Brno – Tuřany.

Výstupem jsou spojnicové grafy proložené vývojovými trendy, které se zabývají dny v týdnu, měsíci v roce a v neposlední řadě koncentrací oxidu siřičitého v daných letech v denním kroku v závislosti na teplotě.

Klíčová slova : oxid siřičitý, emise, transmise, imise, ovzduší, imisní limity

Name of listener: Jan Ondruška

Name of bachelor work: The evaluation movement of sulphure dioxide in area BZA MZLU in Brno in the period between 1996 and 2006.

Abstract:

This bachelor task deals with the changes in concentrations of carbon dioxide in the atmosphere in the station Brno agglomeration MENDELU BZA between 1996 - 2006. In the introduction, this bachelor thesis describes the characteristics of the atmosphere, the general concepts such as emissions, pollutants and discusses the transmission physico - chemical properties of carbon dioxide. Finally, this work generally deals with the dispersion of emissions, the EU directives on the protection of air and Czech legislation on air protection, which are listed the laws that deal with air pollution problems.

In the practical part of this bachelor thesis deals with the methodology and data processing and subsequent evaluation of the data obtained at the station Brno – Arboretum. I evaluated the results for the entire period is from 1996 to 2006. These data are compared from the stations of Czech Hydrometeorological Institute, particularly from stations in Brno - Soběšice, Brno - Kroftova, Brno – Tuřany.

The output line charts are interspersed with developments that involved days of the week, month of the year and the last but not least of the years the concentration of carbon dioxide in daily step depending on temperature.

Key words: sulphure dioxide, air pollution, transmission shafting, pollutants, atmosphere, immission standard

Kapitola	Strana
1. Úvod	7
2. Literární přehled	9
2.1. Vymezení základních pojmů:	9
2.1.1. Atmosféra	9
2.1.2. Atmosférický vzduch	10
2.1.3. Příměsi	10
2.1.4. Členění atmosféry	10
2.2. Emise	12
2.2.2. Emisní limity (El)	12
2.2.3. Mez tolerance	14
2.3. Imise	14
2.3.1 Měření imisí	14
2.3.2. Imisní limit	15
2.3.3. Požadavky a postup hodnocení zón a aglomerací	16
2.3.4. Stanovení případů překročení horních a dolních mezí pro posuzování	16
2.4. Transmise	16
2.5. Informační systém kvality ovzduší (ISKO)	17
2.5.1. Látky znečišťující ovzduší	17
2.5.2. Zdroje a charakter znečištění podle jeho původu	18
2.5.3. Registr emisí zdroje znečištění ovzduší	21
2.6. Rozptyl emisí	22
2.6.1. Parametry zdroje	22
2.6.2. Vlastnosti emisí	22
2.6.3. Meteorologické faktory	23
2.6.4. Vliv zemského povrchu	23
2.7. Fyzikální – chemické vlastnosti oxidu siřičitého	24
2.8. Účinky zvýšené koncentrace oxidu siřičitého	25
2.8.1. Dopady na lidské zdraví	25
2.8.2. Vliv na půdu	26
2.8.3. Účinky na vegetaci	27
2.8.4. Synergické efekty oxidu siřičitého s dusíkatými sloučeninami (NO _x)	27
2.9. Směrnice EU v ochraně ovzduší	28
2.9.1. Legislativa České republiky o ochraně ovzduší	28
3. Cíl práce	30
4. Metodika a zpracování dat	31
4.1. Stacionární stanice v BZA Brno	32
5. Výsledky práce	34
5.1. Vyhodnocení dnů a srovnání s jinými stanicemi	34
5.2. Vyhodnocení chodu SO₂ v jednotlivých měsících	37
5.2.1 Hodnocení chodu SO ₂ v měsících za roky 1996 až 2006 na stanici Arboretum	40
5.3. Vyhodnocení ročního chodu oxidu siřičitého za období 1996 – 2006	48
5.3.1. Hodnocení chodu SO ₂ po letech	49
5.4. Diskuze	55
5.4.1. Zhodnocení dnů v týdnu	55
5.4.2. Zhodnocení měsíců v roce	56

5.4.3. Zhodnocení roků	57
6. Závěr	58
7. Seznam literatury	59
Legislativa využitá v textu	61
Internetové Odkazy	61
Seznam tabulek	62
Seznam obrázků	63
Přílohy	64

1. Úvod

Znečištění ovzduší lze označit jak za regionální tak i globální problem. . Vzhledem k antropogennímu podílu se největší zdroje emisí nachází většinou v blízkosti velkých aglomerací a nejvyšší imisní zatížení se často shoduje s nejvyšší hustotou osídlení.

Látky znečišťující ovzduší se dělí na dvě základní skupiny. K první skupině patří látky vznikající přirozenou cestou, které atmosféru doprovázejí už od jejího počátku. Další skupinou jsou antropogenní škodliviny, vznikající lidskou činností. Mezi nejvýznamnější a současně nejdéle sledované lze zařadit oxid siřičitý, jehož vyhodnocení na stanici Botanická zahrada – Arboretum patřící Mendelově univerzitě v Brně je předmětem mé diplomové práce.

Antropogenní emise oxidů síry do atmosféry souvisí s industrializací lidské společnosti. Již ve středověku lze najít záznamy, konkrétně ve velkých evropských městech, související s problematikou zhoršení kvality ovzduší. Znatelný nárůst emisí SO₂ a jiných znečišťujících látek byl však pozorován a detailněji zaznamenán až ve 19. století. Ve 20. století už docházelo k řadě smogovým situacím, při kterých zemřelo tisíce lidí. Známá je situace z Londýna. Podle které se tento smog začal nazývat Londýnský smog tzv. redukční smog, jehož podstatou je výskyt mlhy společně s vysokými koncentracemi produktů spalování za inverzních situacích

Tento typ smogu se v České republice začal objevovat 70. a 80. letech a to především v důsledku rozvoje těžby a spalování uhlí. Tato situace trvala až do roku 1989. Po tomto roce dochází výraznému pozitivnímu vývoji a k celkovému zlepšení situace, za které mohou především rozsáhlé investice do ekologických opatření, změna technologií v průmyslu nebo uzavírání a plnění dohod směřujících k ochraně životního prostředí a atmosféry.

Dnes v České republice dohlíží na kvalitu ovzduší hlavně Český hydrometeorologický ústav (CHMI), který obsluhuje jak automatický imisní monitoring (AIM) tak i manuální imisní monitoring společně s mnoha dalšími institucemi, které se zabývají kvalitou ovzduší. V Brně se problematikou kvality ovzduší zabývá již zmiňovaný (CHMI), dále Magistrát města Brna – Odbor životního prostředí (MMB - OŽP) a také zdravotní ústav v Brně (ZÚ). Tyto instituce společně tvoří tzv. Informační systém kvality ovzduší (ISKO).

Moje práce vyhodnocuje chod oxidu siřičitého v areálu BZA MZLU v Brně za období 1996 – 2006. V obecné-literární rovině se zabývám i fyzikálními a chemickými vlastnostmi oxidu siřičitého, imisemi, emisemi, jejím limitům, zdrojům znečištění aj. V druhé praktické části vyhodnocuji znečištění ovzduší oxidem siřičitým v závislosti na meteorologických a

klimatických podmínkách na dané stanici Arboretum a tyto údaje srovnávám s vybranými stanicemi v městě Brně.

2. Literární přehled

2.1. Vymezení základních pojmů:

2.1.1. Atmosféra

Název je odvozen z řeckého slova (*atmos* = pára, *sphaira* = koule) a jedná se o plynný obal Země, který se účastní její denní a roční rotace a jehož chemické složení se v průběhu geologických období měnilo a mění se dodnes.

V současné době se mění složení atmosféry lidskou činností. Je pozorována zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého (např. Legget, 1992) či se v atmosféře objevují plyny nové, které jsou výhradně produktem lidské činnosti jako např. CFC (tzv. freóny). Změna složení může mít závažné dopady na vlastnosti atmosféry jako na ovlivnění její radiační balance (Houghton, 1998) nebo stavu ozónové vrstvy (Kotaška *et al.*, 1994). Celková hmotnost atmosféry je přibližně $5,3 \cdot 10^{18}$ kg. Hustota atmosféry u zemského povrchu činí cca 10^3 g.m^{-2} a s postupnou výškou se snižuje až na hodnotu meziplanetárního prostoru.

Tab.1 Zastoupení plynů v suché a čisté atmosféře při zemském povrchu v objemových a hmotnostních procentech. (Žalud, 2010)

Název plynu	Objemová %	Hmotnostní %	Název plynu	Objemová %	Hmotnostní %
dusík	78,084	75,47	vodík	0,00005	0,001
kyslík	20,948	23,2	oxid dusný	0,00005	
argon	0,934	1,28	xenon	0,000007	0,00003
oxid uhličitý	0,035	0,046	ozon	0,000007	
neon	0,001818	0,0012	oxid dusičitý	0,000002	
helium	0,000524	0,00007	amoniak	minimum	
methan	0,0002		jód	minimum	

2.1.2. Atmosférický vzduch

směs plynů v němž se vznášejí příměsi polydisperzního koloidního systému. S výškou se jeho stáje složky mění málo (Havlíček, 1986).

2.1.3. Příměsi

Atmosféra však obsahuje i složky, které nejsou součástí vzduchu, a které můžeme souhrnně označit jako příměsi. Velmi často se jedná o látky znečišťující, či sekundárně znečišťující. Ovlivňují čistotu vzduchu, chemismus atmosféry, mají vliv na kvalitu životního prostředí, podmiňují tvorbu srážek (působí jako kondenzační jádra), ale mají vliv i na radiční resp. energetickou bilanci. Pro přiblížení jejich popisu je vhodné jejich rozdělení podle skupenství na:

- **Pevné** - Do kterých patří především litometeory (prach, písek, soli NaCl, organické látky jako např. pyl či aeroplankton) a v podstatě i pevné hydrometeory,
- **Kapalné** - Jsou tvořené vodními kapičkami či slabými kyselinami jako např. H_2CO_3 , H_2SO_4 .
- **Plynné** - Jde především o vodní páru (absolutně suchý vzduch v přirozeném prostředí neexistuje objemová koncentrace vodní páry dosahuje 0,2–4 %), molekuly tisíců chemických sloučenin např. SO_2 , HF, oxidy síry, sirovodík, chlór, fluór, oxidy dusíku apod.

Pevné a kapalné příměsi rozptýlené v plynu jsou nazývány **aerosoly**. Mohou být původu přirozeného (pyl, produkty hoření, aeroplankton, prach apod.) nebo antropogenního (chemické sloučeniny, průmyslové částice, výfukové plyny, látky ze zemědělství apod.) (Žalud, 2010).

2.1.4. Členění atmosféry

Atmosférické vrstvy se mohou dělit dle rozdělení teploty:

troposféra
stratosféra
mezosféra
termosféra

Troposféra

(*Tropos – řecky zvrat*) Pro život je troposféra nejdůležitější atmosférická vrstva, protože se dotýká zemského povrchu. Tím jsou ovlivněny i její vlastnosti. Zasahuje do výšek 8 – 18 km, tedy není všude stejná mocná. Nejvyšší mocnost je nad rovníkem 18 km a nejnižší je nad póly, cca 8 km..

Teplota s rostoucí výškou klesá a to dle vertikálního gradientu o 0,65 °C na 100 metrů.

V troposféře se také vyskytují všechny meteorologické jevy a je v ní soustředěny veškeré páry a oblaka.

Důležitý je také fakt, že se v ní nachází cca. 75% hmotnosti atmosféry. Horní hranice troposféry je určena náhlým zlomem teplotní křivky, tam kde pokles teploty končí začíná izotermie, což znamená, že teplota se s výškou nemění.

Za troposférou se nachází kratičká vrstva, která se nazývá tropopauza. Tato vrstva je známá tím, že se teplota nejvíce snižuje o 2°C na 1 kilometr. V České republice se výška tropopauzy pohybuje okolo 10,7 km a teplota je – 57,3°C (Žalud, 2010).

Stratosféra (*stratos - sloha*)

Její mocnost je 10 – 50 km. Stratosféra se vyznačuje svým rozdělením dle teploty (Havlíček, 1986).

- Izotermická vrstva
- Vrstva teplotní inverze

Izotermická vrstva je mocná 10 až 50 km a její teplota se pohybuje od – 50°C do – 69°C. Druhou vrstvou je vrstva teplotní inverze. Tady dochází ke zvýšení teploty až nahorní hranici stratosféry, tam má hodnotu 0°C. Důvodem, proč se teplota roste je přítomnost ozonu (O₃), který pohlcuje UV záření a tím se vrstva zahřívá (Žalud, 2010).

Ve stratosféře se nenachází vodní pára, vznikající na zemském povrchu (Havlíček, 1986).

mezosféra (*mesos – uprostřed*)

Má mocnost 30 km, od 50 – 80 km a je charakterizována postupným snižováním teploty s výškou v dolní hranici 0°C a v horní hranici –90°C. mezosféra je od další vrstvy oddělena mezopauzou (Moldan, 1977).

termosféra

Je vrstvou, ve které rychle roste teplota až po výši 300 km. Tato teplota má hodnotu cca 1500 °C. Dále s rostoucí výškou se teplota nemění. Termosféra je vrstvou nacházející se nad mezosférou a sahá do výšky až 800 km (Moldan, 1977).

2.2. Emise

Emise (z latinského *emittere*) jsou látky znečišťující ovzduší. Jsou důsledkem vypouštění do ovzduší během výrobních či jiných procesů. Maximální koncentraci mají u svého zdroje. Tyto látky mohou být pevné částice, kapalné nebo plynné látky, kde do tuhých emisí patří saze, popílek a prach. Kapalné emise jsou různé aerosoly sloučenin a nakonec do plynných emisí patří oxid uhličitý (CO₂), oxidy síry (SO_x), dusíku (NO_x), fluorovodík (HF), chlorovodík (HCl) a také organické sloučeniny oxidy síry, uhlíku a dusíku. (Dirner 1997). Vyjadřují se v hmotnostních jednotkách za čas.

Je také důležité uvést zdroje emisí, kterými se myslí průmyslová a zemědělská výroba, mobilní zdroje, vytápění tuhými palivy nebo zemním plynem. Ovšem nejdůležitějším součástí jsou spalovací procesy ve kterých dochází k odčerpání kyslíku (Havlíček, 1986).

2.2.2. Emisní limity (EL)

Vyjadřují hodnoty emisí, které určují přípustnou úroveň znečištění. Emisní limity pro stacionární zdroje se dělí na obecné emisní limity a specifické emisní limity. Obecné limity emise můžeme rozdělit do 2 skupin (Vlčková 2008).

Emisní limity pro zvláště velké spalovací zdroje jsou uvedeny ve sbírce zákonů v nařízení vlády č. 146/2007 “O emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší”.

- a) Stanovení limit pro znečišťující látky – tmavost kouře, EI pro pachové látky
- b) Limity pro těkavé organické látky, které jsou klasifikovány jako karcinogenní, mutagenní, toxické pro reprodukci a halogenové.

Specifické emise limity jsou stanoveny pro jednotlivé stacionární zdroje. Tyto zdroje se dále dělí na:

- a) Spalovací stacionární zdroj
- b) Spalovny odpadu
- c) Ostatní stacionární zdroje
- d) Ostatní stacionární zdroje produkující těkavé organické látky z procesů aplikujících organické rozpouštědla nebo skladování a distribuce benzínu.

