

# Monitoring atmosférického oxidu uhličitého v městském prostředí

Jiří Černohous

---

Bakalářská práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí  
akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří ČERNOHOUS  
Osobní číslo: T10589  
Studijní program: B2808 Chemie a technologie materiálů  
Studijní obor: Inženýrství ochrany životního prostředí  
Forma studia: prezenční

Téma práce: Monitoring atmosférického oxidu uhličitého  
v městském prostředí

Zásady pro vypracování:

1. Provést literární studii zaměřenou na monitorování koncentrace atmosférického oxidu uhličitého v městských aglomeracích.
2. Provést jednorázová měření koncentrace oxidu uhličitého pomocí přístroje TESTO 535 ve vybraných lokalitách města Zlína.
3. Teoretickou, experimentální část, výsledky a diskuzi zpracovat do formy BP.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Odborné publikace v databázových zdrojích na internetu.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.**

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

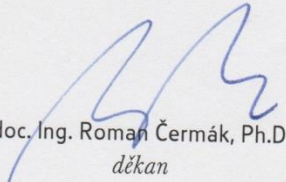
Datum zadání bakalářské práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**23. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



  
doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.  
ředitel ústavu



Příjmení a jméno: ČERNOHOUŠ JIŘÍ

Obor: CHTM3/10ŽP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2014

Jiří Černohouš

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá monitorováním imisní koncentrace oxidu uhličitého na území statutárního města Zlína se zaměřením na lokality s hustou automobilovou dopravou. Měření bylo prováděno na dvou nejvíce zatížených městských křižovatkách, a to u Městského divadla Zlín (v letních měsících) a u pizzerie U Čápa (v zimních měsících). Měření probíhalo v letních měsících (od 2. 7. 2012 do 13. 9. 2012) a zimních měsících (od 20. 11. 2012 do 18. 2. 2013). Během letního měření byly naměřeny hodnoty koncentrací CO<sub>2</sub> v rozmezí od 283 ppm do 614 ppm. Během zimního měření byly naměřeny hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v rozmezí od 365 ppm do 687 ppm. Naměřené hodnoty koncentrací byly závislé na hustotě automobilové dopravy a meteorologických podmínkách. Naměřených hodnot imisních koncentrací nad 500 ppm bylo dosaženo při relativně nízkých hodnotách horizontálních složek rychlostí proudění vzduchu. Na lokalitě pizzerie U Čápa byly naměřeny přes poloviční frekvenci dopravy průměrné imisní koncentrace CO<sub>2</sub> zhruba o 100 ppm vyšší, než u Městského Divadla ve Zlíně. Měření probíhala v zimním období, kdy na aktuální velikosti koncentrací mělo největší vliv vytápění budov a zeslabení fotosyntézy rostlin, které v tomto období nastává.

Klíčová slova: monitoring, oxid uhličitý, imisní koncentrace oxidu uhličitého, křižovatka, automobilová doprava, rychlost proudění vzduchu.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with monitoring the immission concentration of carbon dioxide in the territory of the statutory city of Zlín, focusing on areas with dense automobile traffic. Measurements were performed on the two most contaminated urban intersections and at the Zlín City Theatre (summer) and at the pizza U Čapa (winter). Measurement took place in the summer months (from July 2, 2012 to September 13, 2012) and winter (from November 20, 2012 to February 18, 2013). During the summer measurements the imission of CO<sub>2</sub> concentration ranging from 283 ppm to 614 ppm were measured. During the winter measurements the imission of CO<sub>2</sub> concentration ranging from 364 ppm to 687 ppm were measured. Measured values of concentrations were depended on the density of automobile traffic and weather conditions. Measured values of ambient concentrations above 500 ppm were achieved at relatively low values of the horizontal components of air velocity. At the location of pizza U Čapa, despite the fact that the frequency of transport here was halved,

th average CO<sub>2</sub> concentration was about 100 ppm higher than those near the Zlin City Theatre. Measurements were carried out in the winter, when the CO<sub>2</sub> concentration was greatly influenced by house heating and weakened photosynthesis, which occurs during this period.

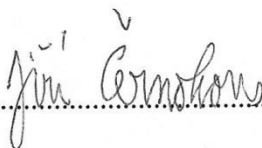
Keywords: monitoring, carbon dioxide, immission concentration of carbon dioxide, intersection, automobile traffic, air velocity.

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně 12.5.2014

  
.....

Podpis studenta



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZVYŠOVÁNÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V TROPOSFÉŘE</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI OXIDU UHLIČITÉHO .....	12
1.2 ZVYŠOVÁNÍ KONCENTRACE CO <sub>2</sub> V TROPOSFÉŘE.....	13
1.3 ZDROJE EMISÍ OXIDU UHLIČITÉHO .....	14
1.3.1 Emise oxidu uhličitého spalovacími procesy .....	14
1.3.2 Přírodní zdroje emisí oxidu uhličitého .....	15
1.3.3 Riziko spojené se zvyšováním koncentrace oxidu uhličitého.....	15
<b>2 METODY STANOVENÍ OXIDU UHLIČITÉHO V OVZDUŠÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 METODA INFRAČERVENÉ ABSORPČNÍ SPEKTROSKOPIE .....	16
2.1.1 Čidla NDIR (nedisperzní infračervené spektroskopie).....	17
2.2 TYPY ANALYZÁTORŮ CO <sub>2</sub> V OVZDUŠÍ .....	18
<b>3 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V MĚSTSKÝCH LOKALITÁCH</b> .....	<b>19</b>
3.1 KONTINUÁLNÍ A JEDNORÁZOVÉ MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO V BRNĚ.....	19
3.1.1 Kontinuální měření.....	19
3.1.2 Jednorázové (diskontinuální) měření .....	21
3.2 TOKY OXIDU UHLIČITÉHO PŘES MĚSTSKOU OBLAST ESSEN V NĚMECKU .....	22
3.3 PĚTILETÉ MĚŘENÍ TOKŮ OXIDU UHLIČITÉHO V PŘEDMĚSTSKÉ OBLASTI S BOHATOU VEGETACÍ.....	24
3.4 MĚŘENÍ KONCENTRAČNÍCH TOKŮ OXIDU UHLIČITÉHO V MĚSTSKÉM PROSTŘEDÍ V MELBOURNE, V AUSTRÁLII .....	24
3.5 TOKY OXIDU UHLIČITÉHO Z MĚSTSKÉ OBLASTI V PEKINGU .....	25
3.6 KONTROLY MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO A JEHO TOKŮ NAD CENTREM LONDÝNA.....	26
3.7 LOKÁLNÍ ROZSAH TOKŮ OXIDU UHLIČITÉHO V MĚSTSKÉM PROSTŘEDÍ V CHICAGU.....	28
3.8 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO NA MĚŘÍCÍ STANICI MAUNA LOA NA HAWAJI .....	30
3.9 SLEDOVÁNÍ ROSTOUCÍCH KONCENTRACÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ NA ATMOSFÉRICKÉ STANICI KŘEŠÍN U PACOVA .....	30
3.9.1 Eddy-kovarianční měření v agroekosystému v Křešíně u Pacova .....	32

3.10	DYNAMIKA KONCENTRACÍ OXIDU UHLIČITÉHO VE VOLNÉ KRAJINĚ MORAVSKÉHO KRASU A JEJICH VZTAH K METEOROLOGICKÝM PRVKŮM .....	33
------	---	----

<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
4.1	MĚŘICÍ PŘÍSTROJ - ANALYZÁTOR PLYNŮ TESTO 535 .....	36
4.2	OBECNÁ CHARAKTERISTIKA OKRESU ZLÍN .....	37
4.3	MAPA VYBRANÝCH LOKALIT .....	38
4.4	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT .....	40
4.5	TABULKY NAMĚŘENÝCH A ZPRACOVANÝCH HODNOT .....	41
<b>5</b>	<b>DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>53</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>69</b>

## ÚVOD

Koncentraci oxidu uhličitého v městských aglomeracích nejvíce ovlivňují spalovací procesy v automobilových prostředcích (respektive spalování uhlíkatých pohonných hmot) a městská zeleň, která spotřebovává vznikající oxid uhličitý při fotosyntéze. Zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v troposféře je v posledních letech velmi diskutovaným tématem. S neustálým narůstáním automobilové dopravy dochází ke zvyšování koncentrace tohoto oxidu v ovzduší. Cílem mé bakalářské práce je zhodnotit vývoj úrovně koncentrace oxidu uhličitého ve vybraných lokalitách statutárního města Zlín v období od roku 2012 do roku 2013 se zaměřením na lokality zatížené dopravou, tedy na křižovatky v dané oblasti města Zlína.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZVYŠOVÁNÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V TROPOSFÉŘE

## 1.1 Základní charakteristika a vlastnosti oxidu uhličitého

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu. Při vyšších koncentracích působí štiplavě na sliznice a vytváří kyselou chuť, neboť se rozpouští na vlhkých sliznicích za vzniku slabého roztoku kyseliny uhličitě. V kapalném stavu může existovat při tlaku vyšším než 500 kPa. Jeho hustota činí při 0°C 1,98 kg.m<sup>-3</sup> (v plynném stavu), což odpovídá hustotě cca 1,5 krát vyšší než je hustota vzduchu (1,29 kg.m<sup>-3</sup>). Pokud nastane případ, že se oxid uhličitý ochladí pod teplotu -78°C, tak přechází do tuhého skupenství. Vzniká tzv. suchý led.

Vzniká dokonalým spalováním uhlíku (hoření za dostatečného přístupu kyslíku):



Oxid uhličitý vzniká též při buněčném dýchání (respiraci), tj. při oxidaci sacharidů kyslíkem na oxid uhličitý a vodu, při kterém se chemická energie vazeb sacharidů uvolňuje za vzniku energetického zdroje pro buňky ATP. ATP = adenosintrifosfát. Rozklad ATP na ADP a P (adenosindifosfát a fosfát) je doprovázeno uvolněním značného množství energie, která se využívá při téměř všech buněčných pochodech [1].

Rovnice buněčného dýchání:





## 1.2 Zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> v troposféře

Koncentrace atmosférického oxidu uhličitého v průběhu posledních staletí vzrostla o 39 % a to z cca 0,028 % (280 ppm) v roce 1750 na 0,039 % (390 ppm) v současné době. Předpokládá se, že největší podíl na tomto zvýšení má lidská činnost, to především spalování fosilních paliv. Oxid uhličitý je skleníkový plyn, který zároveň s ostatními skleníkovými plyny (metan, vodní pára, N<sub>2</sub>O, ozon, freony) napomáhá ke globálnímu oteplování planety. Princip skleníkového efektu spočívá v tom, že tyto plyny absorbují infračervené záření (dlouhovlnné tepelné záření) vyslané zemským povrchem všemi směry do Vesmíru, což následně způsobuje oteplování spodní vrstvy atmosféry a samozřejmě také zemského povrchu. Podíl jednotlivých plynů na skleníkovém efektu nezávisí jen na jejich koncentraci, ale také na účinnosti pohlcování a vyzařování dlouhovlnného záření a době setrvání v atmosféře. Podle současných názorů publikovaných IPCC je podíl oxidu uhličitého na skleníkovém efektu asi 26 %; ovšem odhady jednotlivých autorů se značně liší od 9 % až po 36 %. Bylo stanoveno, že oxid uhličitý má nižší radiační sílu (relativní příspěvek k IČ absorpci vztažené na jednotku hmotnosti dané látky v atmosféře) než vodní pára, metan nebo ozon (CO<sub>2</sub> 1, CH<sub>4</sub> 23, N<sub>2</sub>O 296). To znamená, že tyto látky lépe absorbují infračervené záření než oxid uhličitý. Tedy oteplují spodní vrstvu atmosféry a zemský povrch intenzivněji než oxid uhličitý. Globální oteplování je jedním z rizik zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> v troposféře. Jako jeho následky bych uvedl například tání ledovců a následné zvyšování hladin moří a oceánů. S rostoucím globálním oteplováním planety se zvyšuje koncentrace oxidu uhličitého v troposféře a to tak, že dochází k uvolňování CO<sub>2</sub> z hladin moří a oceánů do ovzduší vlivem zvýšené teploty spodní vrstvy atmosféry. Do moří a oceánů se oxid uhličitý dostává absorpcí z ovzduší. I když oxid uhličitý není jediným skleníkovým plynem a z hlediska přirozeného skleníkového efektu ani nejvýznamnějším, je rozhodující z hlediska tzv. antropogenního (člověkem zesíleného) skleníkového efektu, na kterém se podílí asi z 64 %. Odhaduje se, že člověk dodává ročně do atmosféry přibližně 25 - 30 mld. t CO<sub>2</sub> ročně, což je asi 5 % celkových emisí z přírodních zdrojů. Antropogenní činností člověka se koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře neustále zvyšuje. V průběhu tisíců let však vždy bylo přirozené množství emisí CO<sub>2</sub> z oceánů a přírodních ekosystémů dostatečně vyrovnáváno přibližně stejným množstvím tohoto plynu, které bylo z atmosféry odnímáno přírodními procesy (fotosyntéza, pohlcování oceány, apod.). Zvýšené antropogenní emise však tuto rovnováhu narušily [2].

### 1.3 Zdroje emisí oxidu uhličitého

K emisím CO<sub>2</sub> přispívá v současnosti přibližně ze 70 – 90 % spalování fosilních paliv, která jsou využívána v dopravě, výrobních procesech (hutě, cementárny), k výrobě elektřiny a tepla (resp. chlazení a klimatizace), apod. Významným zdrojem CO<sub>2</sub> jsou cementárny a vápenky, kde dochází k žhání vápence (tepelný rozklad) za vzniku páleného vápna (oxidu vápenatého) a oxidu uhličitého.



Zpracování celulózy a dřeva, jako například výroba papíru z celulózy pro papírenský průmysl také přispívá ke zvyšování emisí oxidu uhličitého v troposféře. Zbývající část emisí CO<sub>2</sub> pochází z aktivit souvisejících s využíváním přírodních ploch (zemědělská a lesnická činnost).

#### 1.3.1 Emise oxidu uhličitého spalovacími procesy

V ČR k emisím oxidu uhličitého ze spalovacích procesů přispívají nejvíce tuhá paliva, v menší míře pak kapalná a plynná paliva. Mohou se spalovat jak paliva fosilní, tak i biomasa. Mezi fosilní paliva řadíme například ropu, zemní plyn nebo uhlí. Typickým příkladem biomasy je třeba dřevo, bionafta nebo bioplyn. Lze tedy říct, že v současné době se na produkování emisí CO<sub>2</sub> spalovacími procesy podílí zejména energetický průmysl (např. tepelné elektrárny) a doprava. V ČR došlo mezi roky 1990 a 2011 došlo k poklesu emisí oxidu uhličitého o 30,7 %. Pokles emisí na začátku 90. let byl dán útlumem a restrukturalizací některých průmyslových odvětví, ke konci období byl pokles emisí způsoben úsporami a zaváděním nových technologií. Opačná situace je v dopravě, kde je od roku 1990 patrný více než dvojnásobný nárůst (2,5krát).

Emise oxidu uhličitého dopravou

Jedná se především o spalování motorové nafty nebo automobilových benzínů. Množství CO<sub>2</sub> emitovaného z motorových vozidel je závislý na velikosti spotřeby pohonných hmot. V Evropské unii v roce 1995 činil podíl dopravy na produkci CO<sub>2</sub> až 22,5 %. V ČR z celkových emisí z dopravy v tomto roce vyprodukovala silniční doprava téměř 93 % emisí CO<sub>2</sub>. Doprava železniční vyprodukovala u nás v tomto roce 4,4 % emisí CO<sub>2</sub>. V roce 2006 v ČR vyprodukovala nejvíce emisí doprava silniční, a to téměř 93 % emisí CO<sub>2</sub>. Oproti tomu železniční doprava s motorovou trakcí vyprodukovala v tomto roce jen 1,4 % emisí CO<sub>2</sub>. S přibývajícím roky emise CO<sub>2</sub> rostou v důsledku neustále se zvyšujícího počtu automobilů. [3, 4, 5].

### 1.3.2 Přírodní zdroje emisí oxidu uhličitého

Přírodním zdrojem oxidu uhličitého může být i vulkanická činnost. Tato činnost ovlivňuje atmosférické pochody, a to ve všech měřítkách (lokálně, regionálně i globálně). V globálním měřítku pochází ze sopečné činnosti méně než 1 % celkového CO<sub>2</sub> a proto jde o téměř zanedbatelný příspěvek ke globálním koncentracím. Sopečná činnost byla již po tisíce let součástí přírodního cyklu.

