

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

T. Litschmann¹, J. Rožnovský², J. Hebelka³

¹AMET Velké Bílovice

²ČHMÚ, pobočka Brno

³Správa jeskyní Moravského krasu, Blansko

Abstrakt

Koncentrace oxidu uhličitého patří v současné době k velmi často diskutovaným otázkám mezi laickou a odbornou veřejností. Jejich příspěvek k vytváření skleníkového efektu zemské atmosféry je nepopiratelný, stejně tak jako další vliv na rostlinné ekosystémy. Rovněž vznik krasových jevů je do značné míry závislý právě na přítomnosti tohoto plynu.

Předložený příspěvek zpracovává dvouletá měření koncentrací oxidu uhličitého na účelové stanici ve Sloupu v letech 2009–2010. Na této stanici jsou měřeny i další základní meteorologické prvky, mezi něž patří teplota a vlhkost vzduchu, atmosférické srážky, směr a rychlost větru, globální záření, teploty půdy.

Podrobně je popsán denní a roční chod koncentrací tohoto plynu za zpracované období. Z prvků, nejvíce ovlivňujících koncentrace v denních i nočních hodinách se uplatňuje především teplota vzduchu a rychlost větru. Globální záření, jež vykazuje těsnější korelaci s teplotou vzduchu, se uplatňuje pouze při ovlivnění hodnot denních amplitud oxidu uhličitého společně s rychlostí větru a teplotou vzduchu. Z hlediska rostlinné fyziologie je zřejmé, že na produkci CO₂, popřípadě na snižování jeho koncentrací mají vliv i další meteorologické prvky, nepodařilo se nám však prokázat těsnější vazbu např. na teplotu půdy či její vlhkost, pravděpodobně z důvodů překrytí jinými vlivy.

Klíčová slova: oxid uhličitý, teplota vzduchu, Moravský kras, vegetace

Abstract

Carbon dioxide concentration belongs to the most discussed topics between nonspecialists and scientific society at present. Its contribution to the creation of greenhouse effect in earth's atmosphere is indisputable as its other influences to plant ecosystems. Also creation of karst phenomenon is to a great extent dependent on attendance of this gas.

Submitted article processes two-year measurements of carbon dioxide concentration in the special station in Sloup between years 2009-2010. The other basic meteorological elements are also observed in this station, like temperature, humidity, atmospheric precipitation, direction and speed of wind, global radiation and soil temperature.

You can find detail description of day and year-course of carbon dioxide concentration from period processed. From the elements mostly affecting concentration in day and night-hours is the most important air temperature and wind speed. Global radiation, which shows high correlation with air temperature, raises only by influence of carbon dioxide daily amplitudes values, together with wind speed and air temperature. From the view of plant physiology is obvious that there are also other meteorological elements influencing CO₂ production, eventually decreasing its concentration, but we didn't succeed in approving closer relationship in e.g. soil temperature or its humidity, probably from the reason of covering by other influences.

Key words: carbon dioxide, air temperature, Moravian Karst, vegetation cover

Úvod

Oxid uhličitý patří v posledních desetiletích k poměrně často diskutovaným plynům v atmosféře a jeho vlivem na jednotlivé části klimatického systému se zabývají četní badatele u nás i v zahraničí. Aktuální koncentrace CO₂ jsou výslednicí mnoha vlivů, vyvolávajících jeho produkci anebo naopak pohlcování. Patrně 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.

Oxid uhličitý se rozpouští v málo mineralizovaných srážkových vodách, které se tak stávají agresivními. Je-li koncentrace volného oxidu uhličitého ve vodě vyšší než odpovídá rovnovážné koncentraci, znamená to, že je tam nadbytečný CO₂, který může rozpouštět CaCO₃ a voda bude agresivní pro horniny obsahující CaCO₃.

Z území Moravského krasu máme již k dispozici dvouletá měření koncentrací CO₂ na účelové meteorologické stanici ve Sloupu v patnáctiminutových intervalech. Jedná se tudíž již o dostatečné množství údajů, které si zasluhují bližší zkoumání jak z hlediska časové variability, tak i vztahu s některými dalšími meteorologickými prvky.