Dle Quarga (1978) se mohou zdroje SO₂ rozdělit následovně:

1. Přírodní
 - **Sopky**
 - **Ostatní přírodní zdroje** – Tyto zdroje vznikají s oxidací H₂S z hnilobných procesů nebo oxidací sulfidických ložisek
2. Umělé
 - **Průmysl** – pražení sulfidických rud, výroba kyseliny sírové (H₂SO₄) nebo výroba sulfitové celulózy.
 - **Otop z domácností a výroba energie**
Průměrný obsah síry v černém uhlí je cca 1 %, V Českém hnědém uhlí se obsah síry pohybuje v rozmezí 1 – 3 %. Topný olej dle druhu 1 - 3 % síry.
 - **Ostatní umělé zdroje** – Zde můžeme uvést konzervace chmele, vinných a pivních sudů nebo chladič přístroje.

2.2.3. Mez tolerance

Procentuální vyjádření imisního limitu nebo část absolutní hodnoty, o které může být imisní limit překročen. Tato mez tolerance je dána zákonem 483/2008 sb. O Ochráně ovzduší.

2.3. Imise

Látky(emise), které jsou transportovány a následně rozptýlené a chemicky i fyzikálně pozměněné přicházející do styku s okolní přírodou nebo živými organismy. Imise mohou být plynné, kapalné nebo tuhé (Dirner, 1997).

Při měření se zjišťují hodnoty oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusíku (NO_x), oxidu uhelnatého (CO) a dalších látek negativně ovlivňující životní prostředí. Výsledné hodnoty můžou být udány ve váhovém nebo objemovém podílu látky k objemu či hmotnosti vzduchu v němž je látka obsažena.

Míra imisí naměřené na určité lokalitě v daný čas závisí na mnoha faktorech těmi nejdůležitějšími jsou procesy kterými jsou emise v atmosféře podrobeny. Hlavní proces je atmosférický rozptyl při kterém, mu jsou podrobeny nejrůznější složky emise. Je také závislý na meteorologických podmínkách a expozici terénu. Ale za nejnebezpečnější faktor je považována teplotní inverze při které vzniká navrstvení ovzduší následkem teplotní vrstvy. V tomto případě se škodliviny nahromadí pod inverzní vrstvu a nerozptylují se daleko od zdroje (Moldan, 1989). Na rozdíl od emisí se vyjadřují ve váhových jednotkách na objem vzduchu např. v g.m^{-3} .

Imisní hodnocení vychází ze základny Informačního systému kvality ovzduší (ISKO).

2.3.1 Měření imisí

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) zabezpečuje ze zákona provoz celostátní sítě měření znečištění ovzduší v naší republice, jejíž součástí je i automatizovaný imisní monitoring (AIM). Měřicí stanice AIM pracují v nepřetržitém provozu a předávají naměřené údaje v reálném čase do center ČHMÚ.

Na území České republiky pracuje celkem 97 stanic AIM, provozovaných ČHMÚ. Kromě nich jsou do informačního systému zahrnuty i výsledky měření na stanicích dalších organizací. Většina stanic je osazena analyzátory na měření koncentrací oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusnatého, (NO), oxidu dusičitého (NO_2) a prašného aerosolu (PM_{10}), což jsou

pevné částice do velikosti 10 µm. Na menším počtu stanic jsou stanovovány koncentrace ozónu (O₃) a oxidu uhelnatého (CO). Vybrané stanice AIM měří i koncentrace některých těkavých organických látek (benzen, toluen, xylene).

Údaje z měřicích stanic AIM jsou prezentovány v oblastech, které respektují nové správní rozdělení České republiky na 14 krajů. Zobrazovaná data jsou aktualizována každou hodinu, přibližně ve 30. minutě. Veškeré naměřené hodnoty koncentrací jsou pro zobrazení konvertovány na µg.m⁻³.

2.3.2. Imisní limit

Úroveň určená na základě vědeckých poznatků, jejímž cílem je ochránit lidské zdraví venkovním ovzduším. Této hodnoty musí být dosaženo v souladu s předem stanoveným časovým harmonogramem a jakmile jí bude dosaženo, nesmí již dojít k jejímu překročení

Imisní limity SO₂

Nařízení vlády č.597/2006 Sb. O sledování a vyhodnocování kvality ovzduší.

Tab. 2 Imisní limity SO₂ vyhlášené pro ochranu zdraví lidí, přípustné četnosti jejich překročení

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
SO ₂	1 hodina	350 µg.m ⁻³ / 24 ¹⁾
	24 hodin	125 µg.m ⁻³ /3 ¹⁾

Poznámka: 1) Povolený počet překročení za kalendářní rok.

Tab. 3 Imisní limity v SO₂ vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit µg.m ⁻³
SO ₂	kalendářní rok a zimní období (1. října – 31. března)	20 µg.m ⁻³ /24 ¹⁾

Poznámka: 1) Povolený počet překročení za kalendářní rok.

2.3.3. Požadavky a postup hodnocení zón a aglomerací

Tab. 4 Horní a dolní meze pro posuzování SO₂

Imisní limit	Horní mez pro posuzování	Dolní mez pro posuzování
Ochrana zdraví (24-hodinový imisní limit)	75 µg.m ⁻³ / 3 ¹⁾	50 µg.m ⁻³ / 3 ¹⁾
Ochrana ekosystémů	12 µg.m ⁻³	8 µg.m ⁻³

Poznámka: 1) Povolený počet překročení za kalendářní rok.

2.3.4. Stanovení případů překročení horních a dolních mezí pro posuzování

Překročení horní a dolní meze pro posuzování se zjišťuje na základě úrovně znečištění ovzduší během předcházejících pěti let, pokud jsou k dispozici dostatečné údaje. Mez pro posuzování se považuje za překročenou, pokud byla během těchto pěti let překročena nejméně ve třech kalendářních letech.

Pokud je pro některou znečišťující látku k dispozici méně údajů, než za období pěti let určí se překročení horních a dolních prahů posuzování na základě spojení výsledků krátkodobých měřicích kampaní během roku a v místech, která budou pravděpodobně reprezentativní pro nejvyšší úroveň znečištění ovzduší a výsledků získaných z údajů z emisních inventur a modelování (Nařízení vlády č.597/2006 Sb.).

2.4. Transmise

Transmise jsou fyzikálně – chemické procesy probíhající při přenosu (transféru) emisí do ovzduší (Jakrlová, Pelikán 1999).

Typickými transmisemi jsou tzv. smogy. Název pochází z anglického spojení dvou slov *smoke* (kouř) a *fog* (mlha). Existují dva typy tzv. Londýnský Redukční (zimní) smog je označení pro složeninu městského a průmyslového kouře s mlhou, vyskytující se během roku v typických v zimních podmínkách s výraznými přízemními inverzemi teploty vzduchu.

Druhý typ je losangelský (fotochemický nebo letní) smog kde hlavní příčinou je autodoprava a vysoká intenzita přímé radiace a vznik tzv. fotooxidantu vznik peroxyacetylnitrátu (PAN), mezi ně patří i troposferický ozon.

2.5. Informační systém kvality ovzduší (ISKO).

ISKO zahrnuje soustavu dílčích registrů a informačních systémů obsahujících zejména emisní a imisní charakteristiky (mimo malé a mobilní zdroje). Obsahuje rovněž informaci o koncentraci škodlivin v ovzduší a o složení srážkových vod. ISKO provozuje Český hydrometeorologický ústav ve spolupráci s dalšími organizacemi a je hlavním zdrojem údajů o kvalitě ovzduší. (CHMI).

V Brně se aktivně podílejí na měření kvality ovzduší 14 stanic imisního monitoringu spravovaných 3 institucemi. Český hydrometeorologický ústav (CHMI) má ve správě celkem 5 stanic. Dále se na měření kvality ovzduší podílejí Magistrát města Brna - Odbor životního prostředí (MMB - OŽP), která spravuje také 5 stanic a třetím institutem který se zabývá měřením kvalitou ovzduší je Zdravotní ústav se sídlem v Brně (ZÚ). Ten má na starosti celkem 4 stanice.

Tab. 5 Přehled stanic na území města Brna

CHMI	MMB – OŽ	ZÚ
Brno – Kroftova	Brno – arboretum	Brno – Dobrovského
Brno – střed	Brno – Lány	Brno – krasová
Brno – Soběšice	Brno – výstaviště	Brno – Husákova
Brno – Tuřany	Brno – Zvonařka	Brno – Masná
Brno – Úvoz ¹⁾	Brno – Svatoplukova	

Poznámka: 1) (Hot spot) - Pod tímto názvem ČHMÚ se rozumí stanice orientovaná výhradně na dopravu a z toho vyplývající imisní zatížení. Jedná se o lokality splňující kritéria umístění odběrových zařízení zaměřených na dopravu dle nařízení vlády č.597/2006 Sb

2.5.1. Látky znečišťující ovzduší

Tyto látky, které znečišťují ovzduší se mohou dělit do 2 skupin a to na látky které se považují za přirozené a na látky vznikající antropogenně (Tesař, 1974).

Látky vznikající přirozenou cestou provázejí atmosféru od jejího počátku. Jsou to například látky vznikající při tektonické nebo kosmické činnosti, bouřkách, vlnobití nebo jako důsledek lesních požárů aj.

K hlavním zdrojům, které vytvářejí antropogenní látky jsou spalovny odpadu, doprava nebo stavební či hutnický průmysl. Dle Šišky (1981) se antropogenní znečištění dělí na 6 skupin: spalování ve výtopnách, průmyslové procesy, zemědělství a potravinářství, terciální sektor, spalování a likvidace odpadů a v neposlední řadě doprava. Je třeba si uvědomit, že k přírůstu antropogenního znečištění je především zvýšení energetických nároků na obyvatele naší planety. Tato energie se dosud získává ze spalování fosilních paliv, které jsou hlavním faktorem ke znečišťování ovzduší velkým množstvím plynů. Jsou to především oxidy uhlíku, síry a dusíku (Vysoudil, 2002). Hlavní znečišťovatelé a látky, které produkují jsou uvedené v tabulce č. 6

2.5.2. Zdroje a charakter znečištění podle jeho původu.

Hlavní skupinou zdrojů znečišťujících ovzduší představují spalovací procesy fosilních paliv. Tyto skupiny dělíme na stacionární a mobilní. Stacionární zdroje se dále dělí na velké, střední a malé zdroje. Velké zdroje mají charakter bodový, což je například vrchol komínu. Střední a malé zdroje mají charakter plošný, který lze vyložit jako větší počet bodových zdrojů umístěných blízko od sebe. A nakonec mobilní zdroj má liniový charakter. Ten si můžeme představit jako spojitě rozmístěné podél linie např. cesty. toto dělení je uvedeno v zákoně č. 483/2008 Sb., O ochraně ovzduší.

Sledování a vyhodnocování se děje periodicky a to na území celé České republiky. Data získaná z měření zpracovává Český hydrometeorologický ústav. Hlavní sledované látky jsou SO_2 , CO , NO_x , C_xH_x a vybrané látky organické.

Tab. 6 Rozdělení zdrojů znečištění ovzduší

Přírodní zdroje Eroze, sop. činnost, požáry lesů atd.	Umělé zdroje							
	Energetika a teplárny	Stavebnictví a výroba stavebních látek	Hornictví	Hutnictví a koksárny	Chemický průmysl	Doprava	Zemědělství a potravinářství	Ostatní
Produkují tyto znečišťující látky								
Prach a plyny jako SO ₂ , CO ₂ , CO, NO _x , O ₃ , chlorovodík, fluorovodík	Prach a plyny jako SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , HCl	Prach z těžby a tepelného zpracování stavebních látek	Prach, toxické plyny, těžké kovy (magnetit, arzen)	CO ₂ , H ₂ S, CO, H ₂ S ₂	HCl, SO ₃ , CS ₂ , NO ₂ , H ₂ F ₂	Prach, olovo, azbest, škodlivé plyny CO ₂ , CO, NO _x	Organický anorganický prach	prach a radioaktivní látky

Tab.7 Chemické složení znečišťujících látek

Sloučeniny	Znečišťující látka	
Sloučeniny síry	Anorganické	Oxid siřičitý, oxid sírový, celkový obsah oxidů síry, mlha kys. sírové, suma síry, sirovodík, sirouhlík,
	Organické	Metylmerkaptan, dimetylsulfid, dimetyldisulfid, atd.
Sloučeniny dusíku	Anorganické	Celkový obsah oxidů dusíku, oxid dusnatý, dusičitý, kys. dusičná, amoniak, kyanovodík, kyanidy,
	Organické	Aminy, dusitany, peroxydusičnany, peroxyacetylnitrát, dimetylformamid
Sloučeniny uhlíku	Anorganické	Oxid uhelnatý, oxid uhličitý
	Organické	Uhlovodíky alifatické, nasycené, nenasycené, aromatické, poly a heterocyklické, alkoholy, fenoly, krezol, xylol, etery a estery, aldehydy a ketony, benzen a jeho deriváty, směsi, mlhy a páry olejů,
Halogenové sloučeniny	Anorganické	Fluory a fluoridy, fluorovodík, fluorokřemík, chlór a chloridy, chlorovodík, brom, aj.
	Organické	Chlorované uhlovodíky
Jiné plynné a kapalné látky		Sloučeniny a páry kovů

Tab. 8 Přehled kategorií zdrojů znečišťování ovzduší dle souborů REZZO

Kategorie	Typ souboru	Zdroj	Charakter zdroje	Způsob evidence
Velké zdroje znečištění	REZZO 1	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů	Bodové zdroje	zdroje jednotlivě sledované
Střední zdroje znečištění	REZZO 2	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek		
Malé zdroje znečištění	REZZO 3	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu nižším než 0,2 MW, zařízení technologických procesů nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, výrazně znečišťující ovzduší	Plošné zdroje	Hromadně sledované
Mobilní zdroje znečištění	REZZO 4	Pohyblivá zařízení se spalovacími nebo jinými motory, zejména silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla	Liniové zdroje	

2.5.3. Registr emisí zdroje znečištění ovzduší

Rezzo – Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší eviduje zdroje znečišťujících látek v souladu se zákonem č. 86/2002 sb. v pozdějším znění 483/2008 sb. O ochraně ovzduší. Tyto zdroje jsou rozděleny do 4 skupin a to stacionární a mobilní viz tabulka 8.

Správou této databáze je pověřen Český hydrometeorologický ústav. Ten získává potřebná data ze stacionárních velkých a středních zdrojů (REZZO 1 – 2) přímo od provozovatelů nebo od inspekce životního prostředí (ČIZP), která dohlíží na tyto zdroje, aby nepřekračovaly emisní limity. Dále se aktivně podílí na na území města Brna v měření a shromažďování dat Magistrát města Brna - Odbor životního prostředí, který spravuje data ze středních zdrojů (REZZO 2) a spolupracuje s CHMI. Údaje z malých zdrojů (REZZO 3) získává CHMI od obcí. V poslední době se emise z tuhých paliv pro REZZO 3 dopočítává pomocí emisních faktorů dle zákona 615/2006 sb. (o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší)

Výsledná emisní balance je každým rokem zpracovávána Českým hydrometeorologickým ústavem a tyto ročenky jsou publikovány na jejich webových stránkách.

V Brně se vyskytuje 59 velkých zdrojů znečištění a několik zdrojů zvláště velkých spalovacích stacionárních zdrojů, začleněných do REZZO 1. Tři zdroje používají relativně kvalitní koks obsahující 1 % síry (Slévárna HEUNISCH Brno, s.r.o., ALFE BRNO s.r.o. – slévárna, FERAMO METALLUM INTERNATIONAL s.r.o.), jeden zdroj spaluje hnědé uhlí (LEAR, a.s.). Tento zdroj využívá hnědé uhlí, které je geologicky mladší než černé uhlí obsahuje okolo 3 % síry. Na území statutárního města Brna jsou dále vedeny tyto spalovací stacionární zdroj, jejichž provozovateli jsou: Teplárny Brno, a. s., provoz Špitálka, Teplárny Brno, a. s., provoz Brno-sever, ENERGZET, a. s., Teplárna Brno – Líšeň, Teplárny Brno, a. s., provoz Červený Mlýn (nový zdroj), Královopolská, a. s. Všechny tyto zdroje spalují zemní plyn až na teplárny Brno, a.s., Provoz Brno sever, který spaluje těžký topný olej, který má obsah síry 1 – 3 %.