Zdrojem emisí oxidu uhličitého v troposféře mohou být emise způsobené požáry. Zde vzniká CO<sub>2</sub> při dokonalém spalování dřeva (př. lesní požáry) [6].

### 1.3.3 Riziko spojené se zvyšováním koncentrace oxidu uhličitého

Kromě výše zmíněného globálního oteplování se jedná se o ovlivňování vzniku kyselých dešťů nebo zvětrávání půd. Kyselá deště vznikají reakcí vzdušné vlhkosti nebo vodní páry s oxidem uhličitým obsaženým v ovzduší. Vzniká slabý roztok kyseliny uhličitě. Zvětrávání půd probíhá obdobně jako vznik kyselých dešťů, ale s tím rozdílem, že dochází navíc k reakci kyseliny uhličitě s daným půdním materiálem. Je to postupný proces.



## 2 METODY STANOVENÍ OXIDU UHLIČITÉHO V OVZDUŠÍ

Na měření  $\text{CO}_2$  v ovzduší se využívá několik principů. Z nich nejznámější je metoda infračervené absorpční spektroskopie. Dále to mohou být metody, kde čidla detektoru pracují na elektroakustickém nebo elektrochemickém principu. Jednotlivé metody měření mají své výhody, ale i nevýhody.

### 2.1 Metoda infračervené absorpční spektroskopie

Absorpce záření v neionizovaném plynu se nachází v pásmu vlnové délky, které odpovídá IČ záření, tedy v rozmezí  $7,6 \cdot 10^{-7}$  m až  $1,0 \cdot 10^{-5}$  m. K absorpci infračerveného záření dochází u kapalin a plynů, které mají ve své struktuře alespoň dva rozdílné atomy prvků, např.  $\text{CO}_2$ . Speciální optika, která toto měření zajišťuje, rozloží elektromagnetické spektrum a vyfiltruje z něj složky na požadovanou vlnovou délku (pomocí optického hranolu). Přístroj TESTO 535 (viz kapitola 4.1), pomocí kterého jsem prováděl vlastní měření, pracuje právě na principu IČ absorpční spektroskopie (změny emise, absorpce a reflexe elektromagnetického záření). Princip měření přístroje spočívá v tom, že zdroj IČ záření v přístroji (LED – Light-Emitting Diode, zahřátá na teplotu cca  $700\text{ }^\circ\text{C}$ ) vyšle paprsky IČ záření do plochých zrcadel. Na plochých zrcadlech dochází k odrazu paprsků infračerveného záření do měrné kyvety se vzorkem vzduchu a do referenční kyvety s kalibračním vzorkem s přesně známým obsahem oxidu uhličitého. V kyvetách dochází k absorpci paprsků IČ záření a nakonec, pomocí detektoru k jeho detekci. Měřený a kalibrační vzorek se střídají v poloze mezi zdrojem a detektorem. Míra absorpce IČ záření je přímo úměrná množství  $\text{CO}_2$  obsaženého ve vzorku. Díky změně IČ záření, která je změřena pomocí detektoru a posléze převedena na elektrický signál, se určuje změna oxidu uhličitého. Pomocí srovnání s kalibračním vzorkem se známým množstvím oxidu uhličitého pak můžeme získat i absolutní hodnotu množství oxidu uhličitého v ovzduší [7, 8].

Absorpce elektromagnetického IČ záření plynu v přístroji TESTO 535 se řídí Lambert-Beerovým zákonem:

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c \quad (5)$$

$\varepsilon$  = molární absorpční koeficient, který je závislý na druhu plynu, vlnové délce a koncentraci plynu [ $\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ],

$l$  = optická dráha paprsku plynu, nebo též i tloušťka kyvety [m],

$c$  = koncentrace plynu [ $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ],

$A$  = záporný dekadický logaritmus transmitance.

### 2.1.1 Čidla NDIR (nedisperzní infračervené spektroskopie)

Nevýhodou NDIR čidel (Non-Dispersive InfraRed) je jejich vysoká cena. Ale oproti čidlům elektrochemickým mají vyšší přesnost, jsou dlouhodobě stabilnější, a jsou schopna měřit koncentraci již od nulové hodnoty. Dále mají NDIR čidla menší citlivost na tlakové změny, vibrace a akustické interference a mají kompaktní konstrukci. Firma E + E Elektronik, která tyto čidla vyrábí, užívá dva zdroje dvou-paprskové metody zjištění délky IČ záření. První IČ zdroj se používá ke snímání koncentrace  $\text{CO}_2$  a generuje IČ signál každých 30 sekund. Druhý zdroj IČ záření slouží jako referenční zdroj a používá se pouze pro auto-kalibraci. Tento zdroj je aktivován 2x za 24 hodin. Porovnáním signálu z měřicího a kalibračního zdroje se zjišťuje, zda nedošlo k zestárnutí snímacího zdroje, popř. je provedena korekce vyhodnocení signálu. Výhody E + E elektronik NDIR snímání  $\text{CO}_2$  jsou především ve snadné kompenzaci díky IČ referenčnímu zdroji, nebo v použití jednoduchého IR-filtru [9].



## 2.2 Typy analyzátorů CO<sub>2</sub> v ovzduší

Tabulka 1 Některé typy analyzátorů oxidu uhličitého

<b>VOLTCRAFT CM-100</b>	Měří koncentraci CO <sub>2</sub>
	Měří teplotu v ovzduší
	Interval měření = 2 minuty
	Ukazuje vždy aktuální koncentrace v ppm
	Vysílá akustický signál při překročení prahové koncentrace [10].
<b>VOLTCRAFT - Měřič ovzduší oxidu uhličitého s USB dataloggerem CO-100</b>	Měří koncentrace CO <sub>2</sub> , teplotu v ovzduší a vlhkost vzduchu
	Měří koncentrace CO <sub>2</sub> v místnostech (kanceláře, školy)
	Při překročení prahové hodnoty vyše signál, že je potřeba místnost vyvětrat [11].
<b>AQ 200 se záznamem</b>	Uchová v paměti až 8000 hodnot
	Obsahuje maximálně 6 úrovní měření [12].
<b>AIR CO<sub>2</sub>control 3000</b>	Obsahuje 24 hodin datového záznamu. Pracuje na principu NDIR [13].

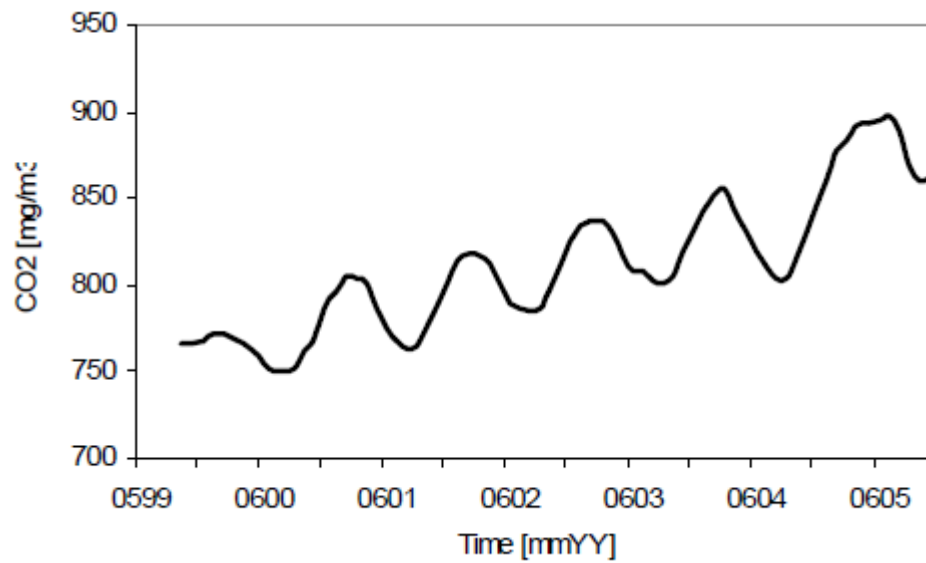
### 3 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO V MĚSTSKÝCH LOKALITÁCH

#### 3.1 Kontinuální a jednorázové měření oxidu uhličitého v Brně

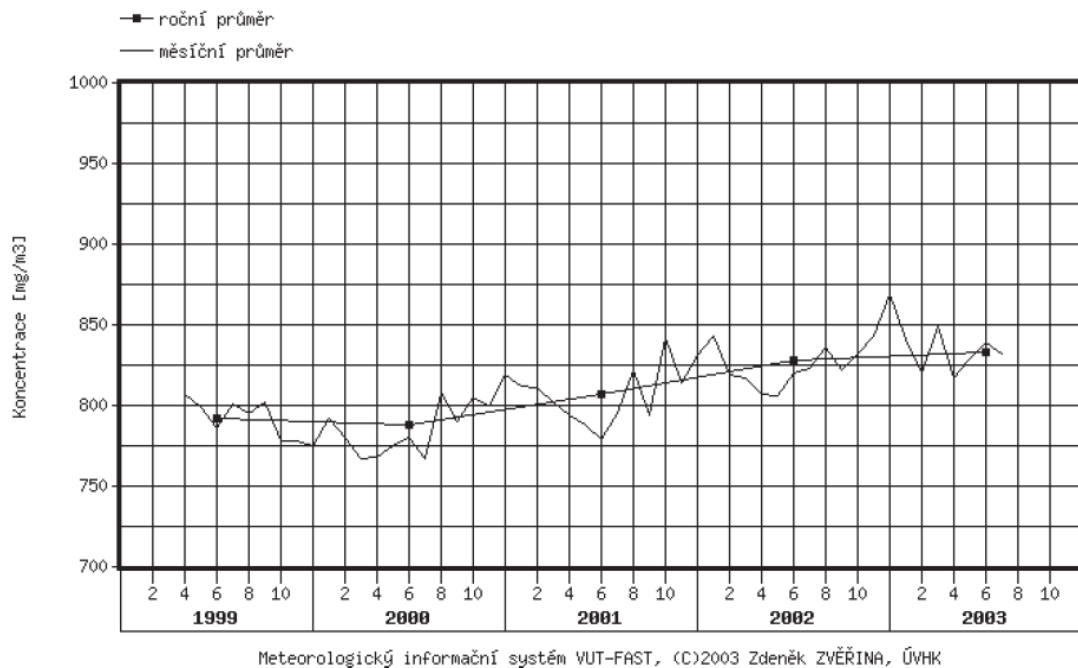
V ČR se podle dostupných informací koncentrace oxidu uhličitého v městských oblastech nemonitoruje. Monitoring se neprovádí, protože CO<sub>2</sub> je přirozenou součástí zemské atmosféry, tudíž neznečišťuje životní prostředí v klasickém slova smyslu. Nicméně byl proveden výzkum, který se zabýval sledováním a hodnocením vývoje koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší ve městě Brně. Brno je druhé největší město v ČR a jako takové je velkým zdrojem CO<sub>2</sub> do ovzduší. V Brně žije něco kolem 400 000 obyvatel. Od roku 1990 se zvýšila četnost dopravy v tomto městě o 80 % a v současné době zde připadá asi 400 automobilů na 1000 obyvatel. Na nejrušnější ulici v Brně je provoz kolem 50 000 vozů za den. Intenzita dopravy na ulici, na které probíhala měření, činila cca 18 000 vozidel za den.

##### 3.1.1 Kontinuální měření

Kontinuální měření emisí oxidu uhličitého v Brně bylo započato v areálu Stavební fakulty VUT v dubnu roku 1999. Dále pokračovalo kontinuálním způsobem až do července roku 2003. Tato měření provedla Helena Králová, Pavla Vybíralová a Jitka Malá. Použily k tomu přístroj Multigas monitor typu 1302. Přístroj zaznamenával v hodinových intervalech koncentraci plynů (kromě CO<sub>2</sub> též N<sub>2</sub>O a vodní páry). Měření probíhalo ve výšce cca 2 metry nad úrovní ulice se středním dopravním zatížením. Z předchozího výzkumu v Brně činila průměrná hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> 1057 mg.m<sup>-3</sup>. Tato hodnota byla naměřena v listopadu roku 2002 (autobusová zastávka na křižovatce Zvonařka, viz kapitola 3.1.2). Koncentrace 1057 mg.m<sup>-3</sup> byla maximální hodnota z jednodenního měření z různých částí města, a proto je pravděpodobnost překročení této hodnoty velmi vysoká. Během tohoto šestiletého měření bylo naměřeno téměř 60 000 hodnot. Vyhodnocení údajů vyplývalo z ročního, týdenního a denního cyklu koncentrací CO<sub>2</sub>.



Obr. 1 Měsíční klouzavý průměr koncentrací CO<sub>2</sub> během ročních cyklů (měřeno v 15:00 hodin) [14]



Meteorologický informační systém VUT-FAST, (C)2003 Zdeněk ZVĚŘINA, ÚVHK

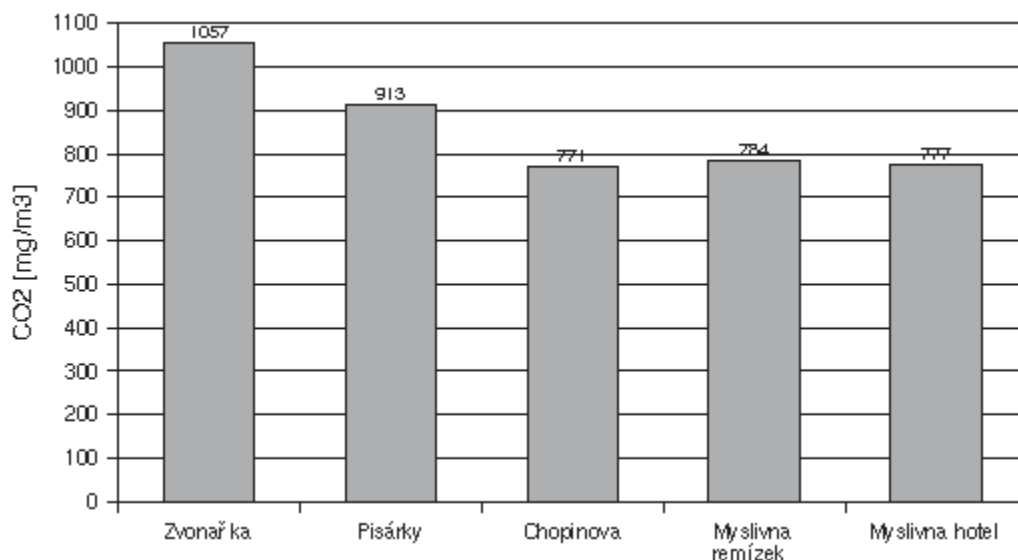
Obr. 2 Průměrné měsíční a roční koncentrace CO<sub>2</sub> v období od dubna roku 1999 do července roku 2003 [14]

Závěrečné shrnutí:

Od dubna roku 1999 do července roku 2003 byl z naměřených hodnot vypočítán měsíční a roční průměr koncentrací CO<sub>2</sub>. Minimum bylo naměřeno v červenci roku 2000 (cca 768 mg.m<sup>-3</sup>) vlivem vegetace v letním období. Maximum bylo naměřeno v prosinci 2002 (cca 866 mg.m<sup>-3</sup>) vlivem emisí z domácího vytápění a z důvodu vegetačního klidu rostlin během zimního období. Rozdíl mezi naměřeným maximem a minimem koncentrací činil 98 mg . m<sup>-3</sup>. Týdenní cyklus vykazoval většinou vyšší hodnoty koncentrací během pracovních dnů oproti víkendům, kdy je frekvence dopravy nižší. Hodnoty koncentrací během denního cyklu byly úzce spjaty s intenzitou slunečního záření (v noci je koncentrace CO<sub>2</sub> vyšší, jelikož CO<sub>2</sub> je produktem buněčného dýchání, které probíhá za tmy). Průměrný roční přírůstek koncentrace CO<sub>2</sub> za celé monitorovací období činil 18,88 mg.m<sup>-3</sup> [14].