Na území Moravské krasu není průmysl příliš významný, větší průmyslové podniky se zde prakticky nevyskytují. Mezi nejbližší významnější průmyslová střediska patří Blansko, Adamov a pak až Brno. Je zde však poměrně významné zastoupení lesních porostů, které tvoří cca 60 % plochy CHKO Moravský kras. V severní části byly původní bukové porosty v minulosti vykáceny a většinou nahrazeny smrkovými monokulturami, ve střední části nebyl úbytek přirozených bučin tak výrazný. Zemědělství v Moravském krasu je zaměřeno jak na rostlinnou, tak i živočišnou výrobu. Pěstuje se ozimá pšenice, jarní ječmen, z technických plodin pak řepka olejka a v menší míře hořčice. Kromě toho se zde ještě vyskytují trvalé travní porosty a pěstují pícniny.

Z těchto důvodů lze toto území považovat za velmi vhodné pro zjišťování koncentrací oxidu uhličitého typických pro volnou krajinu, bez výraznějšího ovlivnění průmyslovou činností. Dokládá to i zanedbatelný rozdíl mezi průměrnými koncentracemi CO₂ naměřenými v uvedeném období v Moravském krasu a snad nejznámější observatoří, zabývající se dlouhodobým měřením tohoto plynu na M. Loa., popřípadě s průměrnými celoplanetárními koncentracemi odvozenými NOAA, dostupnými na <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>.

V předloženém příspěvku jsme se pokusili vyhodnotit časovou proměnlivost naměřených hodnot oxidu uhličitého a posoudit, jak jeho koncentraci ovlivňují některé vybrané meteorologické charakteristiky.

Materiál a metody

Účelová meteorologická stanice ve Sloupu byla vybudována na konci roku 2008 na poměrně rozsáhlém pozemku na okraji obce. Tato stanice je vybavena snímači na měření teploty a vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru, globálního záření, srážek a teplot půdy. Kromě toho je vybavena snímačem CO₂ od firmy VAISALA, typ GMP343 (Obr. 1). Měření jsou prováděna každou čtvrt hodinu a pravidelně jsou přenášena prostřednictvím sítě GSM na webový server, kde jsou přístupná registrovaným zájemcům. Měření CO₂, teploty a vlhkosti vzduchu a globálního záření jsou prováděna ve výšce cca 2 m nad povrchem, směr a rychlost větru je měřena na standardním stožáru, používaném v síti stanic ČHMÚ, ve výšce 10 m. Napájení celé stanice je pomocí solárního panelu a akumulátoru. Tato stanice je součástí sítě meteorologických stanic, monitorujících povětrnostní podmínky na území Moravského krasu.



Obr. 1 Pohled na meteorologickou stanici ve Sloupu a její umístění, vpravo nahoře detail snímače CO₂

Z naměřených čtvrt hodinových hodnot jednotlivých prvků byly vypočítány čtvrt hodinové, hodinové, denní a měsíční průměry, které byly dále vyhodnoceny pomocí programu STATGRAFIC a SURFER.

Zpracovány byly tyto charakteristiky:

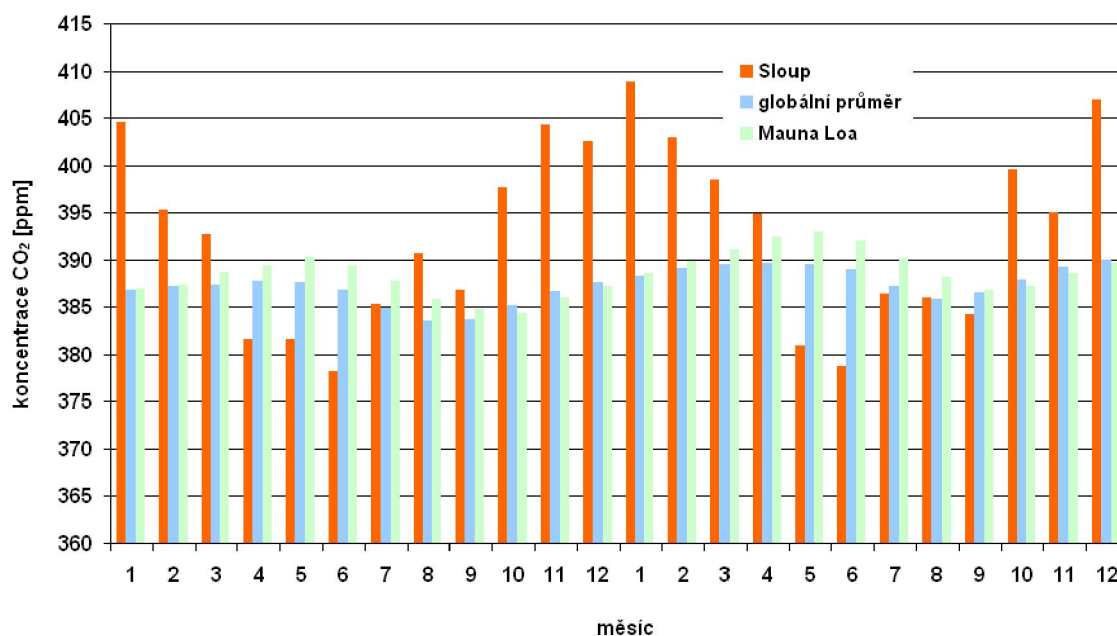
- průměrné měsíční hodnoty koncentrací CO₂
- denní a roční chod průměrných hodinových koncentrací CO₂
- interdiurní odchylky průměrných denních koncentrací CO₂
- denní amplitudy koncentrací CO₂ a jejich vztah k meteorologickým prvkům
- denní koncentrace CO₂ a jejich vztah k meteorologickým prvkům
- noční koncentrace CO₂ a jejich vztah k meteorologickým prvkům

Výsledky a diskuse

Průměrné měsíční hodnoty koncentrací CO₂

Měsíční průměry koncentrací oxidu uhličitého, znázorněné na Obr. 2, podávají prvotní informaci o jejich velikosti a ročním chodu. Je zřejmé, že roční chod lze vyjádřit víceméně jednoduchou vlnou s maximem v lednu a minimem v červnu. Tato jednoduchá vlna je v jednotlivých letech modifikována lokálními extrémami v závislosti na průběhu povětrnosti. V jarních měsících dochází k výraznému poklesu koncentrací, který souvisí s rozvojem vegetace v tomto období. 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.

Průměrné měsíční koncentrace CO₂ na stanici Sloup a jejich porovnání s globálními hodnotami