Pro snížení emisí konkrétně emisí SO₂ se využívá nízkosirný topný olej s koncentrací síry okolo 0,8 %.

U ostatních velkých spalovacích zdrojů, jako je provoz Špitálka a provoz Brno-sever, byly provedeny v letech 1996 až 1997 rozsáhlé úpravy kotlů ke snížení produkce emisí k tzv. ekologizaci zdrojů. Tyto zmiňované zdroje znečištění jsou vedeny jako bodové.

Dále je na území města Brna vedeno 1054 středních zdrojů znečištění (REZZO 2).

Jeden z těchto zdrojů spaluje hnědé uhlí, další zdroj spaluje dřevo, které má 0-0,05 % obsahu síry, což v horším případě představuje 1/60 - 1/100 obsahu síry v hnědém uhlí a dva zdroje spalují lehký topný olej, který obsahuje maximálně 2 % síry.

Ostatní střední zdroje byly plynofikovány. Tyto střední zdroje znečištění jsou na území města Brna přiřazeny také do zdrojů bodových.

2.6. Rozptyl emisí

Emise se z jednotlivých zdrojů dostávají do ovzduší pohybem vzdušných mas, a to jak prouděním, tak i difúzí. Jejich šíření závisí především na rychlosti a směru větru a teplotním gradientu. U vysokých komínů poznáme převládající větry tak že, komín je na návětrné straně čistý a na závětrné straně má saze (Bencko, Symon, 1988).

Rozptyl emisí do okolí zdroje a tedy i imisní podmínky v okolí zdroje záleží podle (Tesaře, 1974) na čtyřech faktorech:

1. Parametry zdroje
2. Vlastnosti emisí
3. Meteorologické faktory
4. Vliv zemského povrchu

2.6.1. Parametry zdroje

K hlavním parametrům zdrojů patří zejména výška, druh emisí či doba emitace. V průmyslových oblastech se sleduje také jejich prostorová struktura. Dále si je třeba uvědomit, že při časově delších hodnocení ovzduší se parametry mohou měnit díky např. instalací filtrů, přestavby spalovacích zdrojů aj. Tento faktor je jeden z nejdůležitějších pro hodnocení kvality ovzduší.

2.6.2. Vlastnosti emisí

Vlastnosti emisí konkrétně SO₂ budou popsány v kapitole 2.7. Fyzikální – chemické vlastnosti oxidu siřičitého. Obecně lze konstatovat, že k šíření emisí je více méně neměnný a v hodnocení kvality ovzduší není tak důležitým faktorem jako jiné faktory.

2.6.3. Meteorologické faktory

Meteorologické faktory má na šíření emisí rozhodující vliv. Můžeme je rozdělit na tyto faktory:

1. S přímým vlivem
 - a. Rychlost proudění vzduchu
 - b. Teplotní stratifikace atmosféry
 - c. Atmosférické srážky
2. S nepřímým vlivem
 - a. Teplota
 - b. Sluneční záření
 - c. Vlhkost a tlak vzduchu

Faktory s nepřímým vlivem úzce souvisí s povahou s přímým vlivem.

2.6.4. Vliv zemského povrchu

Na znečištění ovzduší patří k hlavním aspektům vliv reliéfu povrchu. Tyto nerovnosti na zemském povrchu podporují vznik turbulence a tím atmosférické rozptylování částic v prostoru. Výrazné vypouklé (konvexní) nerovnosti způsobují cirkulační buňky na své závětrné straně. Tím dochází ke koncentraci emisí v tomto místě. Naopak konkávní tvary reliéfu mohou v někdy být chráněny před emisemi. Tyto emise se rozptylují do vyšších vrstev atmosféry. Někdy se emise v těchto místech objevují a to díky rozdílné teplotě vzduchu na protilehlých svazích (Šiška, 1981).

Další ovlivňující faktor znečišťující ovzduší je struktura půdního krytu. V případě velkých stacionárních zdrojů, které produkují SO₂ nemá sice tak veliký význam jako ostatní emise ale není nezanedbatelný (Tesař, 1974).

Pohyby větrů mohou být horizontální nebo vertikální. Horizontální proudění se vyskytuje poměrně vzácně, protože tomu brání nerovnoměrnosti terénu a účinek tepelného gradientu. Proto se uvažuje, že na šíření emisí má vliv difúze – turbulentní proudění. Tato turbulence vzduchu je mechanismem, který je velice účinný na zředování emisí. Tyto turbulence se skládají ze dvou složek:

1. Mechanická
2. Termická.

Mechanické jsou způsobené pohybem vzduchu nad nerovným povrchem (skalní masiv, budovy), zatímco termické turbulence závisí na slunečním záření, na zeměpisné šířce, na tepelném vyzařování zemského povrchu a také na stabilitě ovzduší (Bencko, Symon, 1988).

2.7. Fyzikální – chemické vlastnosti oxidu siřičitého

Oxid siřičitý (SO_2) je bezbarvý štiplavý plyn ostrého zápachu. Vzniká při spalování fosilních paliv a oxidací kovových sulfidů je toxický a nehořlavý. Oxid siřičitý se rozpouští ve vodě za vzniku kyselého roztoku, přičemž jeho rozpustnost je silně závislá na teplotě. Při 20°C je rozpustnost $113 \text{ [g.l}^{-1}\text{]}$ a při teplotě 0°C je jeho rozpustnost již $228 \text{ [g.l}^{-1}\text{]}$. Teplota tání je $72,5^\circ\text{C}$ a teplotou varu - $10,2^\circ\text{C}$. Hustota při $101,325 \text{ kPa}$ a 20°C je $2,92 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$. Oxid siřičitý je rizikový pro ovzduší, půdu a také pro vodu (Popl, M., Fährlich, J. 1999).

Podle R – věty je oxid siřičitý toxický při vdechování (R23) a dále způsobuje poleptání (R34). R-věty jsou stanovené v dokumentu Annex III Evropské unie, 67/548/EEC: Nebezpečné látky a přípravky jsou látky a přípravky, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností (evropský zákon 67/548/EEC).

Oxid siřičitý je nebezpečný také podle S – věty: Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí ($\text{S}^{1/2}$), Uchovávejte obal na dobře větraném místě (S9), Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc.(S26), Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít ($\text{S}36/37/39$) a V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře je nutná okamžitá lékařská pomoc (S45).

S – věty jsou standardní pokyny pro bezpečné nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a přípravky.

Výskyt SO_2 v atmosféře podmiňuje přítomnost dalších látek obsahujících síru a to buď kyseliny siřičité, vzácně sírové nebo síranů. Studium chemických atmosférických znečištění již před lety ukázalo, že koncentrace SO_2 rychle v troposféře klesá, hlavně následkem oxidace na oxid sírový, který se za přítomnosti vodní páry okamžitě hydratuje za vzniku kyseliny sírové a ta reaguje za tvorby solí. (Bencko, Symon, 1988) V atmosféře přetrvává, v závislosti na intenzitě slunečního záření, 2 - 4 dní (Moldan, 1977).

Oxidace SO_2 v atmosféře: Přímá oxidace SO_2 na SO_3 vzdušným kyslíkem nemůže za atmosférických podmínek probíhat, a proto musí být tato přeměna zajištěna jinou cestou. Je možná tzv. fotooxidace v plynné fázi, homogenní oxidace volnými radikály v plynné fázi nebo

heterogenní katalycká oxidace na povrchu tuhých částic nebo kapalné fázi po rozpuštění SO_2 ve vodních kapičkách za katalyckého působení přítomných solí, mezi které patří hlavně mangan nebo železo (Bencko, Symon, 1988).

Jednou z významných vlastností oxidu siřičitého je schopnost působit jako redukční činidlo. Proto je využíván v mnoha aplikacích jako je například bělení nebo ochrana dřeva. V potravinářství je využíváno oxidu siřičitého jako konzervačního prostředku v alkoholických nápojích a sušeném ovoci. Primárním místem výskytu oxidu siřičitého je ale průmysl výroby kyseliny sírové, kde je využíván ve velkých množstvích. Kapalný oxid siřičitý byl v minulosti využíván k rafinaci ropných produktů. Plynný byl využíván jako ochranná atmosféra zabráňující oxidaci při tavení hořčíku, avšak byl nahrazen fluoridem sírovým (Víden, 2005).

V globálním měřítku kyselý déšť tvořené oxidy síry a oxidy dusíku celkově ovlivňují rovnováhu v půdách, vodách a následně v mnohých ekosystémech, proto je jejich vliv možno považovat za významně negativní (Holoubek, 2005).

2.8. Účinky zvýšené koncentrace oxidu siřičitého

2.8.1. Dopady na lidské zdraví

Látky znečišťující ovzduší a jejich nárůst zejména ve velkých městech, zvyšující se provoz na liniových zdrojích a větší zátěž zdrojů stacionárních se zvětšuje obsah látek při nižších vrstvách od země a to negativně působí na obyvatelstvo. Limity, které jsou dány jako maximální se často v důsledku nepříznivých meteorologických jevů překročí. Pak může docházet k masivním onemocněním nebo i úmrtím jako se to stalo v Londýně v 19. století kdy při tzv. Londýnském smogu zemřelo kolem 4 tisíc lidí a další lidé měly vážné následky. Nejčastěji byli postiženi děti a starší osoby zejména trpící srdečními nebo plicními chorobami (Kurfürst 1982).

Dnes tyto látky způsobují zejména dráždění a následné záněty dýchacích cest, dochází ke zpomalení vývoje nebo narušení krvevotvorby u dětí. Při nepříznivých podmínkách trpí zejména alergici a astmatici.

Nejzávažnější účinky SO_2 z hlediska krátkodobých expozic se týkají dýchacího ústrojí na, což jsou nejvíce citliví astmatici. Při kombinaci dlouhých a krátkých expozic mohou vést k chronické bronchitidy.

U malých dětí, žijících v průmyslových aglomeracích bylo statisticky zjištěné slabé hodnoty při testu vitální kapacity plic než tomu bylo u dětí žijících na venkově.

Oxid siřičitý společně se suspendovanými částicemi se projevují kolísáním mortality a to zvláště v důsledku kardiorepiračních chorob (Adamec, 2008).

2.8.2. Vliv na půdu

Lesní půda je nejdůležitější součástí lesních ekosystémů, který podmiňuje růst lesa a tím i pro společnost důležitou produkci dřevní hmoty. Plní také i jiné funkce jako jsou např. vodohospodářskou nebo půdoochranou. Představuje otevřený systém, spojený se svým okolím výměnou látek a energie (Bencko, Symon, 1988). Proto je velice citlivý na znečištění suchou nebo mokrou depozicí.

Suchá depozice může být skupenství plynného nebo tuhé. Plynné sloučeniny se usazují na povrchu půdy, přičemž má značnou úlohu vlhkost půdy a to zvláště při sorpci SO_2 . Vyšší vlhkost sorpci plynů zvyšuje. Sorpce plynného oxidu siřičitého povrchem lesních půd se u nás v 80. letech odhadovala kolem 1 tuny na 1 km^2 (Materna, Mejstřík, 1987).

Dnes je až 20krát nižší. Ostatní plynné depozice jsou méně významné (čpavek, sloučeniny fluoru). V blízkosti zdrojů znečištění se usazují suché depozice tuhých částic tzv. suchý spad. Množství suchého spadu se v poslední době snižuje, protože se používá účinných odlučovačů. Hodnoty spadu se tak u nás pohybují nejvýše na jedné čtvrtině kritické hodnoty.

Z tuhých částic se dostávají do lesní půdy zejména těžké kovy a z plynů jsou to oxidy síry a dusíku aj. Přičemž hlavní podíl mají SO_2 a NO_x (Bencko, Symon, 1988).

Mokrá depozice se dostává do půdy v podobě srážek jak dešťových tak sněhových. V důsledku přeměny oxidu siřičitého (SO_2) a sírového (SO_3) působením vody na kyselinu sírovou klesá hodnota pH srážek pod 5,6. Tento jev se nazývá kyselé srážky. Podobně působí i oxidy dusíku.

Podle různých autorů se ročně dostávalo do půdy na našem území 15 – 120 kg síry na 1 ha (1988). Při propouštění srážek korunami stromu dochází k dalšímu okyselování, díky znečišťujícím látkám zachycené na jehlicích a listech (Bencko, Symon, 1988).

Negativním účinkem suché a mokré depozice je poškození lesních porostů zesilován zvýšeným opadem jehličí. Což sice znamená zvýšení organické hmoty ale díky znečišťujícím látkám dochází ke zhoršení humusových forem a také ke zpomalování humifikace a mineralizace (Materna, Mejstřík, 1987).

2.8.3. Účinky na vegetaci

Oxid siřičitý je považován v Evropě i České republice díky své fototoxicitě a širokému rozšíření za nejrizikovější látku z hlediska poškozování rostlin.

Projevy znečištění se projevují přímo a nebo nepřímo. Přímé účinky jsou dány suchou depozicí SO₂, ten proniká do mezofylu listu stomaty. Velikost průduchů je dán abiotickými faktory, např. teplotou, světlem, vlhkostí.

Tyto faktory ovlivňují přijímání znečišťujících látek. Projevují se potlačením citlivějších druhů a změnou struktury celého společenství. Nepřímé účinky jsou charakterizovány např. okyselování půd, tj. místa, kde jsou časté výskyty kyselých dešťů, které následně poškozují jehličnaté porosty a hlavně na místech, kde je v půdě obsažen vysoký podíl jílu a aluminosilikátů, z nichž jsou vyplavovány živiny a dochází k degradaci půdního fondu (Havlíček, 1986).

Fototoxické účinky SO₂ jsou ovlivněné individuální schopností rostlinných tkání přeměňovat SO₂ na látky netoxické formy. K druhům, které jsou velice citlivé na oxid siřičitý jsou jedle bělokorá (*Abies alba*) nebo smrk ztepilý (*Picea abies*). Ke středně citlivým patří borovice lesní (*Pinus sylvestris*), buk lesní (*Fagus sylvatica*). Naopak borovice černá (*Pinus nigra*) a duby, jak zimní, tak letní (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) jsou poměrně odolné.

2.8.4. Synergické efekty oxidu siřičitého s dusíkatými sloučeninami (NO_x)

Tato kombinace je velmi závažná. Projevuje se poškozováním asimilačních orgánů. Důkazem je zpomalení růstu v zimním období, jak při krátkodobé či dlouhodobé expozici. Dalším negativním příznakem je ztráta produktivity rostlin.

Samotné oxidy NO_x jsou velice nebezpečné pro citlivé ekosystémy, ve kterých se objevují rostliny citlivé na plyny (NO₂, N₂O). Jedná se o mokřadní ekosystém (vrchovištní rašeliniště), kde se vyskytují typické druhy tvořící tzv. keříčková společenstva. Vřes obecný (*Calluna vulgaris*), brusinka obecná (*Vaccinium vitis - idaea*) aj. Dalšími citlivými ekosystémy jsou jezera s rostlinným pokryvem šídlatek. Tady patří šídlatka ostnovýtrusná (*Isoetes echinospora*) nebo sítina cibulkatá (*Juncus bulbosus*). Nebo pokud jde o suchozemské ekosystémy nejvíce jsou postiženy lokality ve vyšších polohách. Vřesoviště s vysokým pokryvem lišejníků aj.

2.9. Směrnice EU v ochraně ovzduší

Mezi základní směrnice EU ve vztahu k ochraně ovzduší lze zařadit:

- Směrnice Rady č. 84/360/EEC, o boji proti znečištění ovzduší z průmyslových závodů
- Směrnice Rady 2000/76/EC, o spalování odpadu
- Směrnice Rady č. 88/609/EEC, o omezování emisí některých látek do ovzduší z velkých spalovacích zařízení ke spalování paliv
- Směrnice Rady č. 94/63/EC, o omezování emisí těkavých organických sloučenin (VOC) vznikajících při skladování benzínu a při jeho distribuci od terminálů k čerpacím stanicím
- Směrnice Rady č. 99/13/EC, o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel při určitých činnostech a v určitých zařízeních.