**3.1.2 Jednorázové (diskontinuální) měření**

V listopadu 2002 bylo současně provedeno i jednorázové měření CO<sub>2</sub> - a to v různých částech města. Měření bylo provedeno na křižovatce Zvonařka (autobusové nádraží – extrémně zatížený dopravní uzel). Dále se jednalo o křižovatku v Pisárkách (u Brněnské vodárny – velká hustota dopravy). Další jednorázové měření bylo provedeno na sídlišti Kohoutovice – Chopinova (na kopci u lesa). Zde bylo čisté, dopravou téměř nezatížené prostředí. Poslední jednorázové měření bylo provedeno v areálu Myslivny (v remízku u hotelu a na balkon hotelu). Toto prostředí bylo velmi čisté bez dopravního zatížení. Měření na každé lokalitě probíhalo cca 20 minut (6 až 8 měření), tedy celá akce trvala dvě hodiny. Povětrnostní podmínky byly na všech místech velmi podobné.



Obr. 3 Průměrné koncentrace CO<sub>2</sub> na jednotlivých lokalitách [15]

#### Závěrečné shrnutí:

Z obr. 3 je patrné, že nejvyšší koncentrace byly naměřeny na místech s vysokým dopravním zatížením. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v lokalitě autobusového nádraží Zvoňarka, kde koncentrace CO<sub>2</sub> činila 1057 mg.m<sup>-3</sup>. Koncentrace CO<sub>2</sub> klesala od středu města směrem k jeho okrajovým částem [15].

### **3.2 Toky oxidu uhličitého přes městskou oblast Essen v Německu**

Měření prováděli Klaus Kordowski a Wilhelm Kuttler od září 2006 do října 2007. V tomto období měřili turbulentní toky oxidu uhličitého na městské věžové stanici v Essen v Německu. Tato oblast byla velmi hustě obydlená, tedy něco kolem 5 200 000 obyvatel. Studie probíhala ve vzdálenosti asi 3 km jihozápadně od centru města, na hranici mezi městským parkem (70 ha) na jihozápadě od stanice a mezi příměstskou/městskou obytnou oblastí (na severu a na východě) od měřicí věže ve výšce 26 metrů nad zemí. Toky oxidu uhličitého v městské oblasti byly nejvíce ovlivněny antropogenními emisemi (z domácího vytápění a dopravy) a průměrný tok  $F_{CO_2}$  činil  $9,3 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . V oblasti parků byla naměřena koncentrace toků oxidu uhličitého o hodnotě  $0,8 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Denní průběh toků CO<sub>2</sub> během vegetace v letním období dosahoval hodnoty  $-10 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .



Závěrečné shrnutí:

Celkový průměr toků CO<sub>2</sub> činil 4 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> s vyšším průměrem pro městskou oblast (9,3 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), a nižším průměrem pro oblast parků (0,8 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Celkový roční úhrn emisí CO<sub>2</sub> činil 6 031 g.m<sup>-2</sup>. Z výše uvedených zjištěných hodnot vyplývá, že městská oblast je zdrojem emisí CO<sub>2</sub> do ovzduší.

Vztah pro výpočet koncentračního toku oxidu uhličitého F<sub>CO<sub>2</sub></sub> (μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>):

$$F_c = \overline{w' \rho'_c} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} [(w_k - \overline{w_k})(\rho_{ck} - \overline{\rho_{ck}})] \quad (6)$$

$\overline{w_k}$  = střední hodnota rychlosti vertikální složky proudění vzduchu během celého intervalu měření [m.s<sup>-1</sup>],

$w_k$  = aktuálně změřená rychlost vertikální složky proudění vzduchu [m.s<sup>-1</sup>],

$\overline{\rho_{ck}}$  = střední hodnota molární hustoty (molární koncentrace) CO<sub>2</sub> během celého intervalu měření [mol.m<sup>-3</sup>],

$\rho_{ck}$  = aktuálně změřená hodnota molární hustoty (molární koncentrace) CO<sub>2</sub> [mol.m<sup>-3</sup>],

$$\rho_{CO_2} = \frac{\rho}{M} \quad (7)$$

$\rho$  = hustota (hmotnostní koncentrace) [kg.m<sup>-3</sup>],

$M$  = molární hmotnost [kg.mol<sup>-1</sup>] – uvedeno v základních jednotkách soustavy SI) [16].

### 3.3 Pětileté měření toků oxidu uhličitého v předměstské oblasti s bohatou vegetací

Měření prováděli Ben Crawford, C.S.B. Grimmond a Andreas Christen v letech 2002 až 2006 v příměstské části Baltimore v USA na věži vysoké 37,2 metrů nad zemí. Oblast se vyznačovala nízkou hustotou obyvatelstva (1500 obyvatel na km<sup>2</sup>) a bohatou vegetací (67,4% vegetační půdy). Z městských částí zde bylo vyprodukováno 30 % až 40 % antropogenních emisí skleníkových plynů. Celkové denní 24-hodinové emise CO<sub>2</sub> činily 4,0 g.C.m<sup>-2</sup> v zimě, 0,54 g.C.m<sup>-2</sup> na jaře a 0,68 g.C.m<sup>-2</sup> na podzim. Denní úhrn emisí CO<sub>2</sub> během léta činil - 1,25 g.C.m<sup>-2</sup>. Přes velké množství vegetace v příměstské oblasti byl čistý uhlík zdrojem v průměru 361 g.C.m<sup>-2</sup> CO<sub>2</sub> za rok. Ve srovnání se zimním měřením byl denní úhrn emisí během léta nižší z důvodu bohaté vegetace, která se v této oblasti vyskytovala. Během zimy nastalo období vegetačního klidu, což mělo za následek vyšší produkci emisí CO<sub>2</sub>, kdy rostliny spotřebovávaly méně CO<sub>2</sub> na fotosyntézu než v období letním. Největší vliv na produkci emisí v této oblasti mělo vytápění budov [17].

### 3.4 Měření koncentračních toků oxidu uhličitého v městském prostředí v Melbourne, v Austrálii

Měření prováděli Coutts, Berringer a Tapper od února 2004 do června 2005. K měření koncentračních toků CO<sub>2</sub> byla použita dvě místa. Jako první místo byl vybrán Preston, což je severní předměstí Melbourne. Toto místo je docela hustě obydlené (nízká hustota oddělenosti bytů) ~ 1248 bytů na km<sup>2</sup>. Jako druhé místo bylo vybráno Surrey Hills, což je východní předměstí Melbourne. Zde je nižší hustota bydlení (~ 1113 bytů na km<sup>2</sup>). Hustota vegetace v Prestonu byla 23 %, v Surrey Hills byla 29 %. V Preston bylo měření prováděno v nadmořské výšce 93 metrů (Preston Tower) a Surrey Hills ve výšce 97 metrů (Surrey Hills Tower). Naměřené údaje byly zjištěny z denního provozu, ranní a večerní špičky a nočního provozu jak ve všední dny, tak i o víkendech. Z denního průběhu toků CO<sub>2</sub> byla zjištěna dvě maxima koncentračních toků. První maximum nastalo v období ranní špičky, mezi 8 a 9 hodinou ranní. Průměrná hodnota koncentračních toků činila 10,9 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, kdy na velikost koncentračních toků CO<sub>2</sub> měl největší vliv nárůst frekvence dopravy. Měření probíhalo mezi 4. červnem a 4. srpnem, což je u nich období zimy. V některých případech dosahovala ranní maxima až hodnoty 35 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Druhé maximum nastalo v období večerním, měřené mezi pátou hodinou odpolední a osmou hodinou večerní, kdy maximum bylo naměřeno v 6:30 p. m. Zde maximum dosahovalo průměrné hodnoty kon-

centračních toků  $11,2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , kde nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  byl zdůvodněn opět nárůstem frekvence dopravy. V jednom případě dosahovalo maximum až hodnoty  $18 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Naměřené hodnoty koncentračních toků během letního období (4. prosinec až 5. únor) byly nižší z důvodu minimalizace spalování zemního plynu (domácí vytápění) a vlivem vegetace. Průměrná hodnota koncentračních toků  $\text{CO}_2$  v Surrey Hills činila  $14 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Zjištěné výsledky ukázaly, že obě místa byly čistým zdrojem emisí  $\text{CO}_2$  do atmosféry [18].

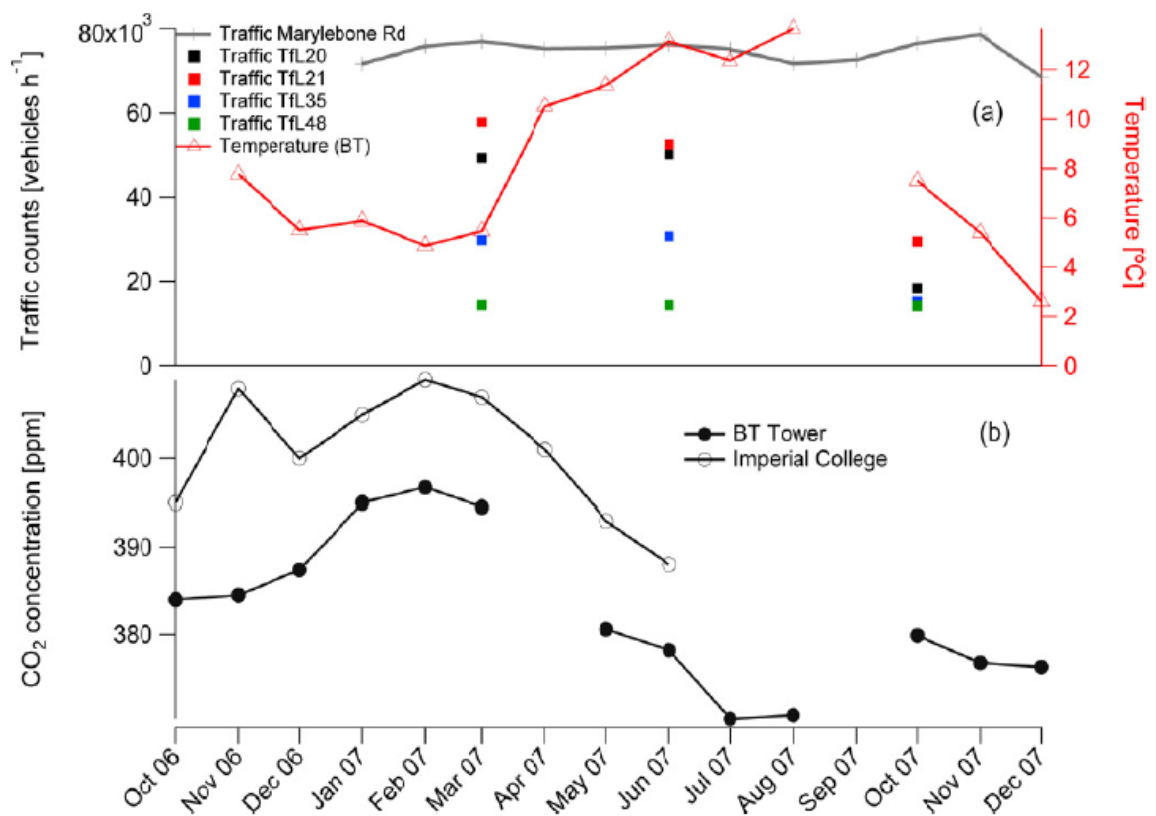
### 3.5 Toky oxidu uhličitého z městské oblasti v Pekingu

Měření prováděli Tao Song a Yuesi Wang od ledna 2008 do prosince 2008. Měřicí studie probíhala na  $39^{\circ}58'$  severně,  $116^{\circ}22'$  východně, v severní 3. Ring Road a severní 4. Rong Road ve vysoce-hustotně obydlené části Pekingu. Vzdálenost měřicí meteorologické věže a nejbližší budovy byla cca 200 metrů. Měření probíhalo na 325 metrů vysoké věži ve výšce 47 metrů každou půlhodinu. Jako veličiny byly měřeny průměrné turbulentní toky  $\text{CO}_2$ , latentní teplo a hybnost. Vyhodnocení probíhalo pomocí softwaru Turbulence Knight 2 (TK2) z University of Bayreuth. TK2 posuzoval kvalitu toku dat pomocí dvou testů. První test byl určen k testování stacionárního stavu. Druhý test byl určen ke srovnávání, měření a modelování integrálních turbulentních vlastností. Průměrné denní toky  $\text{CO}_2$  byly během roku pozitivní. Z naměřených hodnot byla stanovena dvě maxima. První maximum nastalo mezi 07:30 až 09:30, což lze odůvodnit rychlým nárůstem dopravy (ranní špička), kdy koncentrace toků  $\text{CO}_2$  činila  $0,62 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v letních měsících (červen, červenec a srpen) a  $1,34 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v zimě (listopad, prosinec a leden). Druhé maximum nastalo ve večerních hodinách s průměrnou hodnotou maxima  $0,73 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v letních měsících a s průměrnou hodnotou maxima  $1,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v zimních měsících. Toto maximum šlo odůvodnit především antropogenní činností (domácím vytápěním, vařením, atd.). Průměrný denní tok  $\text{CO}_2$  během léta činil  $0,48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , což bylo o 82 % méně než v zimě ( $0,88 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), o 35 % méně než na jaře ( $0,64 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a o 36 % méně než na podzim ( $0,65 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Denní toky  $\text{CO}_2$  během léta byly mírně pozitivní, z důvodu redukce spotřeby paliv za účelem domácího vytápění a vlivem vegetace. Dalším faktorem, který pozitivně ovlivnil měření toků  $\text{CO}_2$  bylo pořádání 29. olympijských her (6. srpen až 20. srpen) a paralympijských her (6. září až 17. září), které se v tomto roce konaly. Během konání OH byly prováděny přísné kontroly provozu ve městě (ve dnech od 20. července do 20. září). Došlo ke snížení frekvence městské dopravy, kdy nebylo dovoleno celkem šedesáti procentům vozi-

del cestovat po městských komunikacích (cca 2 000 000 vozidel denně). Proto byl za září 2008 ( $F_{\text{CO}_2} = 0,40 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) denní tok  $\text{CO}_2$  o  $0,17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  nižší, než za září 2007 ( $F_{\text{CO}_2} = 0,57 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Emise změřené na této meteorologické věži byly podstatně vyšší, než emise změřené v jiných městských a příměstských oblastech a jejich roční úhrn činil  $20,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2} \text{ CO}_2$ . Průměrné měsíční emise  $\text{CO}_2$  nabývaly hodnot od  $41 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  za den (v létě) do  $91 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  za den (v zimě). Oproti Pekingu byl například v Lodži roční úhrn emisí o hodnotě  $10,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , v Kodani  $12,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . I přes konání olympijských her byl roční úhrn emisí  $\text{CO}_2$  v Pekingu vyšší než v Kodani nebo Lodži, protože je výrazně hustěji obydlený a je zde vyšší frekvence dopravy po celý rok [19].

### 3.6 Kontroly měření koncentrace oxidu uhličitého a jeho toků nad centrem Londýna

Měření prováděli C. Helfter, D. Famulary, G.J. Phillips a kolektiv nepřetržitě od října 2006 do května 2008. V Londýně žije cca 8 200 000 lidí, což odpovídá asi 5 300 obyvatel na  $\text{km}^2$ . V centru Londýna je pouze 8% vegetační plochy. Bylo zjištěno, že emise  $\text{CO}_2$  byly převážně řízeny spalováním fosilních paliv (doprava, obchody a domácí vytápění). Měření se provádělo na telekomunikační věži (BT Tower) ve výšce 190 metrů. Vzorky vzduchu byly odebírány 0,3 metru pod hlavicí ultrazvukového anemometru, který byl namontován na třímetrový stožár. Kromě toků  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  zde meteorologové proměřili též i jiné veličiny, jako například teplotu, relativní vlhkost, tlak, srážky a také rychlost a směr větru. Byl k tomu použit přístroj WXT510 značky Vaisala. Na BT Tower byly od října 2006 do prosince 2007 naměřeny hodnoty koncentrací v rozmezí 370 ppm až 397 ppm, kdy maximum koncentrací bylo naměřeno v únoru 2007 a minimum koncentrací bylo naměřeno v červenci 2007. V zimních měsících byla koncentrace vyšší z důvodů vegetačního klidu rostlin a z důvodu většího množství spalování fosilních paliv (například domácí vytápění). Letní emise byly o 20% nižší, než emise zimní. Na věži BT Tower proběhlo srovnání naměřených hodnot koncentrací s věží Imperial College v Londýně (měření probíhalo v nadmořské výšce 87 metrů), která se nachází 3,5 km jihozápadně od BT Tower.