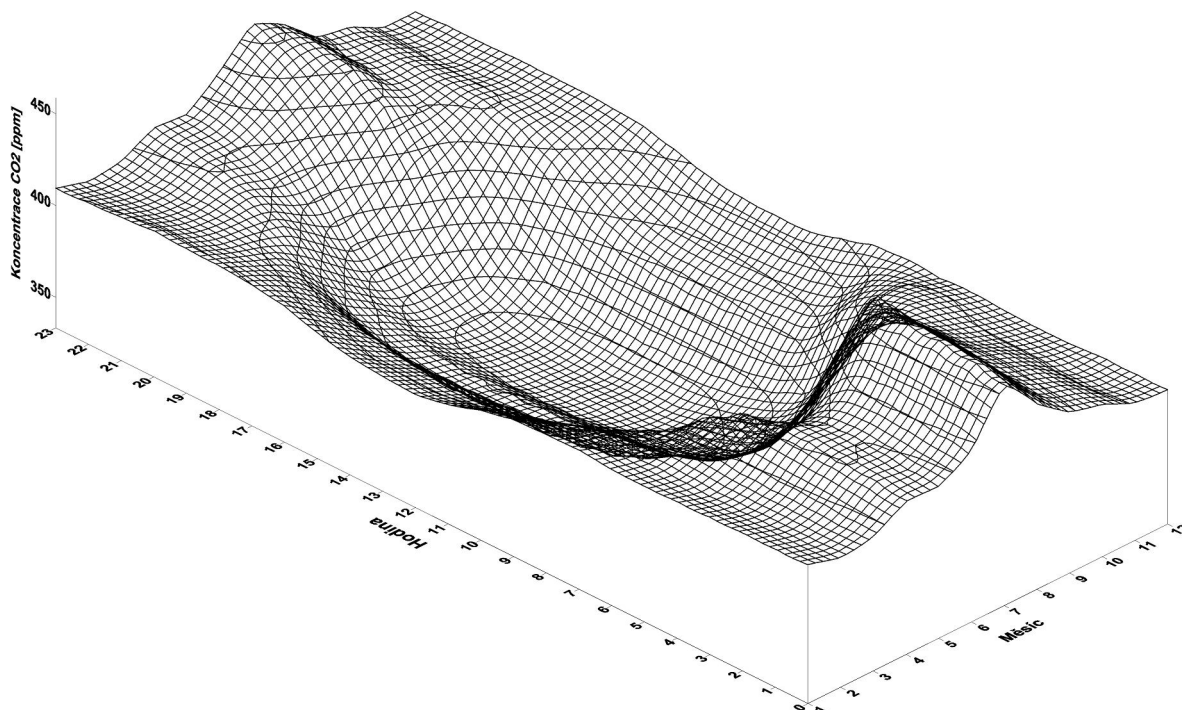
Obr. 2

Za pozornost určitě stojí porovnání koncentrací naměřených v krasovém území s údaji naměřenými na světově proslulé observatoři na Mauna Loa, popřípadě kompilovaných NOAA jako celoplanetární průměr. Tyto hodnoty jsou výslednicí superpozice průběhu koncentrací severní a jižní polokoule a proto mají odlišný roční chod oproti pravidelné

sinusoidě charakteristické pouze pro severní polokouli. Maximum se vyskytuje většinou v květnu a minimum v září, z čehož vyplývá, že od maxima do minima je kratší časový úsek než od minima do maxima. Přibližně tříměsíční posun v minimech koncentrací CO₂ na M. Loa a v maďarské Pusztě uvádí i Haszpra, 1995. Průměrná koncentrace za celé dvouleté období pro Sloup je 392,7 ppm, pro observatoř na Mauna Loa 388,6 ppm a celoplanetární průměr je uváděn jako 384,7 ppm. Z těchto údajů je zřejmé, že rozdíly jsou velmi malé a měřící stanoviště ve Sloupu poměrně dobře vyjadřuje podmínky volné krajiny. Rovněž meziroční přírůstek v letech 2009 a 2010 činil ve Sloupu 1,8 ppm, což velmi dobře odpovídá meziročním přírůstkům na M. Loa (2,4 ppm v roce 2010, 1,86 ppm v roce 2009, 1,66 ppm v roce 2008).

Denní a roční chod průměrných hodinových koncentrací CO₂

Koncentrace oxidu uhličitého se vyznačují poměrně značnou variabilitou v závislosti na tom, zda-li převládají procesy absorbující tento plyn, anebo jej produkující. V našich podmínkách je to především rostlinstvo a půda, které se svou činností podílejí na těchto změnách. Tomu odpovídá i průměrný denní chod koncentrací v jednotlivých obdobích roku. Ve vegetačním období jsou oba typy těchto procesů intenzivnější a amplituda koncentrací během dne je vyšší, přestože absolutní hladina se snižuje. V mimovegetačním období se denní amplituda zmenšuje a jelikož převládají respirační procesy, absolutní hodnota koncentrací se zvyšuje. Přehledně to zachycuje Obr. 3. Je zde vidět poměrně těsná závislost počátku a konce poklesu koncentrací během dne na východu a západu Slunce, s prodlužováním doby trvání slunečního svitu se amplitudy zvyšují. Avšak ani v zimním období není amplituda nulová, svědčí to o tom, že u jehličnatých lesů probíhají metabolické procesy i v tomto období.