2.9.1. Legislativa České republiky o ochraně ovzduší

Mezi základní legislativní nástroje ve vztahu k ochraně ovzduší v ČR lze zařadit.

- Zákon č. 483/2008 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) ve znění pozdějších předpisů.
- Nařízení vlády č.112/2004 Sb., o Národním programu snižování emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku ze stávajících zvláště velkých spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.
- Nařízení vlády č.146/2007 Sb. o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.
- Nařízení vlády č.206/2006 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu.
- Nařízení vlády č.351/2002 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí, ve znění nařízení vlády č. 417/2003 Sb.
- Nařízení vlády č.352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.
- Nařízení vlády č.354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu, ve znění nařízení vlády č. 206/2006 Sb.

- Návrh nařízení vlády č.417/2003 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 351/2002 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí.
- Nařízení vlády č.597/2006 Sb. O sledování a vyhodnocování kvality ovzduší.
- Nařízení vlády č.615/2006 Sb. O stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

3. Cíl práce

Hlavním cílem práce je zpracovat a zhodnotit data naměřené na stacionární stanici umístěné v Botanické zahradě - Arboretu na MENDELU v Brně.

Pro tuto bakalářskou práci byla použita výše zmíněná data ze stanice Arboretum, kterou obsluhuje Magistrát města Brna a to od roku 1996 do roku 2006. Dále tyto data budou srovnány z jinými stanicemi v Brně, které jsou pod správou Českého hydrometeorologického ústavu - pobočka Brno.

Dílními cíly práce byly:

- Vyhodnocení koncentrace oxidu siřičitého ve dnech týdnu a srovnání s jinými stanicemi.
- Vyhodnocení koncentrace oxidu siřičitého v jednotlivých měsících v období 1996 – 2006.
- Vyhodnocení koncentrace oxidu siřičitého v závislosti na teplotě roků v denním kroku během období 1996 – 2006 a srovnání ze stanicemi ČHMI.

4. Metodika a zpracování dat

Data ze stanice Arboretum jsem vyhodnocoval pro celé období tedy od roku 1996 do roku 2006. Tyto data jsou následně srovnány ze stanicemi Českého hydrometeorologického ústavu konkrétně ze stanic **Brno – Soběšice, Brno – Kroftova, Brno – Tuřany**. U těchto stanic jsem získal data celého období. Proto budou srovnány v celém časovém úseku. Data jsem získal v programu Microsoft Excel, kde jsem je také zpracovával.

Nejdříve jsem se zabýval nejproblemovějšími dny, které se vyskytují v zimních měsících a to leden, únor a prosinec. Tyto dny jsou srovnány z ostatními stanicemi z CHMI, aby bylo vidět zdali se situace v určitých dnech objevovala jen na stanici Arboretum nebo i na jiných stanicích v aglomeraci Brně. Následně jsem srovnal měsíce v roce. Podrobněji jsem se zaměřil na zimní měsíce, neboť je pro ně typická zvýšená koncentrace SO_2 v ovzduší následně změna koncentrace SO_2 v časovém období. Obdobně byly pro stanici Arboretum vyhodnoceny jednotlivé roky v denním kroku a následně srovnány z výše zmiňovanými stanicemi.

Výstupem jsou spojnicové grafy proložené vývojovými trendy. Naměřené hodnoty byly porovnány s imisními limity, které jsou dány nařízením vlády 597/2006 Sb. Výstupy jsem rozčlenil na dny, měsíce a roky. Na přelomu roku 1996 - 1997 byl celý systém imisního monitoringu postupně uváděn do provozu, proto se mohou vyskytovat menší nepřesnosti ve výstupních datech a následně v grafech s vývojovými trendy.

Hodnoty, které mi byly poskytnuty, jsem použil na vyhodnocení údajů pro konkrétní dny, měsíce a roky, které byly doplněny trendovými křivkami polynomického typu. 6. stupně a to proto, že má nejvyšší hladinu spolehlivosti. Podle tohoto trendu je snadnější vyhodnotit chod oxidu siřičitého. K údajům jsou k dispozici rovnice regrese (y) a stupeň závislosti vyjádřený koeficientem determinance (R^2).

Dané výstupy jsem následně porovnával s imisními limity dané dle nařízení vlády “O sledování a vyhodnocování kvality ovzduší” č. 597/2006 Sb.

Srovnával jsem imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a také pro imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace od roku 1996 a to pro vyhodnocení stavu znečištění oxidem siřičitým od roku 1996 do roku 2006. .

4.1. Stacionární stanice v BZA Brno

Název stanice: BZA- Botanická zahrada (arboretum) Brno

Zeměpisné souřadnice: 49° 12' 46,93 " sš ; 16° 36' 59,72 " vd

Nadmořská výška: 248 m

Terén: horní nebo střední část svahu (do 8%)

Krajina: zelená plocha v intravilánu (park, lesopark)

Reprezentativnost: mikroměřítko (několik m až 100 m)

Umístění: v Arboretu MZLU, v zeleni, provoz za den 10 tisíc. vozidel - 5% nákladní dopravy, rychlost dopravního proudu - 50km/h, vzdálenost od křižovatky – 50 metrů.

měřicí program: Typ - Automatizovaný měřicí program

Stanice Arboretum v Brně je plně automatická, tj. Data, která jsou generovaná jsou daty poskytovanými on-line. Do provozu byla stanice uvedena v roce 1996. Od doby uvedení do provozu se složení jejího přístrojového vybavení téměř nezměnilo. Na stanici jsou nyní měřeny tyto veličiny a hodnoty :

- SO₂ - analyzátor API 100
 - NO-NO₂-NO_x - analyzátor API 200
 - CO - analyzátor API 300
 - PM₁₀ - analyzátor prašnosti Verewa F 703
 - O₃ - analyzátor přízemního ozónu model O3 41M
- ENVIRONNEMENT
- Směr a rychlost větru - větroměr YOUNG
 - Teplota a vlhkost - teplo/vlhkoměr Waisala

Softwarové vybavení je od zprovoznění stanice produktem od společnosti ENVItech Bohemia, s.r.o., Praha a v letech 2000 a 2006 bylo prováděno jeho upgrade, vždy s požadavky potřeb celostátní imisní sítě ČHMÚ - AIM ČR (Automatizovaný imisní monitoring ČR). Vybavení společnosti ENVItech Bohemia Praha je standardem v celostátní síti AIM ČR. Přenos dat z jednotlivých stanic do centrálního dispečinku na ul. Kounicově je zajišťován prostřednictvím radiové sítě (v r. 2000 provedena její rekonstrukce z důvodu přechodu do

jiného kmitočtového pásma. V době pořízení systému byl řídicím článkem monitorovací stanice datalogger, jehož software umožňoval:

- výpočet průměrů
- odchylek a sledování limitních hodnot
- přepočítávání údajů
- zabezpečuje řízení přístrojů vybavení stanice
- zabezpečuje uchování dat v paměti a zabezpečuje komunikaci s centrálním dispečinkem.

Při rekonstrukci systému v r. 2000 byly datalogery na stanicích nahrazeny PC s novým softwarem. Po rekonstrukci softwarového vybavení v r. 2006 jsou na stanicích prováděna veškerá vyhodnocení a průměrování a další činnosti dle potřeb systému a takto zpracovaná data jsou pak radiovou cestou odesílána do centrálního dispečinku k dalšímu zpracování a k odeslání do sítě ČHMI.

Vlastní kontejner má díky své konstrukci velmi dobré tepelně – izolační vlastnosti. Přestup tepla ve standardní verzi je lepší jak $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Klimatizační jednotka umožňuje při venkovní teplotě -40 až $+50$ °C stabilizovat teplotu v rozmezí ± 1 °C. Tato klimatizační jednotka má životnost cca 20 let.

V roce 2006 byla provedena autorizace celého systému měření ze strany ČHMÚ Praha. Systém byl na základě kladného posudku včleněn do systému AIM ČR, data byla převzata se zpětnou platností od roku 2000. Karty stanic i výsledky měření stanic systému, tedy i monitorovací stanice Arboretum, jsou zveřejněna na stránkách ČHMÚ. Používané měřicí metody a případné změny ve vybavení stanic a měřeních škodlivin jsou uvedeny na kartách stanic.

Tato část se zaměřuje na přiblížení metodiky zjištění koncentrace sledované znečištěniny ve vzduchu odebraném měřicí stanicí z okolního ovzduší. Vzhledem k zaměření práce je uvedena pouze metoda používaná pro měření imisí oxidu siřičitého v Brně na stanicích automatických. **Na stanici Arboretum** se využívá tzv. metoda UV fluorescence. U této metody je analyzovaný vzorek ozařován UV lampou. Přitom dochází k energetické excitaci molekuly SO_2 . Při zpětném přechodu molekuly do základního energetického stavu dochází k uvolnění energie ve formě fluorescenčního záření. Toto záření, které je úměrné koncentraci oxidu siřičitého, je detekováno fotonásobičem. Tato metoda se mimo stanici

Arboretum - Brno používá na stanici **Brno – Tuřany**. Dalšími metodami je metoda Iontová chromatografie (IC). Tato metoda se používá na tomto základě:

Vzduch se prosává přes filtr pro zachycení částic síranů a dusičnanů. Na dalším filtru impregnovaném hydroxidem se zachytí oxid siřičitý a plynná kyselina dusičná. Exponované filtry se vyluhují deionisovanou vodou a síranový a dusičnanový iont se stanoví iontovou chromatografií. Principem iontové chromatografie je rozdělení aniontů na koloně naplněné anexem a jejich postupné vymytí elučním činidlem s následnou detekcí. Tato metoda se používá na stanici Brno – Kroftova.

Poslední metodou, která se využívá na manuální stanici **Brno – Soběšice** je metoda tzv. Spektrofotometrie s TCM a fuchsinem (West-Gaekova). Metoda WGAE je založena na zachycování oxidu siřičitého do roztoku tetrachlorortuťnatanu sodného (TCM) s přídavkem Chelatonu III. Vzniklá sloučenina dává v kyselém prostředí s fuchsinem a formaldehydem červenofialové zbarvení.

5. Výsledky práce

5.1. Vyhodnocení dnů a srovnání s jinými stanicemi

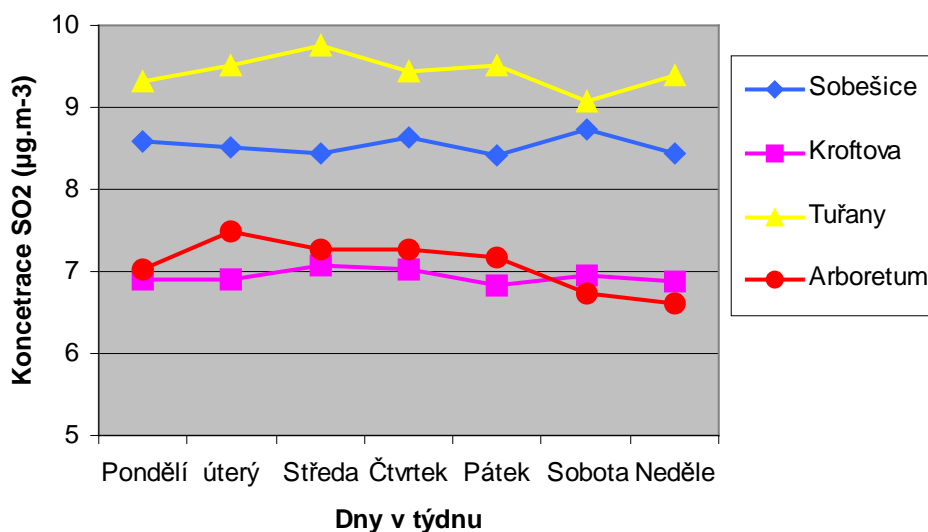
Z průměrných koncentrací naměřených na stanicích vyplývá, že stanice Arboretum má třetí nejvyšší koncentrace chodu SO_2 . Nejvyšší koncentrace byly naměřeny na stanici Tuřany. Tento jev, lze vysvětlit tím, že oproti ostatním stanicím leží stanice Tuřany v nižší nadmořské výšce než je tomu u ostatních stanic a je zde vyšší předpoklad ovlivnění inverzemi, další v pořadí je stanice Soběšice následuje Arboretum a nejnižší průměrné koncentrace jsou byly měřeny na stanici Kroftova. Průměrné hodnoty na všech vybraných stanicích nepřesahují koncentraci $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Nelze také určit specifický den, ve kterém je koncentrace oxidu siřičitého nejvyšší. U každé stanice je to jiný den. Na stanici Arboretum je průměrná koncentrace v rozmezí $6,60 - 7,50 \mu\text{g.m}^{-3}$, přičemž vrchol průměrné koncentrace SO_2 je v úterý od tohoto dne průměrné hodnoty lineárně klesají do konce týdne.

Tab.č.9 Průměrné koncentrace SO₂ (μg.m⁻³) pro dny v týdnu na vybraných stanicích

	Pondělí	úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Sobešice	8,58	8,51	8,44	8,63	8,42	8,74	8,43
Kroftova	6,91	6,90	7,08	7,03	6,82	6,96	6,88
Tuřany	9,33	9,52	9,75	9,44	9,52	9,07	9,38
Arboretum	7,02	7,50	7,27	7,27	7,16	6,73	6,60

(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

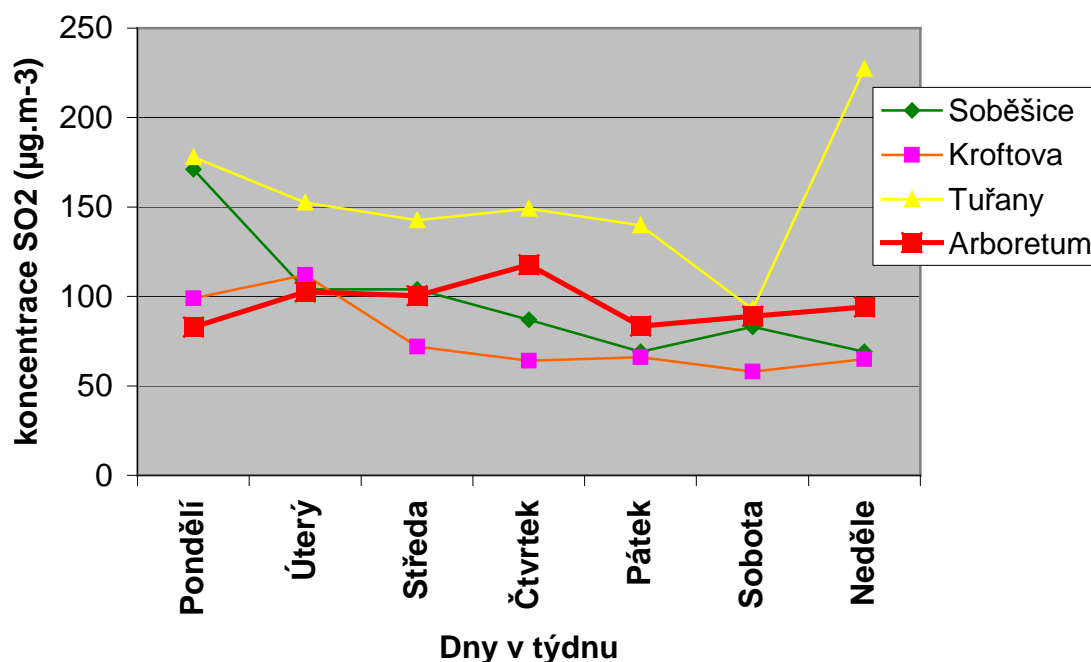
V přílohách (obr. 1 - 7) jsou přiloženy grafy, ke každému dnu zvláště v celém měřeném období. Zde jsem využil také vyvojový trend polynomický 6 stupně i u těchto grafů jsou vypočítány rovnice regrese (y) a je připojen koeficient determinance (R²), který je velice nízký u všech dnů.