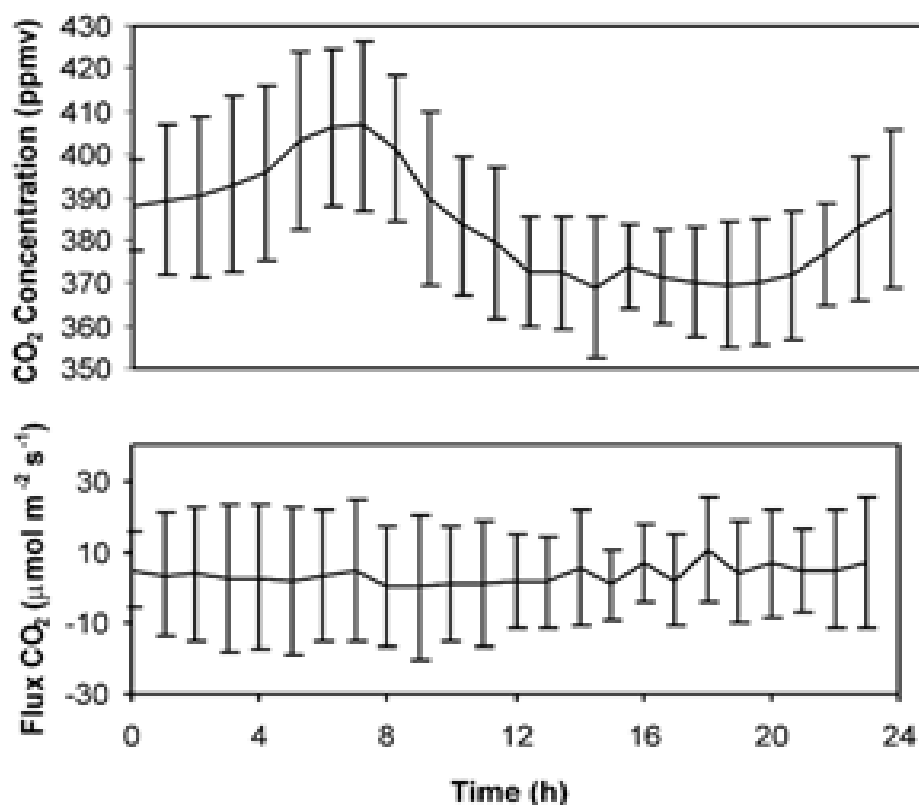


Obr. 4 Naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> v období od října 2006 do prosince 2007 [20]

Grafický průběh koncentrace CO<sub>2</sub> na Imperial College vykazoval podobný trend jako u BT Tower, ale s malým posunem na ose y (o 11,5 ppm výše). Drobná výjimka nastala v listopadu 2006, kde koncentrace v ppm dosáhla hodnoty cca 410 ppm (pro Imperial College). V tomto měsíci byl v naměřených koncentracích na BT Tower a Imperial College rozdíl 23,5 ppm. Hodnoty koncentrací na Imperial College byly vyšší z toho důvodu, že měření probíhalo při nižší nadmořské výšce než na BT Tower, tudíž během měření ještě nedošlo k tak dostatečnému promíchání CO<sub>2</sub> se vzduchem jako na BT Tower. Koncentrační toky CO<sub>2</sub> během letních měsíců nabývaly hodnot od 8 do 35  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Během celého roku nabývaly hodnot od 7 do 47  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Letní úhrn emisí CO<sub>2</sub> činil 567 t.km<sup>-2</sup> za měsíc. Celkový roční úhrn emisí CO<sub>2</sub> v Londýně činil 35 500 t.km<sup>-2</sup> [20].

### 3.7 Lokální rozsah toků oxidu uhličitého v městském prostředí v Chicagu

Měření prováděli C. S. B. Grimmond, T. S. King a kolektiv během léta roku 1995 (v období od 14. června do 11. srpna). Měření povrchově-atmosférických změn  $\text{CO}_2$  bylo provedeno na severozápadním předměstí Chicaga (Illinois  $41^\circ 57'$  – N,  $87^\circ 48'$  – W) na 27 metrů vysoké věži (Aluma Tower Co., model TM-51-35-SS/T-100). Příměstskou oblast pokrývají z 36 % budovy, z 32 % tráva, 7 % pokrývají stromy a keře a 25 % je nepropustných. Stromy na ulicích jsou významnou součástí krajiny Chicaga (zaujímají 10 % celkové plochy města a 24 % celkové zeleně města).



Obr. 5 Průměrné denní vzory koncentrací a koncentračních toků

$\text{CO}_2$  během 13-ti denního měření v Chicagu v jeho příměstské oblasti

[21]

Závěrečné shrnutí:

Průměrná amplituda denního cyklu činila 35 ppmv. Koncentrace během noci rostla až k sedmé hodině ranní, kdy dosáhla úplného maxima o hodnotě 405 ppmv. Poté začala koncentrace klesat, až dosáhla úplného minima nabývajících hodnoty 370 ppmv, které nastalo ve tři hodiny odpoledne. Kolísání koncentrací CO<sub>2</sub> během dne bylo způsobeno především fotosyntézou a vegetačními cykly. Tento denní rozsah koncentrací byl v souladu s rozsahy koncentrací naměřených v jiných městech jako například Phoenix, Arizona 2000; London, UK 1995; Karachi, Pákistán 1990. Toky CO<sub>2</sub> přes zalesněnou příměstskou oblast byly nejvíce ovlivněny (redukovány) fotosyntézou rostlin. Pozitivní toky CO<sub>2</sub> naměřené v nočním období dosahovaly po hodnotu 5 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Průměrné polední toky přes středozápadní zalesněnou část příměstské oblasti nabývaly hodnot v rozmezí od - 20 do - 25 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (červenec/srpen). Ačkoli byly negativní toky zdokumentovány pro konkrétní hodiny (viz obrázek 1b.), tak na celkový průměr za celou dobu měření měly nadále pozitivní vliv. Městský povrch byl vždy čistým zdrojem CO<sub>2</sub> do ovzduší. Městská vegetace měla zjevně během dne vliv na snižování emisí CO<sub>2</sub> do ovzduší, ale to nestačilo na snížení emisí, které vznikají vlivem antropogenní činnosti (ranní a večerní dopravní špička - spalování pohonných hmot v dopravních prostředcích, domácí vytápění) [21].

### **3.8 Měření koncentrace oxidu uhličitého na měřící stanici Mauna Loa na Hawaji**

Dne 9. května 2013 byly zaznamenány na měřící stanici Mauna Loa na Hawaji rekordní hodnoty koncentrace oxidu uhličitého, které dosáhly hodnoty až 400 ppm. Tato hodnota přesahovala kritickou hranici. Měřící stanice na Mauna Loa započala svou činnost v roce 1959, kdy byla naměřena koncentrace 316 ppm. Na začátku průmyslové revoluce dosahovala hodnota koncentrace oxidu uhličitého 280 ppm a od té doby tato koncentrace neustále roste. Hlavní příčinou nárůstu koncentrace oxidu uhličitého a skleníkových plynů bylo podle vědců spalování fosilních paliv. Takto vysoká koncentrace CO<sub>2</sub> byla pravděpodobně v třetihorách, kdy na Zemi bylo výrazně teplejší klima, než v současnosti. Průměrná teplota byla o dva stupně vyšší než v současnosti a hladina moří byla o 20 až 30 metrů vyšší. Podle české Klimatické koalice probíhá nárůst koncentrace CO<sub>2</sub> a skleníkových plynů velmi velkou rychlostí, a proto je nutno tyto emise co nejvíce redukovat. Podle aktivistů u nás v ČR by bylo nejlepším řešením zamezit spalování zemního plynu a uhlí za účelem domácího vytápění [22].

### **3.9 Sledování rostoucích koncentrací skleníkových plynů na atmosférické stanici Křešín u Pacova**

Tuto stanici nechalo postavit Centrum výzkumu globální změny Akademie věd ČR, v.v.i., známé pod zkratkou CzechGlobe.

Pomocí nejmodernější techniky a technologie je výzkum realizován ve třech základních segmentech působení globální změny

1. Atmosféra - vývoj klimatu a jeho modelování,
2. Ekosystémy - dopady globální změny na biologickou rozmanitost a uhlíkový cyklus,
3. Socio-ekonomické systémy - dopady na chování a rozvoj společnosti.

Mezi hlavní činnosti, které jsou nedílnou součástí Centra CzechGlobe patří aktivní činnost směřující k rozvoji inovačních technologických postupů, vzdělávací činnost a návrhy opatření pro adaptaci [23].



Atmosférická stanice byla zprovozněna dne 17. června 2013 v Křešíně u Pacova a slouží jako národní monitorovací bod výskytu a dálkového přenosu skleníkových plynů, vybraných atmosférických polutantů a měření základních meteorologických charakteristik. Dále zkoumá vliv atmosférických aerosolů na procesy globální klimatické změny a vliv globální změny klimatu na čistotu ovzduší a dálkový transport atmosférických polutantů.

Stanice přispívá k naplnění následujících vědeckých cílů ICOS (Integrated Carbon Observation System):

1. Dlouhodobé měření koncentrací skleníkových plynů a dynamiky jejich toků,
2. Poskytování dlouhodobých pozorování potřebných k pochopení současného stavu a předvídání budoucího chování globálního cyklu uhlíku a emisí skleníkových plynů,
3. Sledování a hodnocení účinnosti sekvestrace uhlíku a (nebo) aktivit vedoucích ke snížení emisí skleníkových plynů na globální úrovni, včetně popisu zdrojů a propadů dle geografických oblastí a sektorů činnosti.

Atmosférická stanice sestává z 250 m vysokého kotveného stožáru, z klimatizovaného technologického kontejneru, který se nachází u paty stožáru, a dalšího kontejneru umístěného na samotném stožáru ve výšce 230 m. Z plošin ve výškových úrovních 10, 50, 125 a 230 m jsou první tři osazeny klimatizovanými venkovními rozvaděči. Poslední čtvrtý klimatizovaný rozvaděč je umístěn ve výšce 245 m.

Stanice provádí tato následující měření:

1. Kontinuální – CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, troposférický ozon, celková plynná rtuť,
2. Epizodická – SF<sub>6</sub>, O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, <sup>222</sup>Rn, <sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C a <sup>18</sup>O v CO<sub>2</sub>, toky CO<sub>2</sub>,
3. Semi-kontinuální – EC/OC (elementární a organický uhlík),
4. Optické vlastnosti atmosférických aerosolů (kontinuálně),
5. Absorpci světla na atmosférických částicích,
6. Koeficient rozptylu světla na atmosférických částicích,
7. Meteorologických parametrů – rychlost a směr větru, teplota a tlak vzduchu, relativní vlhkost,
8. Výšku mezní vrstvy atmosféry.

Atmosférická stanice je vybavena příslušným vzorkovacím a měřicím vybavením. Toto vybavení umožňuje stanovení koncentrace klíčových skleníkových plynů a polutantů a

monitoring základních meteorologických parametrů. Tato všechna stanovení probíhají ve vertikálním gradientu.

Vertikální rozložení měření je následující v tomto pořadí:

1. U paty stožáru (EC/OC, Hg, optické vlastnosti aerosolů),
2. 10 m nad zemí (meteorologie, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O),
3. 50 m nad zemí (meteorologie, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O),
4. 125 m nad zemí (meteorologie, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O),
5. 230 m nad zemí (meteorologie, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, <sup>222</sup>Rn, izotopy C a O v CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> [24]).

### **3.9.1 Eddy-kovarianční měření v agroekosystému v Křešíně u Pacova**

Tato sdružená stanice zahrnuje také eddy-kovarianční věž, která slouží k měření turbulentních toků skleníkových plynů mezi atmosférou a místním agroekosystémem a monitoring biogeochemických cyklů v malém povodí Anenského potoka. Eddy-kovarianční metoda (metoda vírové kovariance) je jednou z nejpřesnějších a nejpřímějších způsobů měření toků látek a energie na úrovni celého ekosystému. Jedná se o atmosférickou techniku, která se používá k měření a výpočtu vertikálních turbulentních toků v meziatmosférických vrstvách. Metoda analyzuje vysokofrekvenční proudění vzduchu a koncentraci daného měřeného plynu. Agroekosystém se nachází na Českomoravské vrchovině (540 m nad mořem). Roční průměrná teplota činí 7,1°C a roční úhrn srážek činí 620 mm. Místo se nachází vedle atmosférické stanice ICOS a používá se již desítky let jako zemědělská lokalita. Na poli, kde je měřicí věž umístěna (měření probíhá 2 m nad zemí) se pěstuje ječmen a pšenice. Větrná růžice na měřicí věži zobrazuje převládající směry větru. V období od dubna 2012 do května 2013 převládaly především západní a jihovýchodní větry. V těchto směrech byly naměřeny též nejvyšší rychlosti větru. V tomto období byl tok CO<sub>2</sub> ovlivněn vývojem pěstované plodiny a počasím. Denní chod toku CO<sub>2</sub> vykazoval dynamiku danou různou rychlostí fotosyntézy během bílého dne a respirací v noci. Přestože je obilí jednoletá plodina, tak vykazuje výrazný roční trend v ontogenetickém vývoji. Po roztání sněhu začínají rostliny prudce růst, což pokračuje až do jejich plného vývinu. Příjem oxidu uhličitého ekosystémem je vyšší, než jeho výdej (začátek července 2012). Poté růst poklesne, ale přesto pokračuje až do zežloutnutí plodiny (konec července 2012). V tomto období dochází vlivem

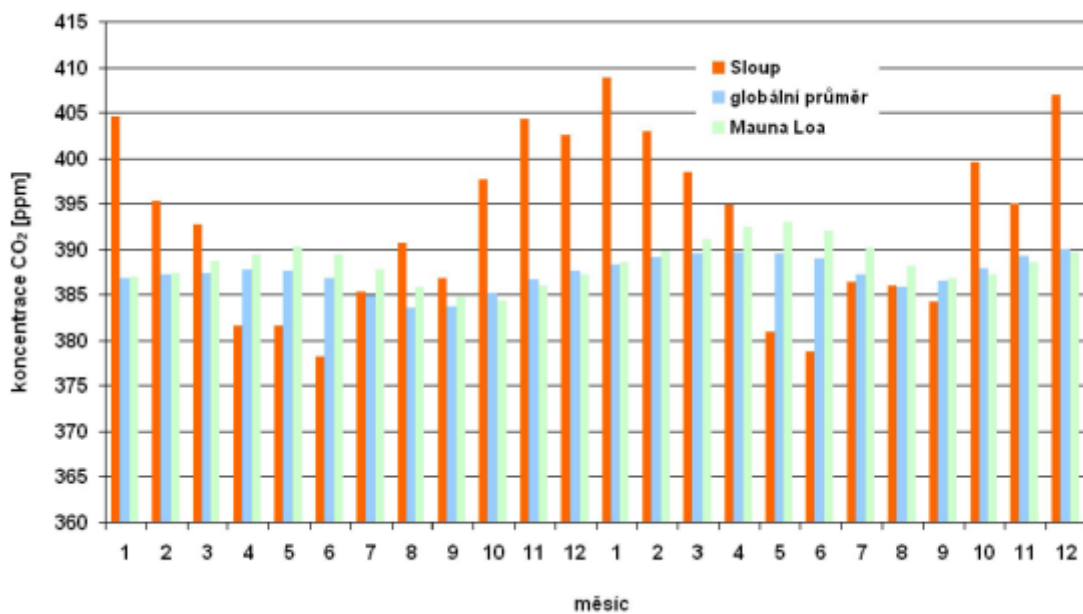
senescence (stárnutí plodin) k rozkladu chlorofylu a tím i k jeho úbytku a výraznému poklesu fotosyntézy. V tomto období již nastává převaha respirace nad fotosyntézou. Po sklizni plodiny a zejména po orbě půdy dochází ke zvýšenému uvolňování oxidu uhličitého do atmosféry. Závěrem bych chtěl dodat, že tok  $\text{CO}_2$  má jasný roční chod v závislosti na vývoji pěstované plodiny. Denní bilance toku  $\text{CO}_2$  je závislá na stupni vývoje pěstované plodiny a meteorologických podmínkách [25].

### **3.10 Dynamika koncentrací oxidu uhličitého ve volné krajině Moravského krasu a jejich vztah k meteorologickým prvkům**

T. Litschmann a kolektiv prováděli měření koncentrací  $\text{CO}_2$  na stanici ve Sloupu v Moravském krasu. Měření koncentrací  $\text{CO}_2$ , teploty, globálního záření a vlhkosti vzduchu byla prováděna ve výšce 2 m nad povrchem. Měření rychlosti a směru větru bylo prováděno na standardním stožáru ve výšce 10 m nad zemí.