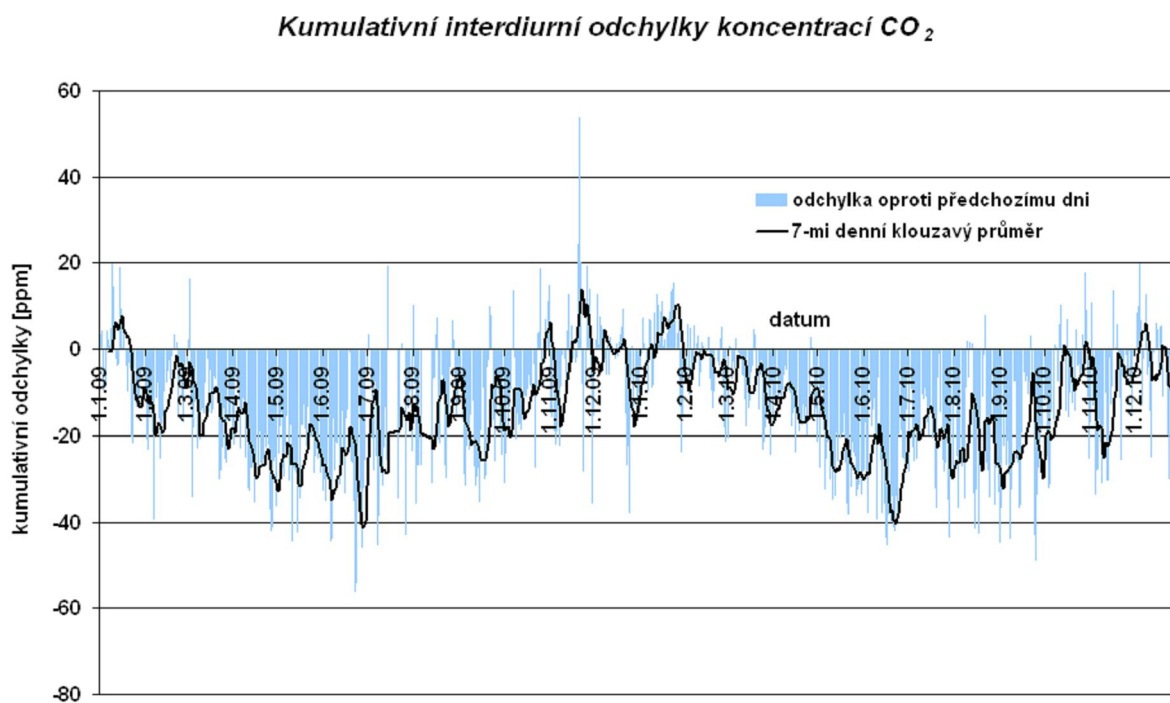
Obr. 3 Denní a roční chod průměrných denních koncentrací CO₂

Co se však na denním chodu v zimním období nijak výrazně neprojevuje, je nějaká singularita, která by svědčila o ovlivnění koncentrací CO₂ antropogenní činností, ať již

z lokálních topenišť anebo z dopravy, která má v této oblasti pouze místní charakter, obcí Sloup neprochází žádná tranzitní komunikace. Křivka denního chodu kopíruje pouze přírodními procesy ovlivněné změny koncentrací CO₂.

Interdiurní odchylky průměrných denních koncentrací CO₂

Jednotlivé denní koncentrace se vyznačují poměrně velkou variabilitou, která závisí na konkrétním ovlivnění fyziologických procesů povětrnostními podmínkami daného dne. K vyjádření převládající tendence může sloužit graf kumulativních interdiurních odchylek, kdy jsou postupně sčítány rozdíly v koncentracích dvou po sobě následujících dnů. Na Obr. 4 jsou tyto odchylky vykresleny včetně sedmidenního klouzavého průměru, shlazujícího výraznější špičky v denních hodnotách. V první polovině roku většinou převládají procesy snižující koncentrace CO₂, od července začíná CO₂ v atmosféře většinou přibývat. Obdobnou časovou závislost uvádí i Marek (2005) pro smrkový porost na EEP B9lý kříž v roce 2003, kdy tento do června přijímal uhlík, od července byl zdrojem uhlíku.