Obr. 1 Průměrné koncentrace SO₂ pro jednotlivé dny na daných stanicích za období 1996-2006.
(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

Maximální hodnoty na stanici Arboretum byly naměřeny také v průběhu týdne. Ve srovnání s ostatními stanicemi nevybočuje a nepřechází. Jediná stanice, která se vymyká ostatním stanicím je stanice Tuřany (Obr. 2). Tyto nejvyšší naměřené hodnoty a dny ve, kterých byly naměřeny budou rozepsány v kapitole 5.2. Na stanici Arboretum, byla naměřena

nejvyšší maximální hodnota ve čtvrtek. Tyto maximální hodnoty jsou gradací špatných podmínek v ovzduší.



Obr. 2 Absolutní maxima koncentrace SO₂ v období 1996-2006 pro jednotlivé dny v týdnu pro dané stanice. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

Tab.10. Maximální hodnoty koncentrace SO₂ (µg.m⁻³) v období 1996 – 2006 na vybraných stanicích

Soběšice		Kroftova		Tuřany		Arboretum	
1996	104,0	1996	69,0	1996	125,0	1996	89,0
Datum	10.II	Datum	8.II	Datum	3.I	Datum	27.I
1997	171	1997	112	1997	227,4	1997	117,7
Datum	1.I	Datum	2.I	Datum	7.I	Datum	2.I
1998	87	1998	36	1998	60,15	1998	63,5
Datum	11.XII	Datum	16.IV	Datum	26.I	Datum	25.I
1999	52	1999	34	1999	40,49	1999	23,6
Datum	24.XII	Datum	24.XII	Datum	13.III	Datum	2.I
2000	27	2000	29	2000	38,4	2000	28,97
Datum	24.III	Datum	14.I	Datum	12.I	Datum	1.13.
2001	30	2001	30	2001	50,95	2001	42,89
Datum	15.I	Datum	18.I	Datum	15.I	Datum	19.I
2002	47	2002	31	2002	71,47	2002	31,42
Datum	11.XII	Datum	24.XII	Datum	24.XII	Datum	11.XII
2003	32	2003	23	2003	61,01	2003	51,76
Datum	9.I	Datum	14.II	Datum	9.I	Datum	9.I
2004	83	2004	18,3	2004	32,01	2004	20,15
Datum	27.I	Datum	27.I	Datum	8.I	Datum	26.I
2005	59	2005	14,7	2005	36,15	2005	23,79
Datum	15.VII	Datum	3.III	Datum	5.III	Datum	23.XI

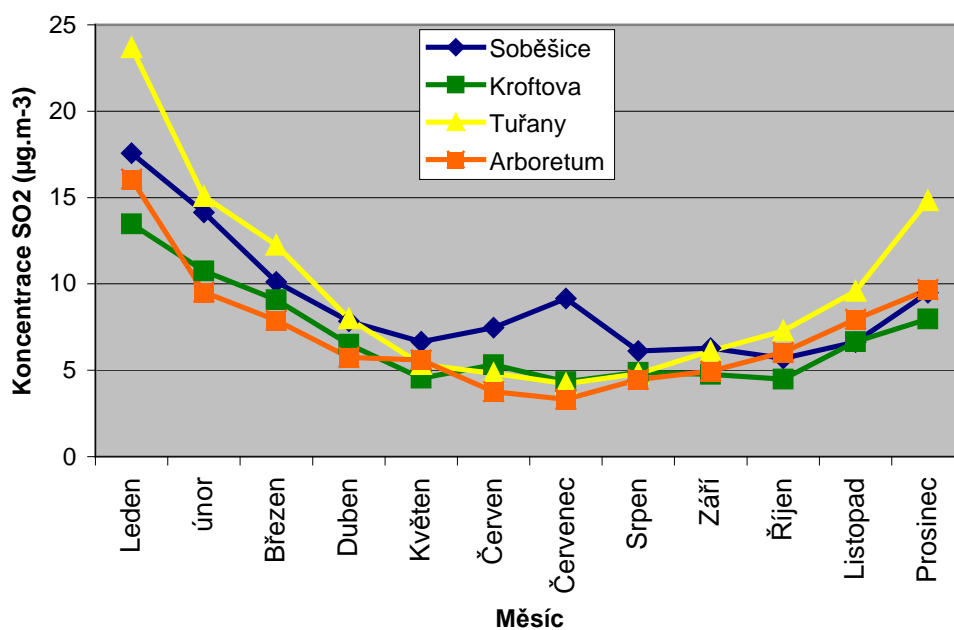
2006	69	2006	31,8	2006	72,82	2006	20,41
Datum	28.I	Datum	23.I	Datum	23.I	Datum	16.I

(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

5.2. Vyhodnocení chodu SO₂ v jednotlivých měsících

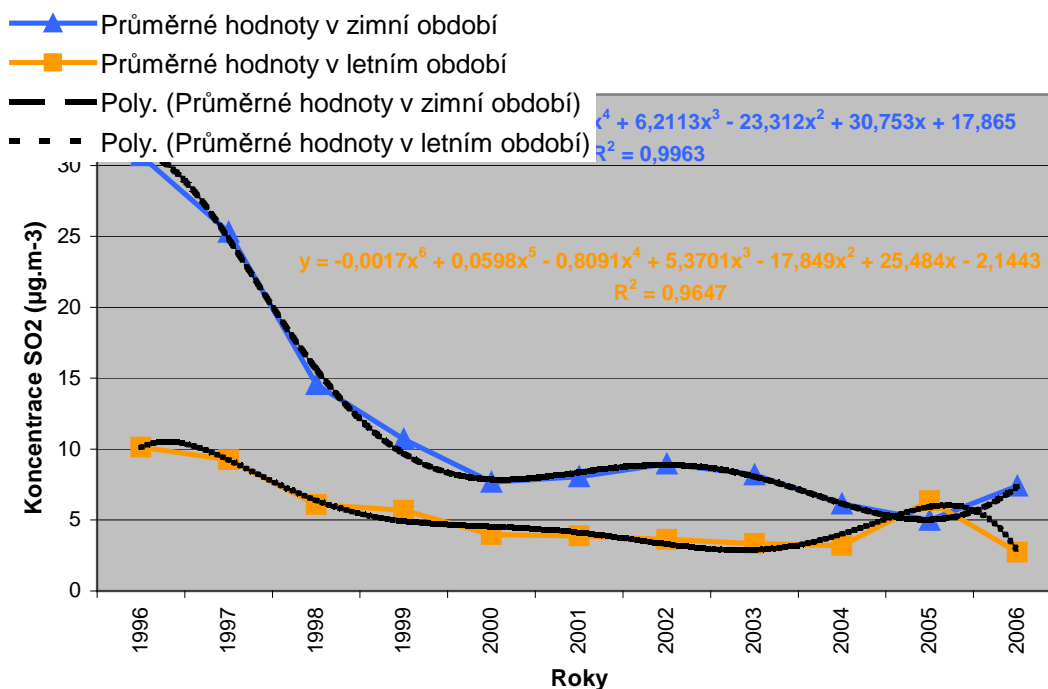
V této kapitole se budu zabývat koncentrací SO₂ na stanici Arboretum v jednotlivých měsících a jejich srovnání s dalšími stanicemi ČHMÚ. Pro popsání meziročního vývoje pole znečištění oxidem siřičitým byly vypočítány měsíční průměry pro jednotlivé stanice za roky 1996 – 2006. V obecné rovině lze konstatovat, že koncentrace SO₂ závisí na roční době (viz. obr. 3a), kde jde také vidět rozdíly mezi stanicemi v Brně. Z **(obr. 3a)** je zřejmá i odchylka na stanici Soběšice v letních měsících. Tato odchylka je způsobena rokem 2005, kdy byly na této stanici zaznamenány vysoké koncentrace SO₂. Příčinou může být, že vedle stanice Soběšice začaly stavební práce a touto činností se koncentrace oxidu siřičitého zvedla. Systémová chyba se může v tomto případě vyloučit, jelikož to by vyrostly koncentrace SO₂ i na jiných stanicích (např. kdyby byl špatně namíchán roztok nebo poškozen analyzátor).

Průměrné měsíční koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší na vybraných stanicích v Brně jdou vidět na **(obr. 4)**. Tento graf znázorňuje rozdíly mezi průměrnými měsíčními koncentracemi oxidu siřičitého v ovzduší ve sledovaném období. Nejvyšší koncentrace se objevovaly v měsíci lednu druhé nejvyšší koncentrace má měsíc únor, za kterým následují měsíce prosinec a březen. Nejvíce znečištěné ovzduší oxidem siřičitým připadá na zimní měsíce. Při tomto srovnání letních (květen, červen, červenec a srpen) a zimních (listopad, prosinec, leden a únor) měsíců na **(obr. 3b)** je znázorněn průběh koncentrace SO₂ v měřeném období a rozdíly průměrných koncentrací. Výraznější rozdíly mezi koncentracemi SO₂ jsou vidět v začátcích měřené doby, tedy roky 1996 až 1998. od tohoto roku jsou koncentrace nižší a to především zimním období. Od roku 1999 se koncentrace oxidu siřičitého drží pod hranici 10 µg.m⁻³. Zde jsou také vidět rostoucí hodnoty v letních měsících v roce 2005, kdy jak už bylo zmíněno výše začaly stavební práce u stanice Soběšice



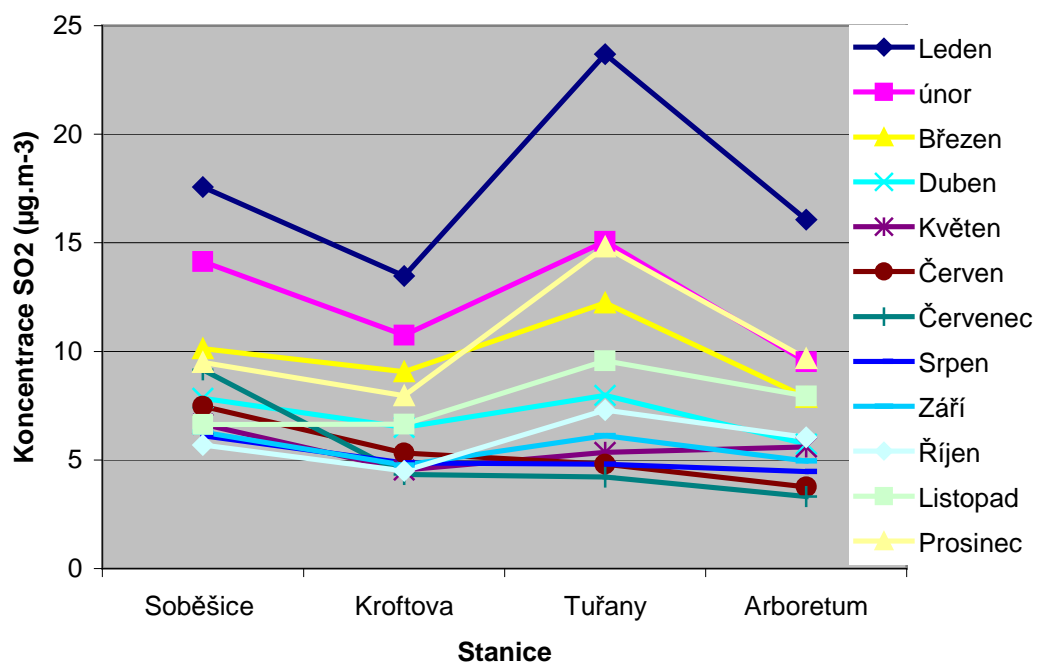
Obr. 3a. Průměrné měsíční hodnoty koncentrace SO₂ pro období 1996 – 2006.

(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)



Obr. 3b Srovnání letní a zimní průměrné koncentrace oxidu siřičitého v měřeném období.

(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)



Obr. 4. Průměrné měsíční hodnoty koncentrace SO₂ v ovzduší na jednotlivých stanicích v období 1996 – 2006. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

5.2.1 Hodnocení chodu SO₂ v měsících za roky 1996 až 2006 na stanici Arboretum

V této kapitole se věnuji jednotlivým měsícům stanice Arboretum, na kterou je bakalářská práce především zaměřena.

- **Leden 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: 15,92 $\mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: 117,70 $\mu\text{g.m}^{-3}$, dne 2.1.1997

Minimální hodnota: 0,40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, dne 11.1.98

Nejzávažnější s hlediska znečištění ovzduší látkou SO₂ byly první roky v měřeném období tedy roky 1996, 1997. V těchto letech je průměrná koncentrace SO₂ 47,58 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Což výrazně převyšuje ostatní roky. V průběhu další periody (1998 - 2003) se průměrná koncentrace pohybovala okolo 9,26 $\mu\text{g.m}^{-3}$. V dalších letech se koncentrace snížila v průměru o 8,14 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Na stanici Arboretum se během této doby snížily průměrné koncentrace SO₂ o 27 %. Dle tohoto poznatku **a (Obr. 5)** můžeme také odhadnout jak se bude situace s SO₂ vyvíjet dále. Pro další období lze na základě tohoto trendu odhadnout, že znečištění ovzduší oxidem siřičitým se bude nadále držet mimo imisní limity (**příloha 8.**).

Obecně o lednu lze říct, že leden je díky topnému období a častým inverzím stále měsícem, kdy koncentrace SO₂ je nejvyšší, a to díky k nepoměrně větším emisím z lokálních topenišť či z tepláren.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) lidí nebyly překročeny na stanici arboretum.

Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny na stanici arboretum v 77 případech a to díky rokům 1996 a 1997.

- **Únor 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: 10,63 $\mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: 75,20 $\mu\text{g.m}^{-3}$, dne 8.2.1996

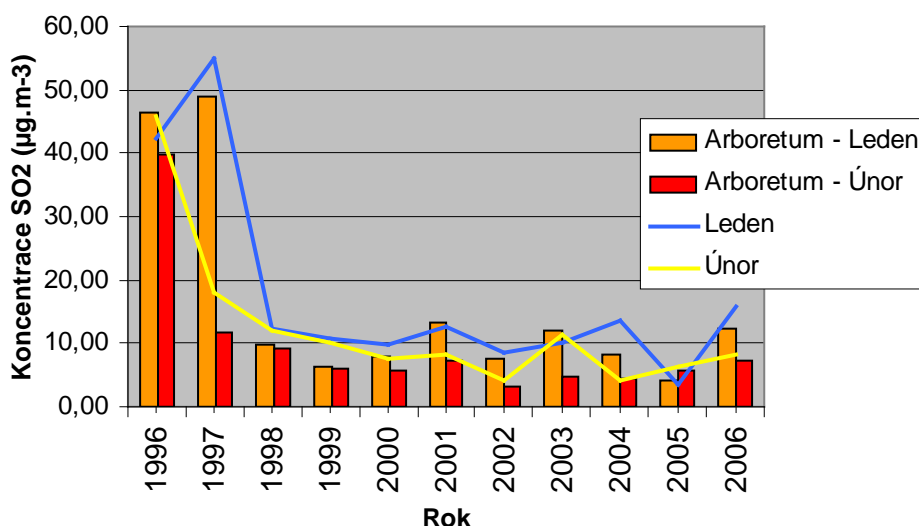
Minimální hodnota: 0,40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, 24.2.1999

Únorové měsíce jsou velice podobné jako lednové, jen nedosahují takových průměrných hodnot jako je tomu u předchozích měsíců. Na (**obr. 3**) můžeme vidět, že průměrné hodnoty SO₂ na stanici arboretum se pohybovaly na začátku měřeného období

okolo $40 \mu\text{g.m}^{-3}$. Na ostatních stanicích se průměrné hodnoty koncentrací pohybovaly v rozmezí od 59 do $35 \mu\text{g.m}^{-3}$, přičemž nejvyšší hodnoty byly naměřeny na stanici Tuřany a nejmenší průměrné hodnoty se naměřili na stanici Kroftova.. Ke snížení průměrné únorové koncentrace SO_2 na stanici Arboretum dochází v roce 1997 (**Obr. 3**).