Uvedení charakteristik, které zde byly zpracovány:

Denní a roční chod průměrných hodinových koncentrací  $\text{CO}_2$ , průměrné měsíční hodnoty koncentrací  $\text{CO}_2$ , odchylky průměrných denních koncentrací  $\text{CO}_2$ , denní amplitudy koncentrací  $\text{CO}_2$  a jejich vztah k meteorologickým prvkům, denní koncentrace  $\text{CO}_2$  a jejich vztah k meteorologickým prvkům a noční koncentrace  $\text{CO}_2$  a jejich vztah k meteorologickým prvkům.



Obr. 6 Porovnání průměrné měsíční koncentrace CO<sub>2</sub> ve Sloupu s globálním průměrem a s průměrem na světově proslulé observatoři Mauna Loa v letech 2009-2010 [26]

#### Závěrečné shrnutí:

Měřením bylo zjištěno, že měsíční průměry koncentrace CO<sub>2</sub> v ročním chodu měly maximum v lednu a minimum v červnu. V jarních měsících byla koncentrace nižší, což souvisí s rozvojem vegetace, která v tomto období nastává. V roce 2009, kdy byl zaznamenán poměrně rychlý vzestup teplot již koncem března, nastal tento pokles koncentrací již v dubnu, zatímco v roce 2010 s chladnějšími jarními měsíci se tento pokles projevil až v květnových koncentracích. Průměrná koncentrace během celého dvouletého měření ve Sloupu činila 392,7 ppm, pro observatoř Mauna Loa činila 388,6 ppm, a pro celosvětový globální průměr činila 384,7 ppm. Rovněž meziroční přírůstek v letech 2009 a 2010 činil ve Sloupu 1,8 ppm, což velmi dobře odpovídalo meziročním přírůstkům na Mauna Loa (2,4 ppm v roce 2010, 1,86 ppm v roce 2009 a 1,66 ppm v roce 2008). Z těchto výše uvedených údajů bylo zřejmé, že rozdíly v naměřených koncentracích byly velmi malé a měřící stanoviště ve Sloupu poměrně dobře vyjadřovalo podmínky volné krajiny [26].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1 Měřicí přístroj - Analyzátor plynů Testo 535

Tabulka 2 Parametry přístroje Testo 535

Typ senzoru	Dvoukanálový infračervený senzor
Hmotnost	0,3 kg
Napájení	baterie o napětí 9 V
Rozlišení	1 ppm CO <sub>2</sub> (0 ... + 9 999 ppm CO <sub>2</sub> )
Provozní teplota	(0 ... + 50°C)
Měřicí rozsah	(0 ... 9 999 ppm CO <sub>2</sub> )
Teplota při skladování	(- 20 ... + 70°C)
Rozměry	190x57x42 mm
*Doba provozu	6 hodin
Měřené medium	Vzduch (CO <sub>2</sub> ve vzduchu obsažený)
Displej	Dvouřádkový LCD

\*Maximální doba, po kterou lze měřit při jednorázovém nabití baterie.

Obvykle se tímto přístrojem měří koncentrace CO<sub>2</sub> v uzavřených prostorech. Přístroj se vyznačuje vysokou přesností a nevyžaduje opakovanou kalibraci. Díky registraci maximální a střední hodnoty je kdykoliv možno provést dlouhodobou kontrolu. Dvoukanálový infračervený senzor je dlouhodobě stabilní. Dále přístroj obsahuje kalibrační protokol a pevné přípojné čidlo. Přístroj pracuje na principu infračervené absorpční spektroskopie, viz kapitola 2.1 [27, 28].

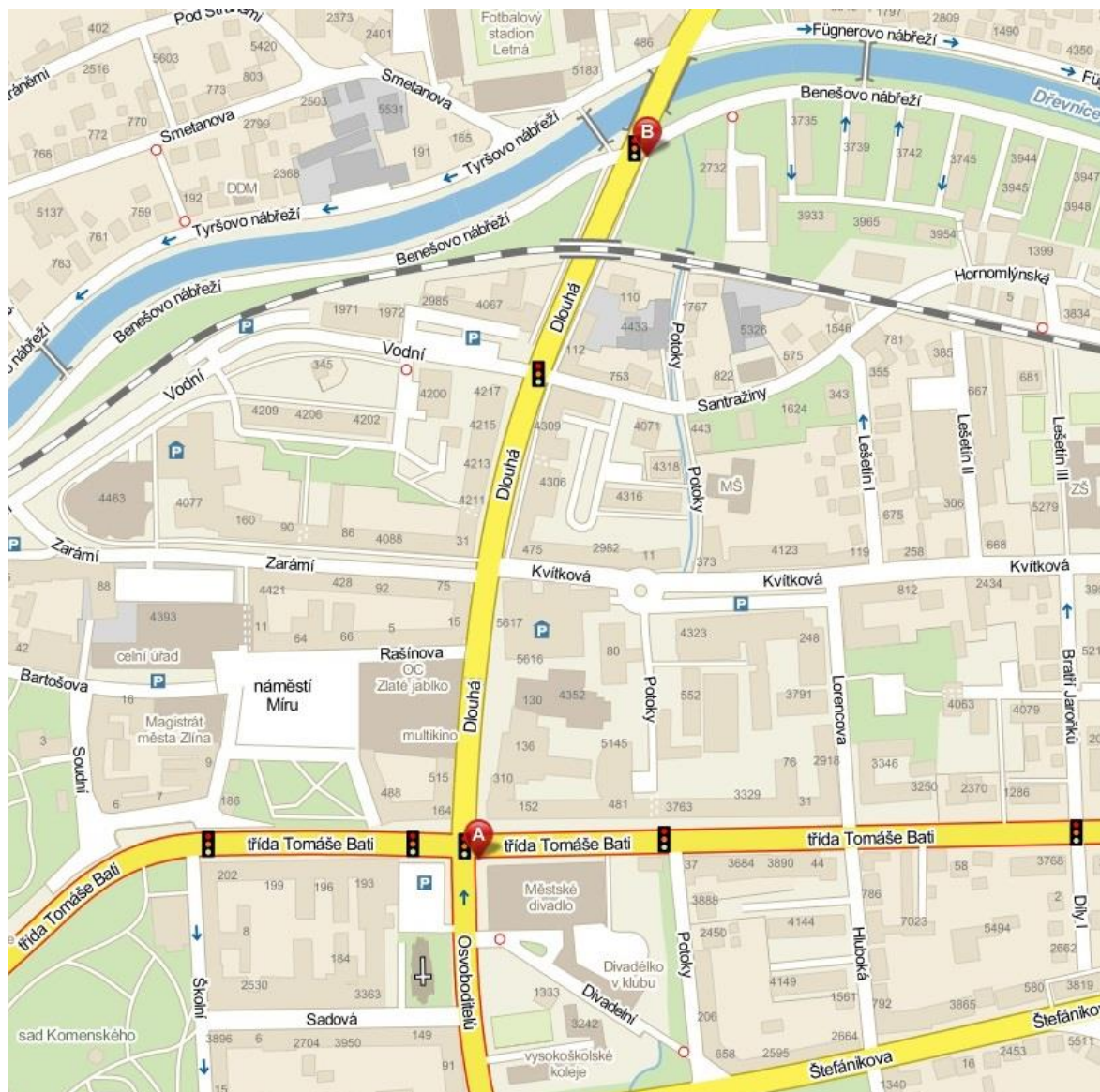


Obr. 7 Analyzátor oxidu uhličitého v ovzduší TESTO 535 [27, 28].

## 4.2 Obecná charakteristika okresu Zlín

Okres Zlín je součástí Zlínského kraje, který vznikl k 1. lednu roku 2000 na základě ustanovení zákona Parlamentu ČR č. 347/1997 Sb., o vytvoření vyšších územních správních celků jako jeden ze čtrnácti krajů české republiky. Nachází se v jeho centrální části. Okres Zlín sousedí se zbylými okresy Zlínského kraje a má rozlohu 1 034 km<sup>2</sup>. Je druhým největším okresem Zlínského kraje a pokrývá 26% jeho území. Pro region jsou typické přírodní i klimatické rozmanitosti. Větší část povrchu je tvořena pahorkovitým a kopcovitým terémem, který místy přechází v hornatinu (na severu v Hostýnské vrchy a na východě v pohoří Bílé Karpaty). Nejnižše položené místo se nachází v nadmořské výšce 183 m, nejvyšší ve výšce 835 m nad mořem. Klimaticky nejprůzračnější oblastí je úzký pruh nížiny Pomoraví v západní části okresu. Převažující východní část okresu náleží do oblasti mírně teplé s průměrnými ročními teplotami 6,7 – 7,6 °C a průměrnými ročními srážkami 746 – 925 mm. Okrajová část okresu s Hostýnskými vrchy a Bílými Karpatami patří do oblasti chladné, kde srážky přesahují 1 000 mm a průměrné roční teploty jsou nižší než 7,1 °C. Lesy zde pokrývají 42 % celkové plochy, na zemědělskou půdu připadá 46 %. Územím protéká jedna z největších českých řek – Morava, do které se v Otrokovicích vlévá řeka Dřevnice, která v regionu pramení. Na 1 km<sup>2</sup> průměrně žije 186 obyvatel [29].

### 4.3 Mapa vybraných lokalit



Obr. 8 Mapa lokalit, na kterých probíhalo měření imisních koncentrací CO<sub>2</sub>



Lokalita A (křižovatka u Městského divadla Zlín) se nachází v centru města Zlína a je charakteristická jako nejfrekventovanější oblast města s vysokým provozem a dopravním uzlem. Jedná se o hlavní tepnu trasy Vizovice - Otrokovice v centru Zlína. Frekvence dopravy na této křižovatce činí v průměru 2 336 motorových vozidel za hodinu. Měření imisí CO<sub>2</sub> zde probíhalo v letních měsících, resp. v období letních prázdnin (od 2. 7. 2012 do 13. 9. 2012) a to diskontinuálním způsobem. Měření probíhalo s využitím analyzátoru CO<sub>2</sub> TESTO 535 ve výšce 1,5 m nad zemí. Čidlo analyzátoru bylo nasměrováno do centra křižovatky směrem na severozápad.

Lokalita B (křižovatka u Kapaba restaurant, dříve pizzerie U Čápa) je charakteristická o něco nižší četností dopravy, než lokalita A (v průměru 1 289 motorových vozidel za hodinu). Nejedná se o nejfrekventovanější oblast města na hlavní tepně Vizovice – Otrokovice, nicméně četnost dopravy je zde též vysoká. Průměrná frekvence dopravy na této křižovatce činí zhruba o 1 000 motorových vozidel za hodinu méně, než na křižovatce u Městského Divadla ve Zlíně. Lokalita se nachází na jižním břehu řeky Dřevnice v bezprostřední blízkosti hustého provozu komunikace směrem na Fryšták. V těsné blízkosti komunikace je park, kde rostou keře, stromy a tráva. Tato městská zeleň má vliv na velikost naměřených imisních koncentrací z důvodu respirace a fotosyntézy této zeleně. Měření zde probíhalo v zimních měsících, a to od 20. 11. 2012 do 18. 2. 2013 též diskontinuálním způsobem. Měření probíhalo s využitím analyzátoru CO<sub>2</sub> TESTO 535 ve výšce 1,5 m nad zemí. Čidlo analyzátoru bylo nasměrováno do centra křižovatky směrem na severozápad.

Lokalita B je vzdálená od lokality A 583 metrů směrem na sever po Dlouhé ulici.

#### 4.4 Zpracování naměřených hodnot

Teplota vzduchu, průměrná rychlost proudění vzduchu a povětrnostní podmínky byly zaznamenány pomocí aktuálního stavu počasí z webových stránek ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) a z internetových stránek [www.meteocentrum.cz](http://www.meteocentrum.cz) pro lokalitu Zlín. Teplota vzduchu, průměrná rychlost proudění vzduchu a aktuální povětrnostní podmínky byly měřeny na standardním stožáru, používaném v síti stanic ČHMÚ, ve výšce 10 m. Měřicí stanice se nachází ve výšce 302 m nad mořem na jižním svahu kopce na Jižních Svazích nad fotbalovým stadionem.

V Tabulkách 3, 4 a 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty imisních koncentrací oxidu uhličitého, teplot vzduchu, průměrných rychlostí proudění vzduchu a povětrnostní podmínky. Měření probíhalo v dopoledních a odpoledních a večerních hodinách na lokalitě křižovatka u Městského divadla během letního období od 2. 7. 2012 do 13. 9. 2012.

V Tabulce 6, 7 a 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty imisních koncentrací oxidu uhličitého, teplot vzduchu, průměrných rychlostí proudění vzduchu, a povětrnostní podmínky. Měření probíhalo v dopoledních, odpoledních a podvečerních hodinách na lokalitě křižovatka u pizzerie U Čápa během zimního období od 20. 11. 2012 do 18. 2. 2013.

Na uvedených lokalitách bylo provedeno měření počtu projetých motorových vozidel během pracovního dne.

#### 4.5 Tabulky naměřených a zpracovaných hodnot

Tabulka 3 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během července roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
2.7.2012	10:00	325	328	319	32	4,1	Oblačno s deštěm
	16:00	300	308	293	32	4	Polojasno
4.7.2012	10:00	380	386	366	20	2,5	Oblačno
	16:00	508	516	432	30	2,5	Oblačno
6.7.2012	10:00	339	342	333	24	4	Skoro jasno až polojasno
	16:00	411	415	395	29	5	Skoro jasno až polojasno
7.7.2012	10:00	614	628	528	25	2	Bouřka, déšť
	16:00	308	308	304	29	2	Oblačno s deštěm
9.7.2012	10:00	367	368	366	19	4	Slunečno
	16:00	302	305	300	29	4	Oblačno

11.7.2012	10:00	341	346	339	19	3,5	Slunečno
	16:00	306	306	300	27	3,5	Oblačno až skoro jasno
13.7.2012	10:00	325	325	322	15	4	Zataženo
	16:00	356	356	354	15	3,5	Oblačno, déšť
17.7.2012	10:00	322	323	322	13	7	Zataženo, déšť
	16:00	291	294	291	17	7	Zataženo
19.7.2012	10:00	299	299	292	20	6	Oblačno
	16:00	362	364	362	24	6	Zataženo, déšť
24.7.2012	10:00	381	386	362	18	3,5	Jasno až skoro jasno
	16:00	306	307	299	29	3,5	Skoro jasno
26.7.2012	10:00	399	402	392	19	2,5	Zataženo, déšť
	16:00	353	355	345	25	2,5	Oblačno
29.7.2012	10:00	323	326	317	21	3,5	Oblačno
	16:00	399	402	391	24	3,5	Zataženo, déšť
30.7.2012	12:00	304	305	300	20	3,5	Oblačno
	18:00	283	283	279	23	3,5	Oblačno

Tabulka 4 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během srpna roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
1.8.2012	12:00	404	416	374	27	4	Jasno až polojasno
	18:00	451	454	448	28	4	Jasno až polojasno
3.8.2012	12:00	330	330	329	25	2,5	Oblačno až polojasno, déšť
	18:00	312	312	311	27	2,5	Oblačno až polojasno, déšť
7.9.2012	12:00	320	320	317	21	5	Oblačno až polojasno
	18:00	342	350	342	24	5	Oblačno až polojasno
9.8.2012	12:00	338	338	336	23	3,5	Jasno až polojasno
	18:00	453	459	453	24	3,5	Slunečno
13.8.2012	12:00	378	384	381	19	2,5	Skoro jasno
	18:00	513	534	509	20	2,5	Oblačno
15.8.2012	12:00	360	370	357	22	4	Jasno až polojasno
	18:00	403	403	400	25	4	Oblačno

17.8.2012	12:00	326	326	325	22	3,5	Oblačno až zataženo
	18:00	556	556	550	24	3,5	Oblačno až zataženo
21.8.2012	12:00	345	347	345	26	2,5	Polojasno až skoro jasno
	18:00	344	348	344	27	2,5	Polojasno až skoro jasno
23.8.2012	12:00	316	316	315	23	2,5	Skoro jasno až polojasno
	18:00	334	338	334	29	2,5	Skoro jasno až polojasno