Obr. 4

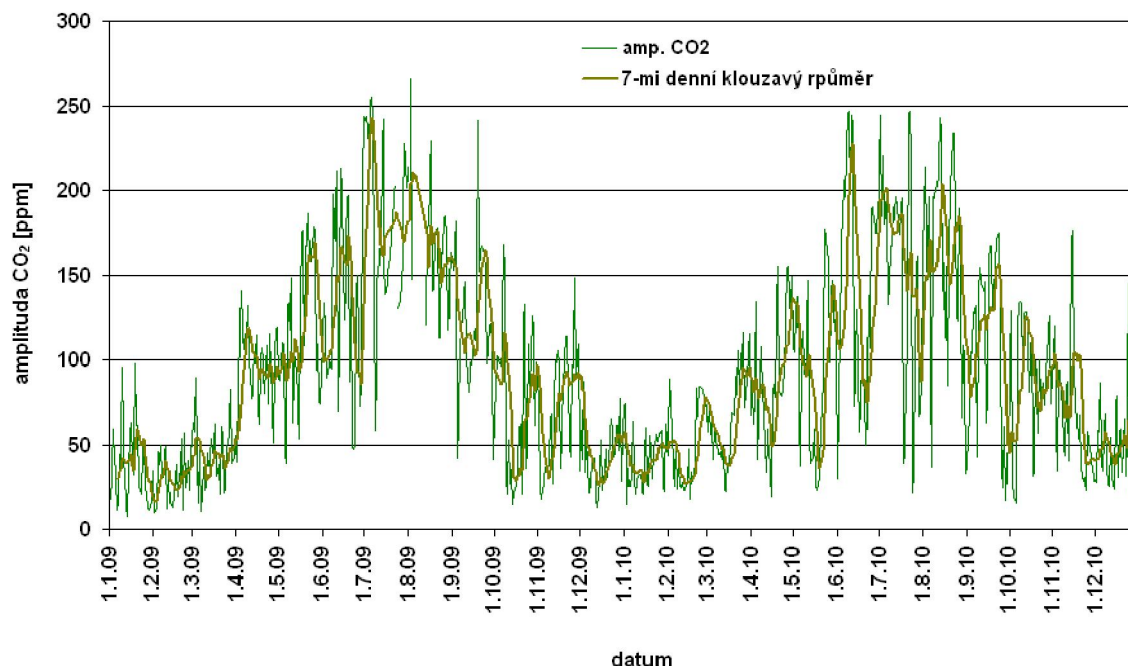
Denní amplitudy koncentrací CO₂ a jejich vztah k meteorologickým prvkům

V průběhu dne dochází v důsledku fotoperiodicity a změn teploty k ovlivňování respirace a fotosyntézy. Jak uvádí Marek (2005), fotosyntéza, jež je příčinou ukládání uhlíku a respirace, tedy procesy spojené s produkcí a rozpadem biomasy, jsou klíčové procesy, jejichž vzájemná bilance právě určuje chování systému, zda je sinkem - deponiím či zdrojem uhlíku. Oba procesy jsou závislé na teplotě, avšak dopad změny teploty na oba procesy je natolik rozdílný, že u lesních ekosystémů v důsledku zvýšené autotrofní respirace i mineralizace půdy je reálné předpokládat přechod sinku v převládající zdroj uhlíku. V našich zeměpisných šířkách

s prodlužující se délkou dne vzrůstá i teplota vzduchu a tím oba protichůdné procesy nabývají na intenzitě. Zřejmé je to i z Obr. 5, na němž jsou znázorněny denní amplitudy koncentrací CO₂ za zpracovávané dva roky, opět shlazené sedmidenními klouzavými průměry. Tyto amplitudy vykazují v průběhu roku jednoduchou vlnu s minimem v zimních měsících a s maximem na přelomu června a července. Tato jednoduchá vlna je narušována zejména v letním období poklesy amplitudy vlivem vpádů studeného vzduchu.