Od tohoto roku se stabilně průměrné koncentrace SO_2 pohybují do $10 \mu\text{g.m}^{-3}$, s velice mírným rostoucím trendem, kdy vrchol je v roce 2003 od tohoto roku nastává mírný pokles koncentrací SO_2 . V roce 2006 nastává obdobná rostoucí situace koncentrace SO_2 . (**příloha 9.**). Tyto průměrné hodnoty v roce 2006 ale nepřekračují $10 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly na stanici arboretum překročeny, ale imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly na stanici arboretum překročeny ve 26 případech, a to jen díky roku 1996. V ostatních letech byly imisní limity překročeny jen sporadicky.



Obr. 5 Průměrná koncentrace v měsících Leden, únor na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

- **Březen 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: $7,87 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $83,10 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 19.3.1996

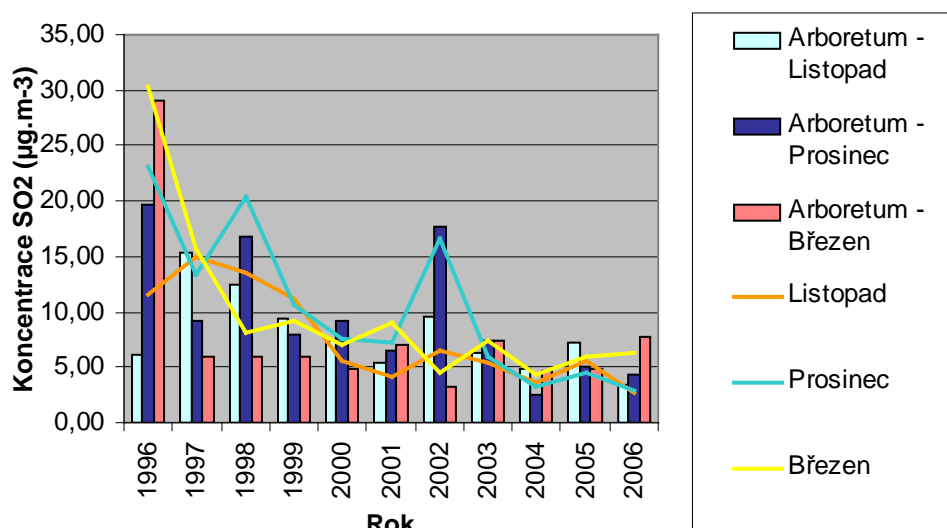
Minimální hodnota: $0,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 7.3.1999

Březen patří společně s listopadem a prosincem k měsícům, které si jsou velice podobné v průměrných koncentracích oxidu siřičitého. Celkově patří březen na čtvrté místo

v průměrné koncentraci SO_2 . Stanice Arboretum má za měřené období nejmenší průměrné hodnoty ($7,9 \mu\text{g.m}^{-3}$). Nejvíce zatížená byla opět stanice tuřany ($12,2 \mu\text{g.m}^{-3}$). Na ostatních stanicích se dlouhodobý průměr pohyboval okolo $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ (**obr. 6**). Celková koncentrace oxidu siřičitého na stanici Arboretum se za dané období snížila o 27 %.

Z březnových měsíců vyčnívá opět rok 1996, kdy jen v tomto měsíci byl imisní limit, který je dán dle nařízení vlády 597/2006 Sb., vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace, překročen ve 21 případech. V ostatních letech byl překročen pouze dvakrát.

Dle přílohy 10, lze vyčíst, že v roce 1997 hodnoty SO_2 prudce klesly, a to průměru až o $23 \mu\text{g.m}^{-3}$. Od roku 1999 do roku 2001 velice mírně narůstaly. Po tomto roce jsou koncentrace oxidu siřičitého v konstantním mírně klesajícím trendu a jen lehce vybočují roky 2005 a 2006, kdy koncentrace opět velice mírně narůstá. Oxid siřičitý a jeho koncentrace se drží pod hranicí $10 \mu\text{g.m}^{-3}$.



Obr. 6. Průměrná koncentrace v měsících listopad, prosinec a březen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

• Duben 1996 – 2006

Průměrná hodnota: $5,72 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $23,10 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 2.4.1998

Minimální hodnota: $0,10 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 8.4.1998, 17.4.1999

Dubnové měsíce vykazují snížení chodu koncentrace SO_2 , které je způsobeno ukončením topné sezóny. Dubnové měsíce od začátku měřeného období (rok 1996) se nevyznačují už tak vysokými koncentracemi oxidu siřičitého. Trend je od roku 1996 do 1999

klesající. Od tohoto roku se trend koncentrace mírně zvyšuje v roce 2003 (**přílohy 11**). Po tomto zlomu se koncentrace SO₂ vracejí do klesajících trendů. Hranice 10 μg.m⁻³ v průměrné koncentraci překročena v roce 1996 a to hodnotou 10,7 μg.m⁻³. Od tohoto roku nebyla tato hladina překročena na stanici Arboretum. V následujícím období (1997 - 2006) se průměrná koncentrace oxidu siřičitého pohybovala v rozmezí 3 – 8 μg.m⁻³

Celkový počet imisních limitů pro ochranu ekosystémů a vegetace (nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byl na stanici Arboretum za jedenáct let překročen pouze ve čtyřech případech, z toho třikrát v roce 1996 a imisní limit vyhlášený pro ochranu zdraví lidí (nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyl překročen.

Letní měsíce (květen, červen, červenec a srpen) nevykazují žádné vysoké hodnoty koncentrace oxidu siřičitého. V tomto období průměrné koncentrace oxidu siřičitého nepřekračují 8 μg.m⁻³.s výjimkou měsíce května v roce 1996 (**Obr. 7**). Hodnoty SO₂ vykazovaly jen nezřetelný nebo dokonce téměř žádný (srpen) poklesový trend. Mírné výkyvy průměrných koncentrací SO₂ (rok 2002) byly shodné ve všech měsících. Od tohoto roku klesá koncentrace oxidu siřičitého.

- **Květen 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: 5,58 μg.m⁻³

Maximální hodnota: 70,10 μg.m⁻³, dne 26.5.1996

Minimální hodnota: 0,00 μg.m⁻³, ve dnech 4.5.1996, 3.5.1998, 11.5.1999

Sledovaná koncentrace oxidu siřičitého na stanici Arboretum za dané období se výrazně nemění a nepřekračují hranici 8 μg.m⁻³. Pouze v roce 1996, a to v období mezi 21. – 29.5, se naměřily vysoké koncentrace s vrcholem ze dne 26.5. (**Příloha 12**). Tento výkyv se dá vysvětlit špatnými rozptylovými podmínkami a zvýšeným spalováním ve středním zdroji (REZZO 2). Do konce období nepřesahuje průměrná koncentrace SO₂ hranici 6 μg.m⁻³ až na výjimku již výše zmíněnou v roce 2002.

Na stanici Arboretum byl imisní limit vyhlášený pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byl překročen pouze jednou v roce 1996 a to ve zmiňovaném období.

Imisní limity na stanici Arboretum vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

- **Červen 1996 –2006**

Průměrná hodnota: $3,75 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $10,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, 5.6.1997

Minimální hodnota: $0,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, ve dnech 22.6., 25.6., 30.6. 1996, 24.6., 28.-30.6.1998

Průměrné hodnoty jsou ve srovnání s jinými měsíci velice nízké ale s vývojovým trendem jde vidět, že má zvyšující se charakter do roku 2002 poté koncentrace SO_2 klesá a opět se mírně zvedá v roce 2005 (**příloha 13**). Je důležité uvést, že průměrná koncentrace oxidu siřičitého nepřesahuje hladinu $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ s výjimkou v roce 2002 a to s nejvyšší s průměrnou koncentrací $6,26 \mu\text{g.m}^{-3}$ (**obr. 7**).

Na stanici Arboretum nebyly imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) překročeny a imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb..) nebyly taktéž překročeny.

- **Červenec 1996 –2006**

Průměrná hodnota: $3,30 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $9,46 \mu\text{g.m}^{-3}$, 7.7.2001

Minimální hodnota: $0 \mu\text{g.m}^{-3}$

Tento měsíc se vyznačuje nejnižšími průměrnými koncentracemi oxidu siřičitého v daném období. Můžeme říci, že se trendový průběh a průměrné koncentrace oxidu siřičitého příliš neliší od předchozího měsíce (**Obr. 7**). V roce 1996 byla naměřená koncentrace SO_2 v hodnotě $0,64 \mu\text{g.m}^{-3}$ a vzrůstajícím trendem dosáhla v roce 2002 průměrná koncentrace oxidu siřičitého hodnoty $6,65 \mu\text{g.m}^{-3}$ Po této kulminaci dochází ke klesajícímu trendu o více jak $3 \mu\text{g.m}^{-3}$ (**přílohy 14**).

Imisní limity na stanici arboretum pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny v daném období. Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly taktéž překročeny v daném období.

- **Srpen 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: $4,45 \mu\text{g.m}^{-3}$

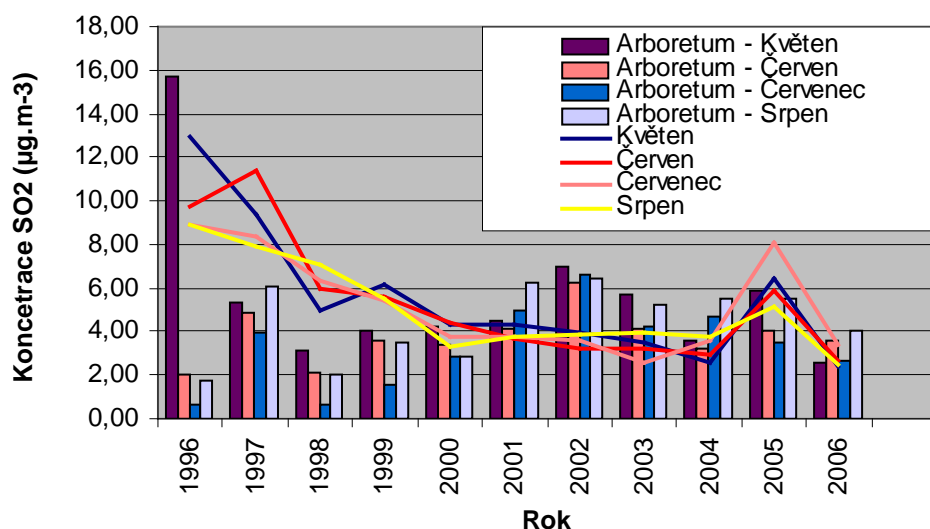
Maximální hodnota: $14,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, 17.8.1997

Minimální hodnota: $0,00 \mu\text{g.m}^{-3}$

I tento měsíc v celém období má velice podobný vývojový trend jako tomu bylo u předchozích měsíců (červen, červenec) (**přílohy 15.**) Průměrné hodnoty v roce 1996 jsou na $1,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ a po roce se zvyšují koncentrace SO_2 na hodnotu přes $6 \mu\text{g.m}^{-3}$. Následující tři roky je průměrná koncentrace klesající až na hodnotu $2,88 \mu\text{g.m}^{-3}$, ale v následujících letech opět hodnoty stoupají tento průběh můžeme vidět (**Obr. 7**), kdy průměrné koncentrace SO_2 kulminují v roce 2002. V následujících letech průměrné hodnoty klesají a tento trend pokračuje do dnešní doby. Průměrné koncentrace oxidu siřičitého v srpnu za dané období nepřekračují $5 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly na stanici Arboretum překročeny v daném období.

Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly taktéž překročeny v daném období.



Obr. 7 Průměrná koncentrace v měsících květen, červen, červenec a srpen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

- **Září 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: $4,92 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $13,42 \mu\text{g.m}^{-3}$, 21.9.2005

Minimální hodnota: $0,00 \mu\text{g.m}^{-3}$

Výrazně se nemění ráz trendu, který je rostoucí stejně jako je to v předešlých měsících na stanici Arboretum. Průměrné koncentrace na této stanici se nenavýšily. Na ostatních stanicích je průměrná koncentrace SO₂ v rozmezí od 4,8 do 6,3 µg.m⁻³. Tento měsíc má na stanici Arboretum konstantní průměrné hodnoty vyjímkou jsou roky 2002 a 2005, kdy průměrná koncentrace překročila hladinu 8 µg.m⁻³ (**Obr. 8**). Vývojový trend je od roku 1996 do roku 2005 mírně rostoucí. Od tohoto roku vývojový trend klesá. (**přílohy 16**).

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny na stanici Arboretum v daném období.

Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly také překročeny v daném období.

- **Říjen 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: 6,02 µg.m⁻³

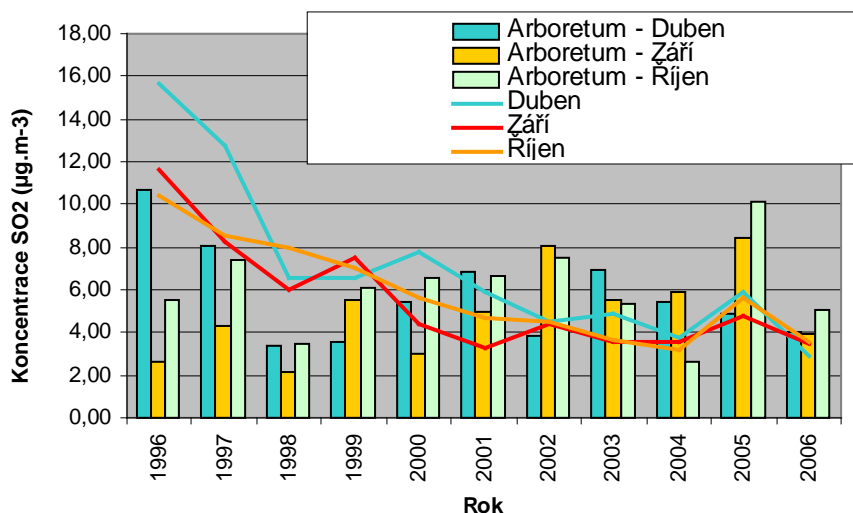
Maximální hodnota: 21,9 µg.m⁻³ , 20.10.1999

Minimální hodnota: 0,00 µg.m⁻³

Tyto měsíce mají kolísavý trend. Od roku 1996 do roku 1998 má koncentrace oxidu siřičitého klesající trend od tohoto roku do roku 2001 se situace obrací k mírnému zvýšení koncentrací SO₂ vidět a poté následuje opět klesající chod oxidu siřičitého (**přílohy 17**) Podle průměrné koncentrace SO₂ na vybraných stanicích pohybují v rozmezí 4,49 – 7,29 µg.m⁻³. Přičemž nejvyšší průměrné koncentrace oxidu siřičitého jsou na stanici Tuřany následuje stanice Arboretum, Soběšice a stanice Kroftova (**Obr. 8**).

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly na stanici Arboretum překročeny v daném období.

Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly na téže stanici překročeny od začátku období pouze ve dvou případech, a to 20.10. s maximální hodnotou za měřené období, a také dne 31.10.2005 hodnotou 20,89 µg.m⁻³.