Tabulka 5 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během září roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
3.9.2012	14:00	361	361	351	21	3	Skoro jasno až polojasno
	20:00	560	560	551	20	2	Polojasno
5.9.2012	14:00	408	415	370	24	8	Skoro jasno až polojasno
	20:00	357	365	343	24	8	Polojasno až oblačno
7.9.2012	14:00	369	392	369	19	4	Jasno až polojasno
	20:00	541	545	539	20	2,5	Oblačno, přeháňky
11.9.2012	14:00	386	386	384	29	4	Skoro jasno až polojasno
	20:00	521	521	504	23	5	Polojasno až oblačno
13.9.2012	14:00	537	540	524	10	5	Zataženo, vydatný déšť
	20:00	427	427	423	11	5	Zataženo s deštěm

Tabulka 6 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během listopadu roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m · s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
20.11.2012	8:30	434	434	434	5,4	1,4	Zataženo
	18:30	687	687	687	5,9	1,2	Oblačno, mlhavo
23.11.2012	8:30	457	457	450	6,3	1	Zataženo, slabý déšť
	18:30	600	609	537	6,7	0,7	Zataženo, slabý déšť
26.11.2012	8:30	393	395	393	-10,1	1,4	Zataženo
	18:30	571	571	563	-8,4	1,5	Zataženo
27.11.2012	8:30	464	487	454	10,7	2,1	Oblačno až zataženo
	18:30	436	483	419	11,5	0,8	Oblačno až zataženo



Tabulka 7 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během prosince roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
1.12.2012	8:30	530	533	462	-1	2	Oblačno
	18:30	414	416	407	-1,6	1,1	Polojasno
5.12.2012	8:30	530	558	506	-1	0,6	Oblačnost, slabé sněžení
	18:30	569	574	521	-6	0,3	Jasno
6.12.2012	10:00	424	441	421	-0,3	0,7	Zataženo se sněhovými přeháňkami
	18:00	387	434	385	-2,7	1,3	Zataženo se sněhovými přeháňkami
9.12.2012	12:00	438	458	428	-5,5	2,2	Jasno
11.12.2012	10:00	444	446	439	-1,5	1,3	Zataženo se slabými sněhovými přeháňkami
	18:00	532	554	515	-4,3	0,6	Zataženo, sněhové přeháňky
12.12.2012	11:00	392	405	384	-4,7	1,5	Zataženo, sněhové přeháňky

12.12.2012	19:00	564	621	515	-10,4	0,6	Oblačno se sněhovými přeháňkami
13.12.2012	8:30	450	474	434	-7,2	1,6	Zataženo
	18:30	419	435	408	-6,1	1,45	Jasno
14.12.2012	8:30	519	527	511	-4,6	0,4	Zataženo se slabými sněhovými přeháňkami
	18:30	365	372	359	1,3	3,25	Oblačno
15.12.2012	10:00	379	396	367	5,5	1,8	Zataženo, obleva
	18:00	469	498	436	2,8	0,8	Zataženo s deštěm
16.12.2012	12:00	388	394	383	3	3	Zataženo
17.12.2012	8:30	647	661	632	4,3	0,75	Zataženo, slabý déšť
	18:30	413	425	401	3	1,35	Zataženo, slabý déšť
19.12.2012	8:30	434	439	429	-0,5	0,6	Zataženo, slabý déšť
	18:30	413	425	402	2,5	0,5	Zataženo
20.12.2012	8:30	401	417	385	-1	1,2	Zataženo
	18:30	400	408	392	-3,5	2	Polojasno

21.12.2012	8:30	420	425	414	-6,3	1,4	Polojasno
23.12.2012	12:00	461	523	416	0	2	Zataženo se sněhovými přehánkami

Tabulka 8 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během ledna roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední konc. [ppm]	Maximální konc. [ppm]	Minimální konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
3.1.2013	10:00	376	380	368	1,7	2	Zataženo se sněhovými přeháňkami
	18:00	507	579	426	2,1	1,3	Zataženo se sněhovými přeháňkami
6.1.2013	12:00	496	571	430	1	0,5	Zataženo
7.1.2013	8:30	375	377	372	-1,1	1,2	Zataženo
	18:30	386	392	382	-4,1	2	Oblačno
9.1.2013	11:00	513	548	478	0,1	0,3	Oblačno
	19:00	470	511	425	0,7	1,5	Zataženo
11.1.2013	11:00	382	387	377	-0,4	2,5	Oblačno
	18:30	386	391	382	-2,4	1,4	Oblačno
	19:00	388	397	379	-2,6	1,5	Oblačno
12.1.2013	10:00	417	432	401	-2,6	0,6	Polojasno
	18:00	427	453	394	-6,1	1	Zataženo se sněhovými přeháňkami

14.1.2013	10:00	411	428	394	-4,3	1,2	Zataženo se sněhovými přeháňkami
	18:00	566	617	529	-3,1	0,4	Zataženo se sněhovými přeháňkami
15.1.2013	10:00	466	504	431	-1,9	0,9	Zataženo
	18:00	396	437	366	2,6	1,5	Zataženo
17.1.2013	18:00	395	417	374	-3,2	1,2	Zataženo
18.1.2013	11:00	398	413	383	-4,6	1,3	Zataženo
	19:00	419	453	390	-7	5	Zataženo se slabými sněhovými přeháňkami
25.1.2013	11:00	400	406	393	-6,1	1,5	Zataženo se slabými sněhovými přeháňkami
	19:00	474	525	432	-6,4	0,8	Polojasno
26.1.2013	8:30	413	424	403	-10,1	0,5	Jasno
	18:30	557	619	530	-8,4	0,05	Jasno
30.1.2013	11:00	436	442	429	4,8	1,5	Zataženo s deštěm
	19:00	523	688	460	5	0,6	Zataženo s deštěm

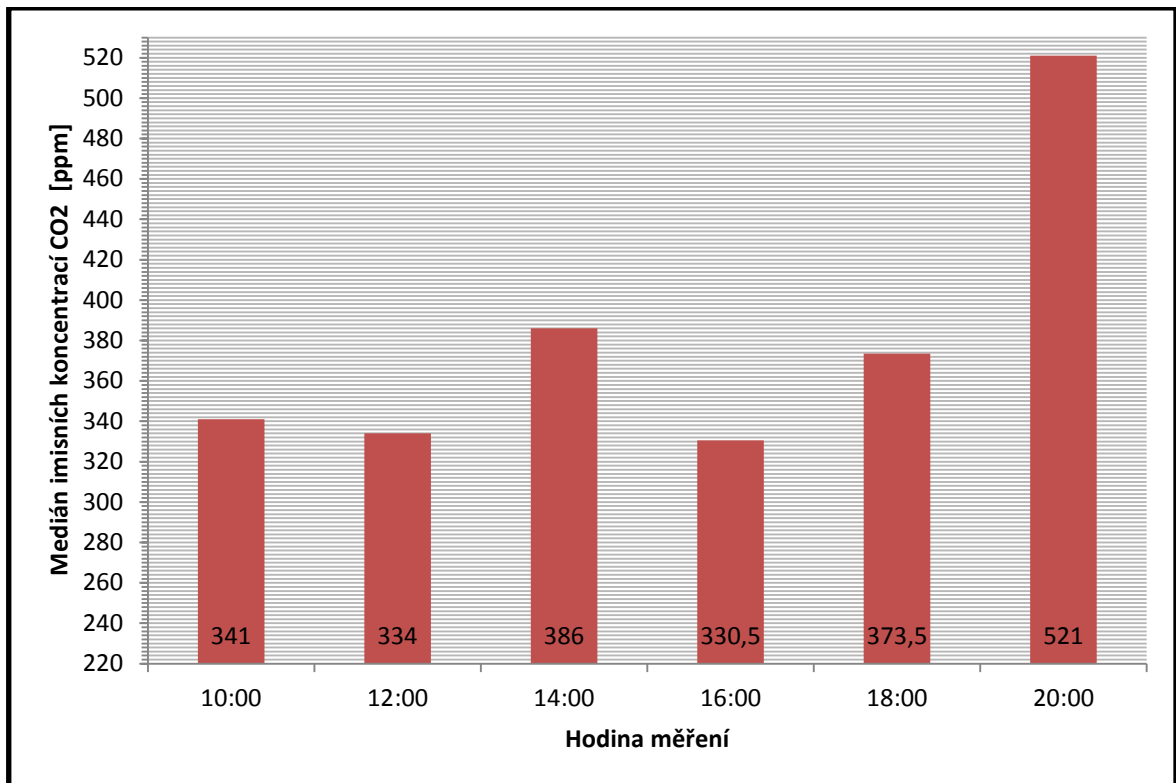
Tabulka 9 Hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během února roku 2012

Datum	Hodina měření	Střední hodnota konc. [ppm]	Maximální hodnota konc. [ppm]	Minimální hodnota konc. [ppm]	T [°C]	Průměrná rychlost proudění vzduchu [m . s <sup>-1</sup> ]	Aktuální povětrnostní podmínky
8.2.2013	11:00	430	445	414	0,7	0,9	Oblačno
	19:00	595	637	446	-0,3	0,7	Oblačno se slabými sněhovými přeháňkami
12.2.2013	8:30	518	553	477	-1,8	1	Zataženo se slabým deštěm
	18:30	514	553	472	-0,1	0,45	Zataženo s deštěm a sněhovými přeháňkami
16.2.2013	10:00	462	485	436	0,2	1	Zataženo
	18:00	500	539	470	0,9	0,8	Zataženo se slabými sněhovými přeháňkami
18.2.2013	8:30	496	534	455	-2,6	0,55	Polojasno
	18:30	512	553	470	-0,2	0,75	Jasno

Interval měření imisních koncentrací CO<sub>2</sub> činil při každém měření cca 2 minuty. Díky tomu byla zaregistrována i maximální a minimální hodnota imisních koncentrací.

## 5 DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Graficky zpracované hodnoty na obr. 9 v letním měření v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně nám ukazují závislost imisní koncentrace oxidu uhličitého na dané hodině měření. Z grafu je patrné, že vyšší imisní koncentrace  $\text{CO}_2$  byly naměřeny v pozdějších odpoledních hodinách, kdy byl zvýšený provoz. Například v období 20:00 hodin byla průměrná koncentrace nejvyšší především z důvodů snížené intenzity slunečního záření, zeslabení fotosyntézy zeleně a večerní dopravní špičky. Přestože je frekvence dopravy v období od 19:30 do 20:30 hodin zhruba poloviční (1 367 motorových vozidel za hodinu) oproti období 14:00 hodin, stále se jedná o velmi hustý dopravní uzel. Naopak tomu nejnižší průměrná koncentrace byla naměřena v během poledne 12:00, kdy intenzita slunečního záření byla v podstatě nejvyšší a frekvence aut na komunikaci činí (v období od 11:30 do 12:30) cca 2 153 motorových vozidel za hodinu (všední dny). Ale oproti nejvyšší průměrné koncentraci ve 20:00 hodin nastalo dne 7. 7. 2012 v 10:00 jedno maximum koncentrace, které činilo 614 ppm. Tato velmi vysoká hodnota koncentrace byla naměřena z důvodu relativně slabého proudění vzduchu o hodnotě  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  v místě měření. V důsledku relativně slabého proudění vzduchu nedošlo k dostatečnému promíchání oxidu uhličitého se vzduchem v místě měření, a tudíž koncentrace vzrostla. Frekvence automobilové dopravy v období od 9:30 do 10:30 hodin činí přibližně 2 551 motorových vozidel za hodinu (všední dny). Dne 3. 9. 2012 ve 20:00 hodin byla změřena jedna hodnota koncentrace, která nabývala hodnoty 560 ppm. Vysoká koncentrace byla naměřena z důvodu večerní dopravní špičky a relativně nízké rychlosti proudění vzduchu, která činila  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Během večerního měření spotřebovávala městská zeleň méně oxidu uhličitého při fotosyntéze než během slunného dne, což mělo také vliv na to, že ve večerních hodinách byly naměřené koncentrace  $\text{CO}_2$  vyšší. Kromě nejvyšší naměřené hodnoty imisní koncentrace ve 20:00 byla naměřena i jedna hodnota vysoká koncentrace v 14:00 hodin (13. 9. 2012). Hodnota naměřené koncentrace činila 537 ppm. To lze odůvodnit tím, že se jednalo o měření v odpolední dopravní špičku (zvýšená frekvence dopravy při měření, začátek školního roku). Frekvence motorových vozidel na této lokalitě v období mezi 13:30 a 14:30 činí cca 2 880 vozidel za hodinu.



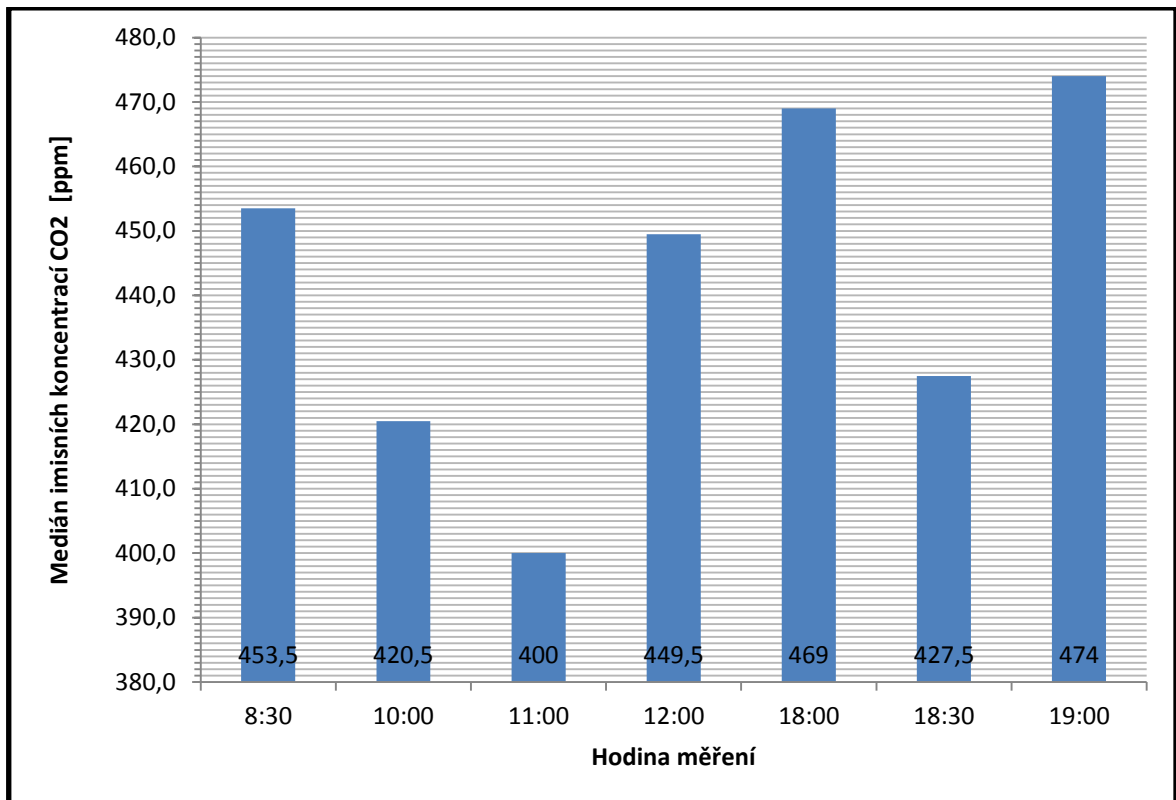
Obr. 9 Průběh imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v letním období během dne na lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně

Tabulka 10 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot během letního období

Křižovatka u Městského divadla ve Zlíně						
Hodina měření	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
Počet měření	12	10	5	12	10	5
Průměrná koncentrace [ppm]	372	342	412	346	399	481
Medián [ppm]	341	334	386	330,5	373,5	521
Směrodatná odchylka výběru [ppm]	86,0	30,7	72,1	65,3	91,2	86,2



Z obr. 10 vidíme, že nejnižší hodnoty průměrných koncentrací byly naměřeny v 10:00 hodin a 11:00 hodin. S blížící se jedenáctou hodinou dopolední pomalu docházelo k zeslabování intenzity provozu na komunikaci. V tomto období končila ranní dopravní špička. Během poledne, přesněji v období mezi 11:30 a 12:30 hodin byla frekvence dopravy téměř nejnižší (polední klid) oproti ranní špičce a činila cca 1 059 motorových vozidel za hodinu (všední dny). Frekvence dopravy na komunikaci v období od 8:00 do 9:00 hodin (ranní špička) činí zhruba 1 403 motorových vozidel za hodinu (všední dny). V tuto dobu byla též naměřena nejvyšší hodnota průměrné imisní koncentrace CO<sub>2</sub>. Po předpoledním poklesu frekvence dopravy a průměrných imisních koncentrací CO<sub>2</sub> došlo během odpoledních a pozdějších podvečerních hodin k jejich nárůstu. Proto nastalo další maximum průměrné imisní koncentrace CO<sub>2</sub> v 19:00 hodin (večerní dopravní špička, nižší intenzita slunečního záření). Frekvence dopravy na komunikaci v období od 18:00 do 19:00 činí cca 1 623 motorových vozidel za hodinu (všední dny). Například 20. 11. 2012 v 18:30 se vyšplhala jedna hodnota koncentrace oxidu uhličitého až na hodnotu 687 ppm. Tuto velmi vysokou hodnotu měl za následek špatný index kvality ovzduší (mírně nepříznivé rozptylové podmínky, zvýšená koncentrace PM částic v ovzduší, která činila dle aktuálního stavu počasí v hodinovém průměru 76 μg.m<sup>-3</sup>, tj. vlastně smogová situace), zvýšená frekvence dopravy, která v toto období nastává a relativně nízká rychlost proudění vzduchu (1,4 m.s<sup>-1</sup>) - nedostatečné promíchání CO<sub>2</sub> se vzduchem a v důsledku toho nárůst koncentrace v místě měření. Další vysoká hodnota imisní koncentrace CO<sub>2</sub> byla naměřena ne 17. 12. 2012 a činila 647 ppm. Tuto změřenou vysokou hodnotou imisní koncentrace měla za následek ranní dopravní špička (imisní koncentrace byla změřena v 8:30 hodin) a relativně slabá rychlost horizontální složky proudění vzduchu, která činila 0,75 m.s<sup>-1</sup>.

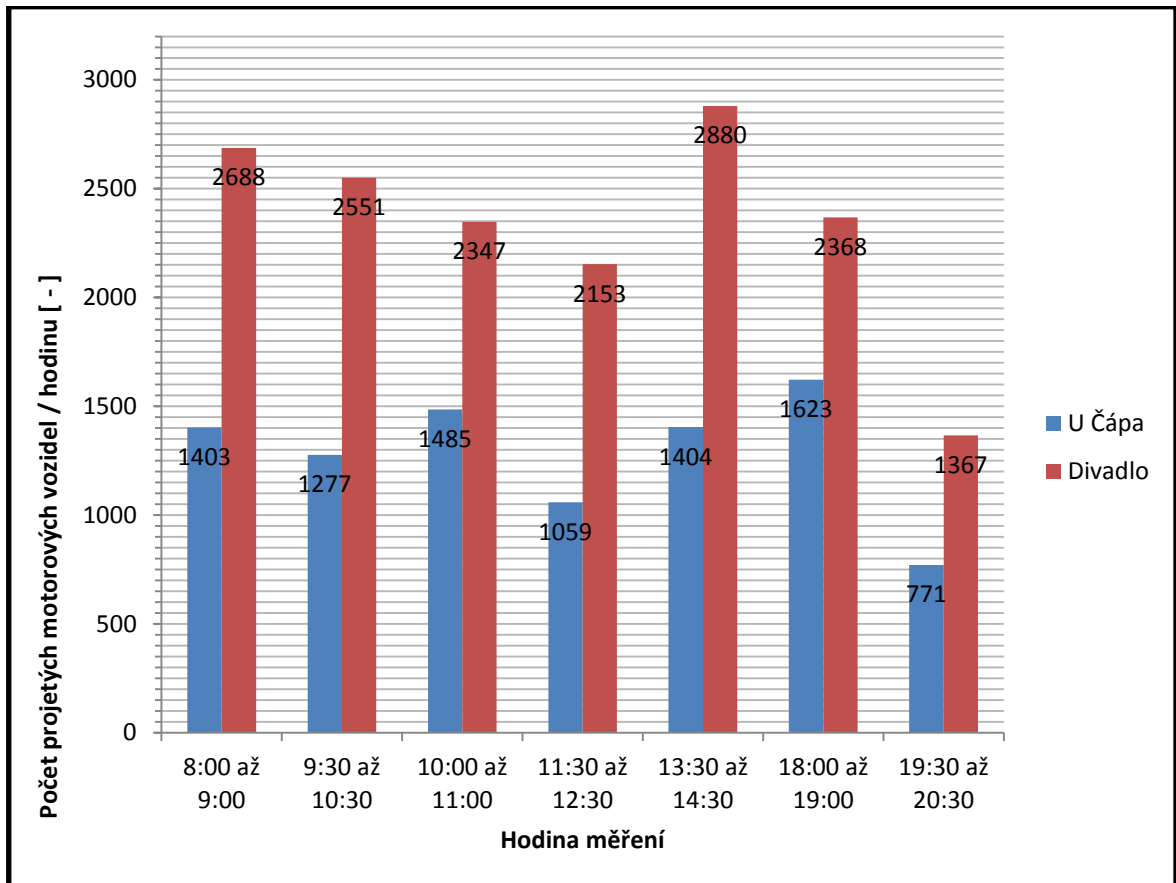


Obr. 10 Průběh imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v zimním období během dne na lokalitě u pizzerie U Čápa

Tabulka 11 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot během zimního období

Křižovatka U Čápa							
Hodina měření	8:30	10:00	11:00	12:00	18:00	18:30	19:00
Počet měření	16	8	7	4	9	16	7
Průměrná koncentrace [ppm]	468	422	422	446	464	478	490
Medián [ppm]	453,5	420,5	400	449,5	469	427,5	474
Směrodatná odchylka výběru [ppm]	69,5	34,1	44,9	45,3	66,0	95,8	74,9

Hodnoty znázorněné v následujícím grafu byly změřeny na obou lokalitách (Městské Divadlo ve Zlíně a pizzerie U Čápa) během pracovních dnů. V grafu je zobrazen počet projetých automobilů lokalitou za hodinový interval měření.



Obr. 11 Počet projetých motorových vozidel křižovatkami v pracovní dny

Z obr. 11 je patrné, že pro lokalitu u pizzerie U Čápa byl naměřen největší počet projetých motorových vozidel křižovatkou v období mezi 18:00 a 19:00 (1 623 motorových vozidel za hodinu). V tomto období nastává večerní dopravní špička. Z toho důvodu byly v tomto období naměřeny nejvyšší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, kdy průměrná hodnota těchto koncentrací činila pro 18:00 hodin 464 ppm (medián byl 469 ppm) a pro 19:00 hodin 490 ppm (medián byl 474 ppm). Dále byl naměřen vysoký provoz vozidel v období mezi 8:00 a 9:00 (1 403 aut za hodinu). V tomto období nastává ranní dopravní špička. Z toho důvodu byly v tomto období naměřeny nejvyšší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, kdy průměrná hodnota imisní koncentrace CO<sub>2</sub> činila 468 ppm (medián činil 453,5 ppm). Nejnižší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> byly naměřeny v období kolem 11:00, kdy docházelo k postupnému poklesu frekvence dopravy z důvodu začínajícího poledního klidu. Po jedenácté hodině a v období mezi 11:30 a 12:30 (období poledního klidu) byly naměřeny nejnižší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>. Kolem 11:00 hodin byla naměřena průměrná hodnota imisní koncentrace CO<sub>2</sub> o hodnotě 422 ppm a medián imisní koncentrace CO<sub>2</sub> činil 400 ppm.

Tabulka 12 Statistické vyhodnocení počtu projetých motorových vozidel křižovatkou u pizzerie U Čápa

Křižovatka u pizzerie U Čápa							
Hodina měření	8:00 až 9:00	9:30 až 10:30	10:00 až 11:00	11:30 až 12:30	13:30 až 14:30	18:00 až 19:00	19:30 až 20:30
Počet projetých motorových vozidel	1 403	1 277	1 485	1 059	1404	1623	771
Průměr	1289						
Směrodatná odchylka výběru	288,0						

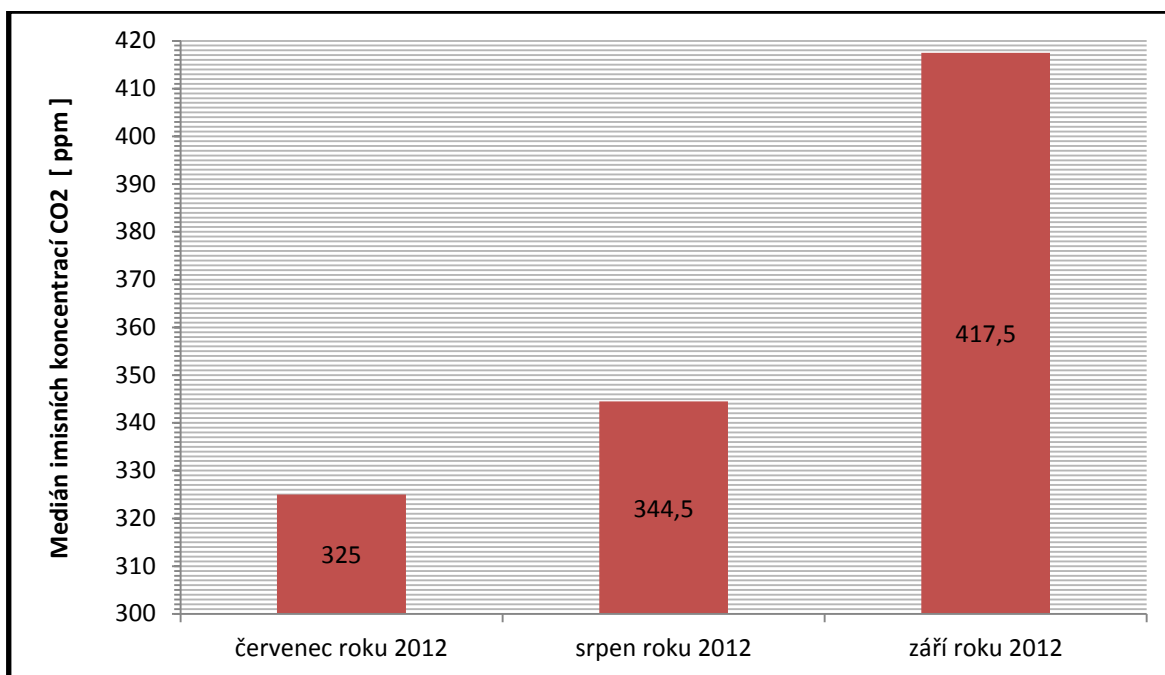
Z obr. 11 je patrné, že vysoká hodnota počtu projetých motorových vozidel byla naměřena pro lokalitu u Městského Divadla ve Zlíně v období mezi 18:00 a 19:00 hodin, kdy počet projetých vozidel křižovatkou činil 2 368 aut za hodinu. V tomto období začíná večerní dopravní špička. Proto se začínající večerní dopravní špičkou byly v období kolem 20:00 hodin naměřeny nejvyšší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, které činily v průměru 481 ppm (medián činil 521 ppm). Po osmé hodině večerní, tedy až k blížící se deváté hodině večerní docházelo k postupnému snižování frekvence dopravy. Dále byla naměřena vysoká frekvence dopravy v období mezi 13:30 a 14:30, kdy začíná odpolední dopravní špička. Z toho důvodu byly v období kolem 14:00 hodin naměřeny vysoké hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub>, které činily v průměru 412 ppm (medián činil 386 ppm).

Naměřené hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v obou lokalitách byly závislé nejen na frekvenci automobilové dopravy, ale též i na povětrnostních podmínkách, které byly uvedeny v tabulkách naměřených a zpracovaných hodnot, viz str. 42-51.

Tabulka 13 Statistické vyhodnocení počtu projetých motorových vozidel křižovatkou u Městského divadla ve Zlíně

Křižovatka u Městského divadla ve Zlíně							
Hodina měření	8:00 až 9:00	9:30 až 10:30	10:00 až 11:00	11:30 až 12:30	13:30 až 14:30	18:00 až 19:00	19:30 až 20:30
Počet projetých motorových vozidel	2 688	2 551	2 347	2 153	2 880	2 368	1 367
Průměr	2336						
Směrodatná odchylka výběru	489,8						

Z obr. 12 můžeme vypočítat, že během září byly naměřeny výrazně vyšší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> než v červenci a srpnu z důvodu začátku školního roku. V důsledku toho došlo ke zvýšení frekvence dopravy oproti období prázdnin. Hodnoty během září byly získány z měření v období 14:00 hodin a 20:00 hodin. Kolem 14:00 byla frekvence dopravy na komunikaci nejvyšší (2 880 motorových vozidel za hodinu). V období 20:00 docházelo k poklesu intenzity slunečního záření a snížení intenzity fotosyntézy.

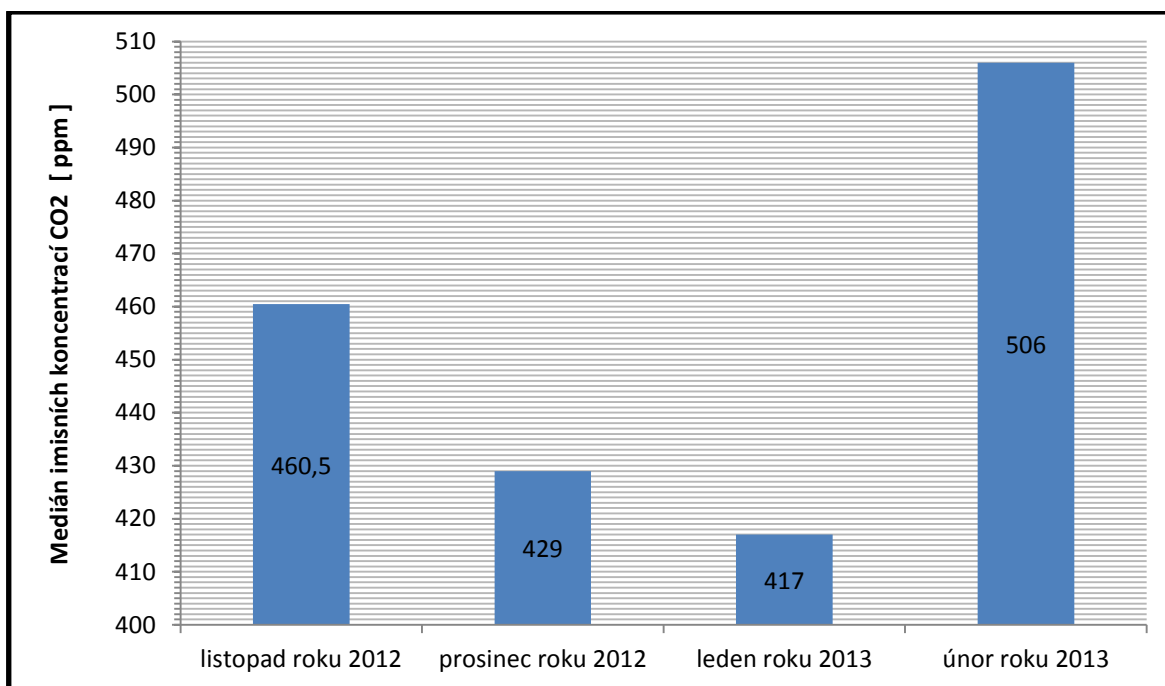


Obr. 12 Průběh mediánů imisních koncentrací CO<sub>2</sub> na lokalitě Městské Divadlo Zlín v letním období od července do září roku 2012

Tabulka 14 Statistické vyhodnocení měsíčních imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v období od července 2012 do září 2012

Měsíc	červenec roku 2012	srpen roku 2012	září roku 2012
Průměrná imisní koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	350	379	447
Směrodatná odchylka výběru [ppm]	71,6	71,2	83,3

Na obr. 13 pozorujeme vývoj imisních koncentrací CO<sub>2</sub> od listopadu 2012 do února 2013, kdy nejvyšší hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> byly naměřeny právě v únoru 2013 z důvodu nízkých hodnot rychlostí horizontálních složek větru (v únoru činila maximální rychlost proudění vzduchu (1 m.s<sup>-1</sup>) a zeslabení fotosyntézy městské zeleně, které v tomto zimním období nastává.