Obr. 8 Průměrná koncentrace v měsících duben, září, říjen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic. (Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

- **Listopad 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: $7,90 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $49,9 \mu\text{g.m}^{-3}$, 30.11.1998

Minimální hodnota: $0,00 \mu\text{g.m}^{-3}$

Chod oxidu siřičitého je podobný jako v předchozím měsíci, má však vyšší průměrné koncentrace SO_2 . Dá se říci, že v daném období koncentrace oxidu siřičitého nepřekračovaly průměrnou hodnotu $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ s výjimkou roků 1997 a 1998 (**Obr. 6**). Po roce 1999 lze konstatovat, že od této doby průměrné koncentrace SO_2 jsou téměř shodné s rokem 1996.

Vývojový trend je klesající od roku 1998, tento trend pokračuje až do konce měřeného období (**přílohy 18**).

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny v daném období na stanici Arboretum.

Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny v 17 případech a to v letech 1997 a 1998. Po těchto letech byly imisní limity pro ekosystémy a vegetaci překročeny ve 3 případech.

- **Prosinec 1996 – 2006**

Průměrná hodnota: $9,59 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $63,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, 1.12.1998

Minimální hodnota: $1,10 \mu\text{g.m}^{-3}$, 19.12.1998

Prosincové hodnoty na stanici Arboretum jsou velice podobné jako první měsíce v roce tedy leden a únor, ale nejsou zde tak časté výkyvy a koncentracemi nedosahují takových hodnot jako je tomu u ledna či února. Výjimku tvoří pouze rok 2002. Od tohoto roku se hodnoty SO_2 nemění a nepřekračují hodnotu $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ (**Obr. 8**).

Vývojový trend je od začátku klesající s mírným výkyvem v už zmíněném roce 2002 (**přílohy 19**)

Imisní limity pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly na stanici Arboretum překročeny v daném období.

Imisní limity pro ekosystémy a vegetaci (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly na stanici Arboretum překročeny celkem ve 40 případech. Od roku 1996 do roku 2000 byly imisní limity překročeny ve 30 případech, v roce 2002 to bylo v deseti případech. Zbylé roky jsou bez překročení.

5.3. Vyhodnocení ročního chodu oxidu siřičitého za období 1996 – 2006

Chod koncentrace oxidu siřičitého v Brně prošlo od roku 1996 do 2006 změnami. Nebyly to sice tak zásadní změny jako v předchozím období ale koncentrace SO_2 se výrazně snížila. Na začátku sledovaného období dosahovalo znečištění na stanicích v Brně průměrné roční koncentrace SO_2 od 15 do $23 \mu\text{g.m}^{-3}$.

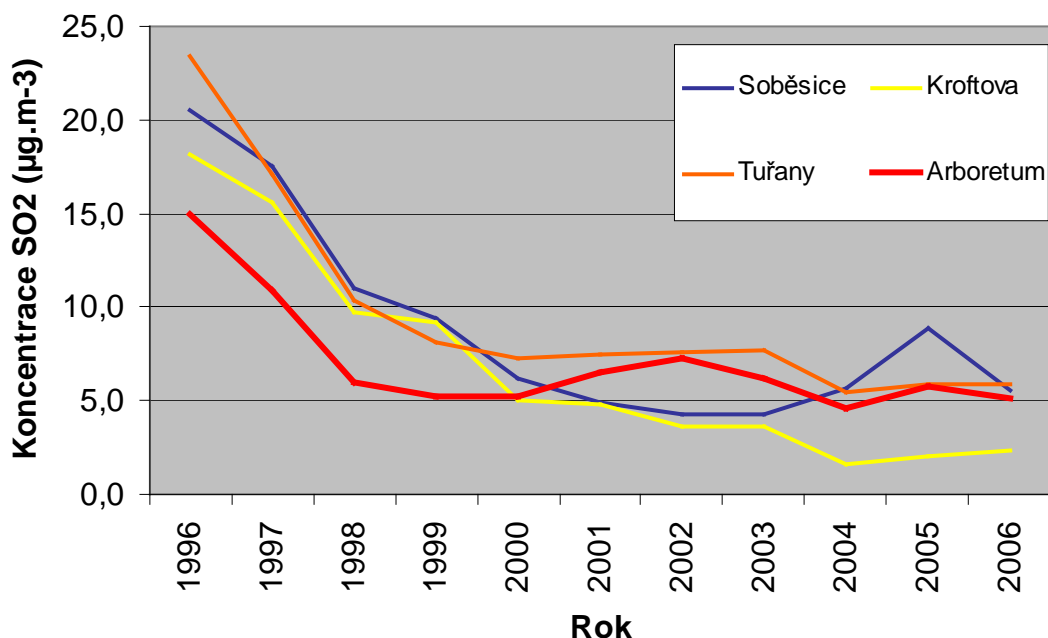
Na konci sledovaného období se průměrné koncentrace pohybovaly mezi 2,4 – $5,9 \mu\text{g.m}^{-3}$. Tedy koncentrace oxidu siřičitého klesla na stanicích v Brně o 16 - 25 %. Konkrétně na stanici Arboretum klesla koncentrace SO_2 o 34 % za sledované období. Ze stanic, které byly srovnávány nejvyšší průměrné roční koncentrace SO_2 měla stanice Tuřany. Nejmenší naopak stanice Kroftova, stanice Arboretum ze svými průměrnými ročními hodnotami je na třetím místě a stanice Soběšice je v pořadí na druhém místě.

Celkový trend koncentrací oxidu siřičitého je klesající pouze v roce 1996, byly koncentrace nejvyšší, to je důsledek velice chladné zimy a pravděpodobně zhoršení rozptylových podmínek. Od této doby je vidět (**Obr. 7**), že situace v Brně a její koncentrace oxidu siřičitého klesá. Pouze v roce 2005 jde vidět, že na stanici Soběšice vzrostla

koncentrace SO_2 . To může být důsledkem chladné dlouhé zimy a s tím spojené spalování ve středním či malém zdroji (REZZO 2 - 3).

Od roku 1999 jsou průměrné hodnoty koncentrací SO_2 pod hranicí $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ na měřených stanicích.

V měřeném období je důležitým aspektem roční doba, s tím jsou velice úzce spojené i meteorologické faktory jako jsou teplota, proudění vzduchu aj.



Obr. č. 9. Průměrná koncentrace SO_2 na vybraných stanicích v období 1996 – 2006.

(Zdroj: ČHMÚ, MMB – OŽP)

5.3.1. Hodnocení chodu SO_2 po letech

V této kapitole se budu zbývat jednotlivými roky (1996 - 2006), tyto roky mají výstup v přílohách v podobě grafů s vývojovými trendy v závislosti na teplotě. Tato závislost se dá velice jednoduše vysvětlit úměrou. Tedy čím je vyšší teplota, tím je koncentrace oxidu siřičitého menší a naopak. U vyhodnocování chodu SO_2 po letech jsem opět využil opět

vývojové trendy nejvyšší hodnotu spolehlivosti vykázal polynomický typ 6. stupně. Tento trend ukazuje výrazný pokles koncentrace oxidu siřičitého. Pro další období lze na základě tohoto trendu i na základě jiných aspektů v této práci vyvodit, že znečištění ovzduší oxidem siřičitým se bude nadále držet velmi nízkou úroveň.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a pro ochranu ekosystémů a vegetace dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb. uvedené u každého roku jsou vyhodnoceny pouze pro stanici Arboretum.

- **Rok 1996**

Průměrná hodnota: $14,68 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $89,00 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 27.1.1996

Minimální hodnota: $0,0 \mu\text{g.m}^{-3}$

Tento rok má nejvyšší naměřené koncentrace SO_2 za roky 1996 až 2006. Průběh je velice podobný jako v následujících letech. Oxid siřičitý má od začátku roku klesající trend a klesá až do srpna, září. Výjimka je pouze ve dnech na konci května, kdy hodnoty SO_2 prudce stouply. Vrchol tohoto zvýšení hodnot byl 26.5. s hodnotou $70,1 \mu\text{g.m}^{-3}$. Tento jev byl popsán v podkapitole 5.2.1. v měsíci květen. Koncentrace se začíná zvyšovat na konci srpna a lineárně stoupá až do konce prosince. (**příloha 20**)

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny ve 96 případech.

- **Rok 1997**

Průměrná hodnota: $10,95 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $117,70 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 2.1.1997

Minimální hodnota: $1,00 \mu\text{g.m}^{-3}$

Průměrné koncentrace oxidu siřičitého klesly oproti roku 1996 o $3,7 \mu\text{g.m}^{-3}$. Průběhem se neliší od roku 1996 a nevyskytují se razantní zvyšování chodu SO_2 jako tomu bylo v květnu minulého roku. Od března hodnoty nepřekračují hranici $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Výjimku tvoří opět poslední dva měsíce, kdy vrcholem byla hodnota $40,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ ze dne 18.11.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny ve 38 případech.

- **Rok 1998**

Průměrná hodnota: $5,93 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $63,5 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 25.1.1998

Minimální hodnota: $0,0 \mu\text{g.m}^{-3}$

Oproti roku 1997 opět poklesla koncentrace oxidu siřičitého a to ještě silněji než tomu bylo v předchozím roce. Tento rok je velice stabilní co se týče naměřených hodnot. Jsou zde pouze dvě období, kdy naměřené hodnoty převyšují $60 \mu\text{g.m}^{-3}$. Jsou to období na začátku a na konci roku. Tedy v období častých inverzí a spalování ve velkých a středních zdrojích.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny ve 25 případech.

- **Rok 1999**

Průměrná hodnota: $5,25 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $23,6 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 2.1.1999

Minimální hodnota: $0,0 \mu\text{g.m}^{-3}$

V tomto roce průměrná koncentrace oxidu siřičitého nepřevyšuje hodnotu $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. **(obr. 9)**. Celý rok je velice vyrovnaný. Nejvyšší naměřená hodnota byla $23,6 \mu\text{g.m}^{-3}$. **(příloha 23)**. Průměrné koncentrace SO_2 byly oproti roku 1997 sníženy.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny v 5 případech.

- **Rok 2000**

Průměrná hodnota: $5,29 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $28,97 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 14.1.2000

Minimální hodnota: $1,17 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 2.12.2000

V tomto roce došlo k průměrnému zvýšení hodnot oxidu siřičitého. Tento rok je hodnocen jako 4 nejlepší rok v chodu SO_2 . (**Obr. 9**) Roční průběh je standartní jako ostatní měsíce, ale vyskytují se zde jevy, které jsou známé jako Drift nuly. Ten je způsoben hodnotami na hranici měřitelnosti. Drift nuly se vyskytuje od června do konce září. Hodnota nepřekračuje $2,86 \mu\text{g.m}^{-3}$. (**přílohy 24**)

Na začátku října začíná rostoucí trend a pokračuje až do konce roku. Hodnota $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ je překročena pouze jednou.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny ve 3 případech.

- **Rok 2001**

Průměrná hodnota: $6,53 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $42,89 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 19.1.2001

Minimální hodnota: $3,01 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 19.5.2001

Rok 2001 je velice hodnotově vyrovnaný. Průměrné koncentrace SO_2 se zvýšily oproti předchozímu roku (**Obr. 9**). Průměrné koncentrace nepřekračují hranici $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Výjimka je pouze v lednu (18. – 23.1), kdy bylo dosaženo ročního maxima koncentrace oxidu siřičitého. (**přílohy 25**)

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny v 7 případech.

- **Rok 2002**

Průměrná hodnota: $7,07 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $31,42 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 11.12.2002

Minimální hodnota: $1,28 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 24.2.2002

Tento rok ukazuje zvýšený chod SO_2 pouze v lednu a na konci roku. Průměrné koncentrace nepřekračují hranici $9 \mu\text{g.m}^{-3}$. Od tohoto roku se průměrná koncentrace klesá oproti předchozím létům. (**Obr. 9**)

V tomto roce je dle (**přílohy 26**) vidět, že koncentrace oxidu siřičitého jsou v prvních měsících menší než je tomu na konci roku. Jde vidět rostoucí křivka od již od konce února.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb. byly překročeny v 11 případech. Jedním překročením v lednu a zbylé překročení byly naměřeny v prosinci.

- **Rok 2003**

Průměrná hodnota: $6,65 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $51,76 \mu\text{g.m}^{-3}$, 9.1.2003

Minimální hodnota: $2,68 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 13.3.2003

Dle vývojové křivky vidíme, že vysoké koncentrace oxidu siřičitého pokračují z minulého roku a však od února tyto koncentrace klesají ze začátku k hladině $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ a poté pod tuto hladinu. Mírné zvýšení koncentrací oxidu siřičitého nastává v září, kdy tento rostoucí trend pokračuje do konce roku 2003. (**přílohy 27**)

Klesání průměrné koncentrace oxidu siřičitého pokračuje od minulého roku. (**Obr. 9**).

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny celkově v 7 případech na začátku roku.

- **Rok 2004**

Průměrná hodnota: $4,64 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $20,15 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 26.1.2004

Minimální hodnota: $0,91 \mu\text{g.m}^{-3}$, ve dnech 9.-10.10.2004

Rok 2004 vykazuje nejmenší naměřené průměrné koncentrace oxidu siřičitého za celé měřené období (**Obr. 9.**). Kromě několika případů nepřesahuje chod oxidu siřičitého hodnotu $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Vyšší koncentrace oxidu siřičitého pokračuje z roku 2003 v topném období tedy v měsících leden a únor. Po zbytek roku se chod SO_2 pohybuje pod hranici $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ a to i v prosinci. Menší zvýšenou odchylku lze zaznamenat v listopadu, kdy je koncentrace vyšší. (**přílohy 28**)

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny pouze jednou ve dne 26.1.2004.

- **Rok 2005**

Průměrná hodnota: $5,79 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $23,79 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 23.11.2005

Minimální hodnota: $1,69 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 30.6.2005

Dle (**přílohy 29**), jde vidět, že nízké koncentrace z konce minulého roku pokračují i v roce 2005. Tyto hodnoty jsou velice nízké s výjimkou třech dnů 7. – 9.2. s nejvyšší hodnotou $14,28 \mu\text{g.m}^{-3}$. Průměrné hodnoty se oproti minulému roku zvýšily o $1,15 \mu\text{g.m}^{-3}$, ale tyto koncentrace nepřekračují hranici $8 \mu\text{g.m}^{-3}$ (**Obr. 9**). Rostoucí trend nastává na v polovině června, kde se chod oxidu siřičitého mírně zvyšuje. Tento trend pokračuje až do poloviny listopadu, kdy nastává opět klesající trend chodu oxidu siřičitého. (**příloha 29**)

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny pouze v říjnu a listopadu ve 4 případech.

- **Rok 2006**

Průměrná hodnota: $5,09 \mu\text{g.m}^{-3}$

Maximální hodnota: $33,74 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 23.1.2006

Minimální hodnota: $0,86 \mu\text{g.m}^{-3}$, dne 8.7.2005

Průměrné koncentrace oxidu siřičitého se oproti předchozímu roku snížily (**Obr. 9**). Na začátku roku koncentrace překračují průměrné hodnoty celého roku. Průměrná koncentrace v tomto roce okolo $5 \mu\text{g.m}^{-3}$. A tyto hodnoty jsou měřeny až na pár výjimek až do konce roku (**příloha 30**).

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) nebyly překročeny.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády č. 597/2006 Sb.) byly překročeny ve 4 případech.

5.4. Diskuze

5.4.1. Zhodnocení dnů v týdnu

Chod koncentrace SO_2 je dán závislostí především na různorodosti spalování tuhých paliv. Na (**obr. 1**) jde vidět, že nejvyšší hodnoty koncentrací oxidu siřičitého na stanici arboretum mají dny úterý, středa a čtvrtek s tím, že nejvyšší průměrné hodnoty má úterý. Na ostatních stanicích je průběh během týdne srovnatelný ze stanici Arboretum, ale jak už bylo zmíněno výše nemají tyto průměrné hodnoty takový rozsah jako u stanice Arboretum. Tyto dny jsou specifické tím, že jsou u prostřed týdne což znamená, že aglomerace Brno je velice silně zalidněná a je také závislá na intenzitě spalování a výroby.