Obr. 13 Průběh mediánů imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v období od listopadu roku 2012 do února roku 2013 na lokalitě pizzerie U Čápa

Tabulka 15 Statistické vyhodnocení měsíčních imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v období od listopadu roku 2012 do února roku 2013

Měsíc	listopad roku 2012	prosinec roku 2012	leden roku 2013	únor roku 2013
Průměrná imisní koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	505	454	439	503
Směrodatná odchylka výběru [ppm]	102,0	70,9	57,3	47,7

## ZÁVĚR

Provedl jsem diskontinuální měření imisních koncentrací CO<sub>2</sub> na dvou městských křižovatkách, tedy v oblastech, kde je velmi vysoká frekvence dopravy. Měření jsem prováděl od 2. července 2012 do 13. září 2012 na křižovatce u Městského divadla ve Zlíně a od 20. listopadu 2012 do 18. února 2013 na křižovatce u pizzerie U Čápa. Měření probíhala v určitou hodinu a v závislosti na intenzitě dopravy a meteorologických podmínkách. Naměřené hodnoty koncentrací byly zjištěny z ranní, odpolední, podvečerní a večerní dopravní špičky. Posléze byly tyto hodnoty zpracovány do tabulek a grafů. Pro křižovátku u Městského Divadla bylo rozmezí koncentrací CO<sub>2</sub> v intervalu 283 ppm až 614 ppm. Pro křižovátku u pizzerie U Čápa bylo v intervalu 365 ppm až 687 ppm. V průběhu těchto dvou měřených období byly naměřeny hodnoty průměrných měsíčních koncentrací v rozmezí 354 ppm až 447 ppm pro křižovátku u Městského Divadla ve Zlíně a v rozmezí 439 ppm až 505 ppm pro křižovátku u pizzerie U Čápa. Naměřených hodnot imisních koncentrací nad 500 ppm bylo dosaženo při relativně nízkých hodnotách horizontálních složek rychlostí proudění vzduchu. Na lokalitě u pizzerie U Čápa byly naměřeny (i přes poloviční frekvenci dopravy) průměrné imisní koncentrace CO<sub>2</sub> zhruba o 100 ppm vyšší, než u Městského Divadla ve Zlíně (letní období) z důvodu vegetační klidu a emisí z domácího vytápění v zimním období. Aktuální koncentrace CO<sub>2</sub> jsou výslednicí mnoha vlivů, vyvolávajících jeho produkci anebo naopak pohlcování. Patrné je to především ve vegetačním období, kdy obě skupiny těchto navzájem působících procesů (respirace – fotosyntéza) jsou intenzivnější. Tyto procesy jsou poměrně těsně závislé na některých meteorologických prvcích, jako jsou teplota vzduchu a půdy, sluneční záření, rychlost větru, vlhkost půdy apod. Na obou lokalitách přispívala vysoká frekvence dopravy ke zvýšenému emitování výfukového CO<sub>2</sub> do ovzduší. Ve srovnání s měřicí věží Imperial College v Londýně (měření probíhalo od října 2006 do prosince 2007), kde byly naměřeny hodnoty imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v rozmezí 370 až 397 ppm, má měření probíhala ve výšce cca 1,5 metru nad zemí v bezprostřední blízkosti pozemních komunikací (na obou lokalitách). Měření imisních koncentrací CO<sub>2</sub> v Londýně probíhalo ve vyšší nadmořské výšce (190 m), a tudíž došlo k dokonalejšímu promíchání CO<sub>2</sub> se vzduchem. Z toho důvodu nabývaly naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> nižších hodnot, než při mém měření.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VÍDEN, Ivan: Chemie ovzduší, 1. vydání, VŠCHT Praha, 2005, 98s.
- [2] HOUGHTON, J.T. *Climate change 2001: the scientific basis: contribution of Working Group I to the third assessment report of the Inveronmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 2001, ISBN 05-210-1495-6, strana 388.
- [3] MANDILOVÁ, Eva. Emise z dopravy: Výfukové plyny. [online]. 2008-01-08, s. 3 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z:  
<http://www.enviport.cz/emise-z-dopravy-znecistuji-7061.aspx>.
- [4] PROUZA, Radek. *Emise CO<sub>2</sub> v silniční dopravě a dopady snah o jejich snížení* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z:  
[http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/37165/1/ProuzaR\\_Emise%20CO2\\_ID\\_2010.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/37165/1/ProuzaR_Emise%20CO2_ID_2010.pdf). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
- [5] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy* [online]. 2. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2006 [cit. 2013-11-18]. ISBN 80-7080-619-2. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-619-2/pages-img/](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pages-img/).
- [6] CAMP, V. a E. BRYANT. Vulkanické hrozby: Atmosférické vlivy. Environmentální hrozby a rizika: sopečná činnost [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z:  
[https://sites.google.com/site/vulkanizmus/vulkanicke\\_hrozby/atmosfericke\\_vlivy](https://sites.google.com/site/vulkanizmus/vulkanicke_hrozby/atmosfericke_vlivy).
- [7] WAGNER, Vladimír. Jak se měří CO<sub>2</sub> - Studium časových změn obsahu oxidu uhličitého v atmosféře. 3Pól [online]. 2009, roč. 2009, s. 4, 2009\_04\_06 [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: <http://3pol.cz/776-jak-se-meri-co2-studium-casovych-zmen-obsahu-oxidu-uhliciteho-v-atmosfere>.

- [8] WAGNER, Vladimír. Jak se měří množství oxidu uhličitého v atmosféře a jaké jsou výsledky. Osel [online]. 2008-22-12 [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: [http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&akce=showall&clanek=4150&id\\_c=104572](http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&akce=showall&clanek=4150&id_c=104572).
- [9] Top Instruments: Měření CO<sub>2</sub>. [online]. 1999-2012 [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: <http://www.topinstruments.cz/mereni-CO2.html>.
- [10] VOLTcraft CM-100 Přístroj k měření CO<sub>2</sub>, Indikace CO<sub>2</sub>- a indikace teploty - detail: popis produktu. In: DXT Computers [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: [http://www.dxt.cz/voltcraft-cm-100-pristroj-k-mereni-co2-indikace-co22-a-indikace-teploty\\_d120632.aspx](http://www.dxt.cz/voltcraft-cm-100-pristroj-k-mereni-co2-indikace-co22-a-indikace-teploty_d120632.aspx).
- [11] VOLTcraft CO-100 Přístroj k měření CO<sub>2</sub>, Indikace CO<sub>2</sub>- a indikace teploty - detail: popis produktu. In: DXT Computers [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: <http://www.e-voltcraft.cz/meric-kvality-vzduchu-co-100.k102541>.
- [12] AQ 200: Měření kvality ovzduší se záznamem. In: TR instruments: Měřicí přístroje a monitorovací systémy [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: <http://www.trinstruments.cz/mereni-kvality-ovzdusi-aq-200>.
- [13] Air CO<sub>2</sub>control 3000: Přístroj k měření CO<sub>2</sub>. In: Conrad [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/pristroj-k-mereni-co2-air-co2control-3000.k101365>.
- [14] KRÁLOVÁ, Helena. CARBON DIOXIDE IN THE URBAN ATMOSPHERE. s. 2, 27.11.2006 [cit. 2013-11-22].
- [15] KRÁLOVÁ, Helena, Pavla VYBÍRALOVÁ a Jitka MALÁ. Atmosférický oxid uhličitý a agresivita srážkových vod v městském prostředí. [online]. s. 18 [cit. 2012-08-29].
- [16] KORDOWSKI, Klaus a Wilhelm KUTTLER. Carbon dioxide fluxes over an urban park area. Atmospheric Environment. 2010, roč. 44, č. 23, s. 2722-2730. Dostupné z: [www.elsevier.com/locate/atmosenv](http://www.elsevier.com/locate/atmosenv).

- [17] CRAWFORD, Ben, C.S.B. GRIMMOND a Andreas CHRISTEN. Five years of carbon dioxide fluxes measurements in a highly vegetated suburban area. *Atmospheric Environment*. 2011, roč. 45, č. 22, 896e905. Dostupné z: [www.elsevier.com/locate/atmosenv](http://www.elsevier.com/locate/atmosenv).
- [18] COUTTS, Andrew M., Jason BERINGER a Nigel J. TAPPER. Characteristics influencing the variability of urban CO<sub>2</sub> fluxes in Melbourne, Australia. [online]. 2006, s. 12 [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223100600817X>.
- [19] SONG, Tao a Yuesi WANG. Carbon dioxide fluxes from an urban area in Beijing. *Atmospheric Research*. 2012, č. 106, 139–149. Dostupné z: [www.elsevier.com/locate/atmos](http://www.elsevier.com/locate/atmos).
- [20] HELFTER, D. FAMULARY, G. J. PHILLIPS, J. F. BARLOW, C. R. WOOD, C. S. B. GRIMMOND a E. NEMITZ. Controls of carbon dioxide concentrations and fluxes above central London. [online]. 2011, s. 16 [cit. 2012-11-18]. Dostupné z: [www.atmos-chem-phys.net/11/1913/2011/](http://www.atmos-chem-phys.net/11/1913/2011/).
- [21] GRIMMOND, C.S.B., T.S. KING, F.D. CROPLEY, D.J. NOWAK a C. SOUCH. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: methodological challenges and results from Chicago. [online]. s. 12 [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.forestthreats.org/products/publications/s243-s254.pdf>.
- [22] Klimatický milník?: Koncentrace oxidu uhličitého dosáhly rekordní hodnoty. [online]. 2013, s. 1 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/klimaticky-milnik-koncentrace-oxidu-uhliciteho-dosahly-rekordni-hodnoty>.
- [23] CzechGlobe: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.czechglobe.cz/cs/uvod/>.
- [24] DVORSKÁ, Alice, Vlastimil HANUŠ, Milan VÁŇA, Naděžda ZÍKOVÁ, Vladimír JANATA a Marian PAVELKA. *Ochrana ovzduší: Monitorovací a výzkumné aktivity na atmosférické stanici Křešín u Pacova*. Praha: MÚ Praha-Libuš, 2013, roč. 25, č. 5.

- [25] HAVRÁNKOVÁ, Kateřina, Ladislav ŠIGUT, Pavel SEDLÁK a Marian PAVELKA. *Ochrana ovzduší: Eddy-kovarianční měření v agroekosystému v Křešíně u Pacova*. Praha: MÚ Praha-Libuš, 2013, roč. 25, č. 5.
- [26] LITSCHMANN, T., J. ROŽNOVSKÝ a J. HEBELKA. Dynamika koncentrací oxidu uhličitého ve volné krajině Moravského krasu a jejich vztah k meteorologickým prvkům: Carbon dioxide variability in Moravian Karst landscape and their relationship to meteorological elements. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*. 2011, č. 2, s. 15. ISSN 978-80-86690-87-2.
- [27] Testo 535: indoor air quality carbon dioxide meter. In: J.M.W. [online]. [cit. 2012-08-29]. Dostupné z [http://www.jmwlimited.co.uk/Testo\\_535\\_Carbon\\_Dioxide\\_Meter.html](http://www.jmwlimited.co.uk/Testo_535_Carbon_Dioxide_Meter.html). Dostupné z: [http://www.sav.sk/journals/zivpros/pdf/2003\\_05\\_262-279.pdf](http://www.sav.sk/journals/zivpros/pdf/2003_05_262-279.pdf).
- [28] Analyzátor plynů testo 535: Analyzátor ke kontrole kvality ovzduší. [online]. 2012, s. 1 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/analyzator-plynu-testo-535.k122390>.
- [29] Charakteristika okresu Zlín. [online]. s. 1, 2012-06-13 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/xz/redakce.nsf/i/charakteristika\\_okresu\\_zlin](http://www.czso.cz/xz/redakce.nsf/i/charakteristika_okresu_zlin).

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ppm	Parts per milion
c (ppm)	koncentrace v ppm
c (mg/m <sup>3</sup> )	koncentrace v mg/m <sup>3</sup>
F <sub>CO<sub>2</sub></sub> (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	koncentrační tok oxidu uhličitého
F <sub>CO<sub>2</sub></sub> (mg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	koncentrační tok oxidu uhličitého
g.C.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>	hmotnost uhlíku plošně absorbovaného na plochu 1 m <sup>2</sup> za 1 den
g.C.m <sup>-2</sup> .y <sup>-1</sup>	hmotnost uhlíku plošně absorbovaného na plochu 1 m <sup>2</sup> za 1 rok
M	molární hmotnost (v jednotkách g/mol)
°C	jednotka teploty (stupeň Celsia)
ATP	adenozintrifosfát
ADP	adenozindifosfát
P	fosfát
w	rychlost proudění vzduchu (m.s <sup>-1</sup> )
ρ <sub>c</sub>	molární hustota oxidu uhličitého (mol.m <sup>-3</sup> )
ρ	hustota (kg.m <sup>-3</sup> )
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
VUT	Vysoké učení technické
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
t.km <sup>-2</sup> .y <sup>-1</sup>	tun oxidu uhličitého na kilometr čtverečný za rok
t.km <sup>-2</sup> .month <sup>1</sup>	tun oxidu uhličitého na kilometr čtverečný za měsíc
T	teplota vzduchu při měření (°C)
pH	záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových kationtů
PM	<i>Particulate matter</i> = pevné (prachové) částice rozptýlené v ovzduší
LED	Light-Emitting Diode = dioda emitující světlo

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Měsíční klouzavý průměr koncentrací CO <sub>2</sub> během ročních.....	20
Obr. 2 Průměrné měsíční a roční koncentrace CO <sub>2</sub> v období od dubna roku.....	20
Obr. 3 Průměrné koncentrace CO <sub>2</sub> na jednotlivých lokalitách [15] .....	22
Obr. 4 Naměřené koncentrace CO <sub>2</sub> v období od října 2006 do prosince 2007 [20] .....	27
Obr. 5 Průměrné denní vzory koncentrací a koncentračních toků.....	28
Obr. 6 Porovnání průměrné měsíční koncentrace CO <sub>2</sub> ve Sloupu s globálním průměrem a s průměrem na světově proslulé observatoři Mauna Loa v letech 2009-2010 [26] ...	34
Obr. 7 Analyzátor oxidu uhličitého v ovzduší TESTO 535 [27, 28].....	37
Obr. 8 Mapa lokalit, na kterých probíhalo měření imisních koncentrací CO <sub>2</sub> .....	38
Obr. 9 Průběh imisních koncentrací CO <sub>2</sub> v letním období během dne na lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně .....	54
Obr. 10 Průběh imisních koncentrací CO <sub>2</sub> v zimním období během dne na lokalitě u pizzerie U Čápa.....	56
Obr. 11 Počet projetých motorových vozidel křižovatkami v pracovní dny .....	57
Obr. 12 Průběh mediánů imisních koncentrací CO <sub>2</sub> na lokalitě Městské Divadlo Zlín v letním období od července do září roku 2012 .....	60
Obr. 13 Průběh mediánů imisních koncentrací CO <sub>2</sub> v období od listopadu roku 2012 do února roku 2013 na lokalitě pizzerie U Čápa .....	61

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Některé typy analyzátorů oxidu uhličitého.....	18
Tabulka 2 Parametry přístroje Testo 535.....	36
Tabulka 3 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během července roku 2012 .....	41
Tabulka 4 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během srpna roku 2012.....	43
Tabulka 5 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u Městského Divadla ve Zlíně během září roku 2012.....	45
Tabulka 6 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během listopadu roku 2012 .....	46
Tabulka 7 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během prosince roku 2012 .....	47
Tabulka 8 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během ledna roku 2012 .....	50
Tabulka 9 Hodnoty imisních koncentrací CO <sub>2</sub> , teploty, rychlosti proudění vzduchu a povětrnostní podmínky v lokalitě u pizzerie U Čápa ve Zlíně během února roku 2012.....	52
Tabulka 10 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot během letního období .....	54
Tabulka 11 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot během zimního období .....	56
Tabulka 12 Statistické vyhodnocení počtu projetých motorových vozidel křižovatkou u pizzerie U Čápa.....	58
Tabulka 13 Statistické vyhodnocení počtu projetých motorových vozidel křižovatkou u Městského divadla ve Zlíně.....	59

---

Tabulka 14 Statistické vyhodnocení měsíčních imisních koncentrací CO <sub>2</sub> v období od července 2012 do září 2012 .....	60
Tabulka 15 Statistické vyhodnocení měsíčních imisních koncentrací CO <sub>2</sub> v období od listopadu roku 2012 do února roku 2013 .....	61