Důležitým aspektem jsou také geografické podmínky města. Brno leží na styku dvou základních geologických jednotek Českého masivu a Západních Karpat. Geomorfologicky patří jeho území k podsoustavě Brněnská vrchovina. Celé území se vyznačuje velkou horizontální i vertikální členitostí její sníženiny jsou propojeny s Dyjsko – svrateckým úvalem. Tyto údolní oblasti se významně podílejí na vzniku inverzních oblastí a přispívají tak na snížení kvality ovzduší (Červinka 1999).

5.4.2. Zhodnocení měsíců v roce

Chod oxidu siřičitého během roku je dán letními a zimními obdobími. V zimních obdobích je koncentrace SO_2 několikrát vyšší než je tomu v letních měsících a to proto, že nastává topné období, tím dochází k nepoměrně větším spalování emisí z lokálních topenišť, a také dochází k častým inverzním situacím, což způsobuje špatné rozptylové podmínky. Tento závěr je v souladu s pracemi od Kazmarové (2002), která se touto tematikou zabývá na zdravotním ústavě v Praze.

K celkové situaci v ovzduší přispěly nejvíce lednové měsíce a za nimi následovaly únorové měsíce. Nejvyšší průměrné hodnoty byly naměřeny v roce 1996 a 1997. Tyto data jsou dány tím, že byla velice tuhá a dlouhá zima. Od roku 1998 nastává na celém území Brna velice rapidní snížení koncentrace SO_2 . Tento jev můžeme vysvětlit tím, že nastává v Brně zejména přechod lokálních topenišť na zemní plyn nebo elektrickou energii je také možnost, že byla nahrazená dálkovým topením. S tímto poznatkem souhlasí i magistrát města Brna, ve svém integrovaném programu zlepšení kvality ovzduší (2007) o snižování emisí ve městě Brně, kde tento názor zastává např. vedoucí referátu ochrany ovzduší odboru životního prostředí magistrátu města Brna Švehlák (osobní sdělení). Dalšími měsíci jsou prosinec, březen a listopad. Tyto měsíce jsou v pořadí za lednovými a únorovými měsíci. Rozdílem je pouze, že se menší měrou podílely na vzniku zhoršené situace v roce 1996. Od tohoto roku koncentrace se snížila a až na výjimky na stanici Arboretum v roce 1998 a 2002 se koncentrace držely pod hranicí $10 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Následující měsíce tzv. letní (květen, červen, červenec a srpen). Tyto měsíce ovlivňují ovzduší jen povrchově. Průměrné hodnoty nepřekračují koncentraci $8 \mu\text{g.m}^{-3}$. Pouze rok 1996 na stanici Arboretum měl oproti ostatním stanicím zvýšenou koncentraci SO_2 . Tento jev můžeme vysvětlit, tím že se jednalo o zatížení z průmyslu a ne lokálních topenišť, jelikož tyto topeniště mají vyšší koncentraci znečištění při zimních koncentracích SO_2 .

Ostatní měsíce září, říjen a duben si jsou velice podobné v průměrných hodnotách. Nemají takové silné vlivy na koncentraci oxidu siřičitého ve vzduchu.

Z těchto měsíců má nejvyšší průměrnou hodnotu měsíc duben, následuje říjen a posledním z průměrnou koncentrací je září. V těchto měsících se koncentrace SO_2 pohybuje pod hranicí $10 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Duben má nejvyšší průměrnou hodnotu proto, že následuje za březnem, kdy teploty nejsou tak vysoké a ještě se na lokálních topeništích se dotápí zimní sezóna. Září je poměrně

teplé jelikož následuje po teplotně příznivém srpnu. Říjen je s průměrnou teplotou oproti září horší. Na konci tohoto měsíce se teploty blíží už listopadovým teplotám.

5.4.3. Zhodnocení roků

V daném období byl koncentrací oxidu siřičitého zatížen rok 1996. Po tomto roce nastává mírný pokles koncentrace SO_2 a to nejen na území Brněnské aglomerace ale tento trend zasahuje celou Českou republiku. Zastavuje se v roce 2000, kdy na stanici Arboretum nastává mírný nárůst koncentrace oxidu siřičitého. Poznatek je v souladu s pracemi hned několika autorů např. Šimkové nebo Skeřila (2008). Tento nárůst kulminuje v roce 2002, kdy nastává mírný pokles průměrných hodnot SO_2 . Na ostatních stanicích se průměrné koncentrace zastavily na stejné hodnotě nebo velice mírně klesaly. Koncentrace oxidu siřičitého však nepřekračovala hranici $10 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Dalším zlomem byl rok 2005 a 2006, kdy téměř na všech stanicích, s výjimkou stanice Kroftova jde vidět nárůst průměrné koncentrace SO_2 . Tento jev byl vypořádan na celém území ČR, tento poznatek je v souladu s ročenkami CHMÚ a můžeme ho vysvětlit tím, že v této době se zdražovaly ušlechtilé paliva a elektrická energie, což zapříčinilo návrat obcí ke spalování tuhých paliv a špatné rozptylové podmínky na začátcích roků.

6. Závěr

Téma mé bakalářské práce bylo vyhodnocení chodu oxidu siřičitého na měřící stanici BZA MZLU v Brně za období 1996 – 2006. Ze získaných dat jsem vyhodnotil chod koncentrace oxidu siřičitého během jednotlivých dnů, týdnů, měsíců a roků. Tyto koncentrace byly následně srovnány ze stanicemi Brno – Tuřany, Brno – Soběšice a Brno – Kroftova.

Oxid siřičitý je vázaný především na stacionární zdroje (teplárny, lokální vytápění aj). Rozptyl a šíření oxidu siřičitého jsou v různé míře ovlivňovány parametry zdroje, vlastnostmi emisí, meteorologickými podmínkami a vlivem zemského povrchu.

Ve sledovaném období (1996 - 2006) došlo ke snížení koncentrace oxidu siřičitého. Na začátku období byla průměrná koncentrace na stanici Arboretum $14,68 \mu\text{g.m}^{-3}$ a na konci období byla průměrná koncentrace $5,09 \mu\text{g.m}^{-3}$. Koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší je vázáno na teplé a studené období, kdy vyšší koncentrace se vyskytují v zimních měsících, kdy je vrchol topné sezóny a častý výskyt inverzních situací, ale i tyto zimní koncentrace se rychle snížily k průměrné hladině okolo $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. To má za následek celková plynofikace města Brna a odsíření velkých a středních zdrojů.

Lze konstatovat, že na území města Brna nejsou koncentrace oxidu siřičitého v žádném případě dosahovány nebo překračovány. Maximální měřené koncentrace na stanici Arboretum se pohybují na hranici 10 - 15 % zákonných imisních limitů. Škodlivina SO_2 je na území města bezproblémovou veličinou narozdíl od látek vznikajících z dopravy (NO_x či PM_{10} aj.) a do budoucna lze očekávat pokračující stagnaci koncentrací oxidu siřičitého.

Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (dle nařízení vlády 597/2006 Sb.) nebyly na stanici Arboretum překročeny za měřené období ani jednou a imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace (dle nařízení vlády 597/2006 Sb.) byly překračovány, ale po srovnání jsem zjistil, že první roky, tedy roky 1996 a 1997, byly výrazně překročeny ve 137 případech, což by uvedenou normu nesplňovalo. V ostatních letech, 1998 – 2006, byly překročeny v 63 dnech, což uvedenou normu splňuje.

Vzhledem k nízkým měřeným koncentracím oxidu siřičitého je měření této škodliviny redukováno v síti AIM, což má za následek snižování počtů měřících stanic registrujících veličinu oxidu siřičitého.

7. Seznam literatury

1. Adamec, V., Doprava, zdraví a životní prostředí., GRADA Publishing, 2008, 143 s., ISBN 978 – 80 – 247 – 2156 – 9
2. Bencko V., Symon K., a kolektiv, Znečištění ovzduší a zdraví, AVICEUM, 1988, 252 s., ISBN 08 – 079 – 88.
3. Červinka, P., Životní prostředí České republiky. Univerzita Karlova, 1999. 99 s., ISBN 80 – 7184 – 726 – 7
4. Dirner, V., Ochrana životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí, VŠB – TÚ Ostrava, 1997.333 s. ISBN 80-7078-490-3
5. Henelová, V., a kolektiv. Enviros s.r.o. Generel ovzduší – program snižování emisí a imisí Statutárního města Brna. 1. vyd., , Brno, 2005
6. Havlíček, V., a kolektiv agrometeorologie. SZN, 1986. 264 s., ISBN 07 – 081 86
7. Holoubek, I., Troposférická chemie, Masarykova univerzita v Brně, 2005
8. Houghton, J., Globální oteplování Vyd. 1. Praha: Academia 1998
9. Jakrlová, J., Pelikán, J., Ekologický slovník. Nakladatelství FORTUNA 1999. 144 s. ISBN 80– 7168 – 644 –1
10. Kazmarová, H., Zdroje a prostředí. Univerzita Karlova v Praze, 2002. 358 s., ISBN 80 –238 – 8378 – X
11. Kotaška M., Dobiášovský J., Řeháček V., Montrealský protokol o látkách, které porušují ozónovou vrstvu a jeho plnění v České republice, Národní klimatický program ČR, sv. 13. ČHMÚ, Praha 1994.
12. Kurfürst, J., Zdroje znečišťování ovzduší. SZN, 1982. 153 s.

13. Legget ,J., editor. Nebezpečí oteplování Země. Vyd.1. Praha: Academia 1992. ISBN 80-200-0452-1
14. Materna, J., Mejstřík, V. Zemědělství a lesní hospodářství v oblastech se znečištěným ovzduším. Praha, SZN Praha, 1987, 152 s.
15. Moldan, B., et al. Životní prostředí české republiky : Vývoj a stav do konce roku 1989. 1. vyd. Praha, Academia, 1990. 284 s. ISBN 80-200-0292-8.
16. Moldan, B., Geochemie atmosféry. 1. vyd. Praha, Academia, 1977. 160 s.
17. Popl, M., Fährnich, J., Analytická chemie životního prostředí, VŠCHT Praha, 1999, 218 s ISBN 80-7080-336-3
18. Quarg, M. a kolektiv., Ochrana životního prostředí, 1978, SNTL
19. Šiška, F., Ochrana ovzdušia, 1. vyd., Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1981. 336 str.
20. Tesař, V., Znečištění ovzduší, 1. vyd., Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno, 1974. 64 str.
21. Víden I., Chemie ovzduší. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. Str. 24. ISBN 80-7080-571-4
22. Vlčková, J., Průvodce ochranou životního prostředí pro veřejnou správu. IREAS, Institut pro strukturální politiku, o.p.s. 2008. 412 s. ISBN 978 – 80 – 86684 – 49 – 9
23. Vysoudil, M., Ochrana ovzduší. Univerzita palackého v Olomouci, 2002. 113 s. ISBN 80 – 244 – 0400 –1
24. Žalud, Z., Interaktivní učební texty Bioklimatologie (2010), <http://uak.af.mendelu.cz/cz/vyuka>

Legislativa využítá v textu

Nařízení vlády č.597/2006 Sb. O sledování a vyhodnocování kvality ovzduší.

67/548/EEC sbližování zákonů, právních předpisů a správních opatření týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných látek

Internetové Odkazy

WWW stránky: ČHMÚ – úsek ochrany čistoty ovzduší. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 2005. Dostupné na WWW:

http://www.chmi.cz/uoco/oco_main.html

WWW stránky: Magistrát města Brna odbor životního prostředí. Závěrečná zpráva - Program snižování emisí statutárního města Brna, 2009. Dostupné na WWW:

<http://www.bрно.cz/sprava-mesta/magistrat-mesta-brna/usek-rozvoje-mesta/odbor-zivotniho-prostredi-ozp/>

Seznam tabulek

Strana

Tab. 1 Zastoupení plynů v suché a čisté atmosféře při zemském povrchu v objemových a hmotnostních procentech	9.
Tab. 2 Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí, přípustné četnosti jejich překročení.....	15.
Tab. 3 Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace	15.
Tab. 4 Horní a dolní meze pro posuzování oxidu siřičitého.....	16.
Tab. 5 Přehled stanic na území města Brna	17.
Tab. 6 Rozdělení zdrojů znečištění ovzduší	19.
Tab. 7 Chemické složení znečišťujících látek	19.
Tab. 8 Přehled kategorií zdrojů znečišťování ovzduší dle souborů REZZO.....	20.
Tab. 9 Průměrné hodnoty dnů v týdnu na vybraných stanicích.....	35.
Tab. 10 Maximální hodnoty koncentrace oxidu siřičitého v období 1996 – 2006 na vybraných stanicích	36.

Seznam obrázků

	Strana
Obr. 1 Průměrné koncentrace SO ₂ pro jednotlivé dny na daných stanicích za období 1996- 2006.....	35.
Obr. 2 Absolutní maxima koncentrace SO ₂ v období 1996-2006 pro jednotlivé dny v týdnu pro dané stanice.....	36.
Obr. 3a Průměrné měsíční hodnoty koncentrace SO ₂ pro období 1996 – 2006	38.
Obr. 3b Srovnání letní a zimní průměrné koncentrace oxidu siřičitého v měřeném období.....	38.
Obr. 4 Průměrné měsíční hodnoty koncentrace SO ₂ v ovzduší na jednotlivých stanicích v období 1996 – 2006.....	39.
Obr. 5 Průměrná koncentrace SO ₂ v měsících Leden, únor na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic	41.
Obr. 6 Průměrná koncentrace SO ₂ v měsících listopad, prosinec a březen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic	42.
Obr. 7 Průměrná koncentrace SO ₂ v měsících květen, červen, červenec a srpen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic	45.
Obr. 8 Průměrná koncentrace SO ₂ v měsících duben, září, říjen na stanici Arboretum ve srovnání s průměrnými koncentracemi z ostatních stanic	47.
Obr. 9 Průměrná koncentrace SO ₂ na vybraných stanicích v období 1996 – 2006	49.

Přílohy

Příloha 1 Vyhodnocení pondělků na stanici Arboretum v období 1996 – 2006

Příloha 2 Vyhodnocení úterků na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha. 3 Vyhodnocení střed na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha 4 Vyhodnocení čtvrtků na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha. 5 Vyhodnocení pátků na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha. 6 Vyhodnocení sobot na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha. 7 Vyhodnocení neděl na stanici Arboretum v období 1996 – 2006.

Příloha 8 Vyhodnocení měsíce ledna na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 9 Vyhodnocení měsíce února na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 10 Vyhodnocení měsíce března na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 11 Vyhodnocení měsíce dubna na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 12 Vyhodnocení měsíce května na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 13 Vyhodnocení měsíce června stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 14 Vyhodnocení měsíce července na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 15 Vyhodnocení měsíce srpna na stanici Arboretum za období 1996 – 2006..

Příloha 16 Vyhodnocení měsíce září na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 17 Vyhodnocení měsíce října na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 18 Vyhodnocení měsíce listopadu na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 19 Vyhodnocení měsíce prosince na stanici Arboretum za období 1996 – 2006.

Příloha 20 Rok – 1996. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 21 Rok – 1997. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 22 Rok – 1998. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku

Příloha 23 Rok – 1999. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 24 Rok – 2000. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 25 Rok – 2001. Průběh koncentrace SO₂ na stanici Arboretum v závislosti na denní

teplotě v denním kroku.

Příloha 26 Rok – 2002. Průběh koncentrace SO_2 na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 27 Rok – 2003. Průběh koncentrace SO_2 na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 28 Rok – 2004. Průběh koncentrace SO_2 na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.

Příloha 29 Rok – 2005. Průběh koncentrace SO_2 na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku

Příloha 30 Rok – 2006. Průběh koncentrace SO_2 na stanici Arboretum v závislosti na denní teplotě v denním kroku.