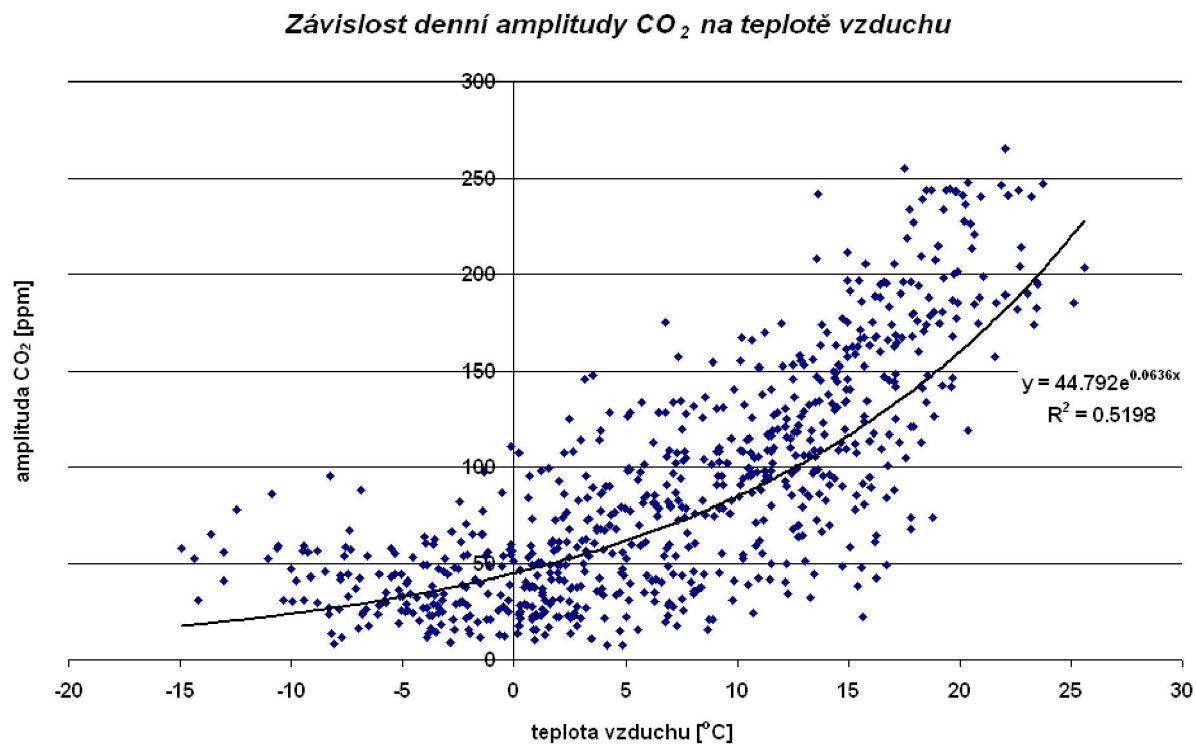
Po vykreslení velikosti amplitudy CO₂ a průměrné denní teploty (Obr. 6) je zřejmé, že tato závislost má exponenciální charakter, při teplotách pod 0 °C mají amplitudy velikost do 100 ppm, se vzrůstající teplotou se zvětšují a v nejteplejších dnech dosahuje amplituda hodnot přes 250 ppm. Je všeobecně známo (např. Lindroth a kol 1998, Lloyd and Taylor, 1994 (cit. Pei-Li Shi et al, 2003)), že je to právě respirace, která vykazuje exponenciální závislost na teplotě. Lze proto předpokládat, že i v tomto případě se vzrůstající teplotou stoupá i rychlost respirace, což vede ke zvýšení produkce CO₂.

Průměrné denní amplitudy CO₂ a jejich shlazení klouzavým průměrem

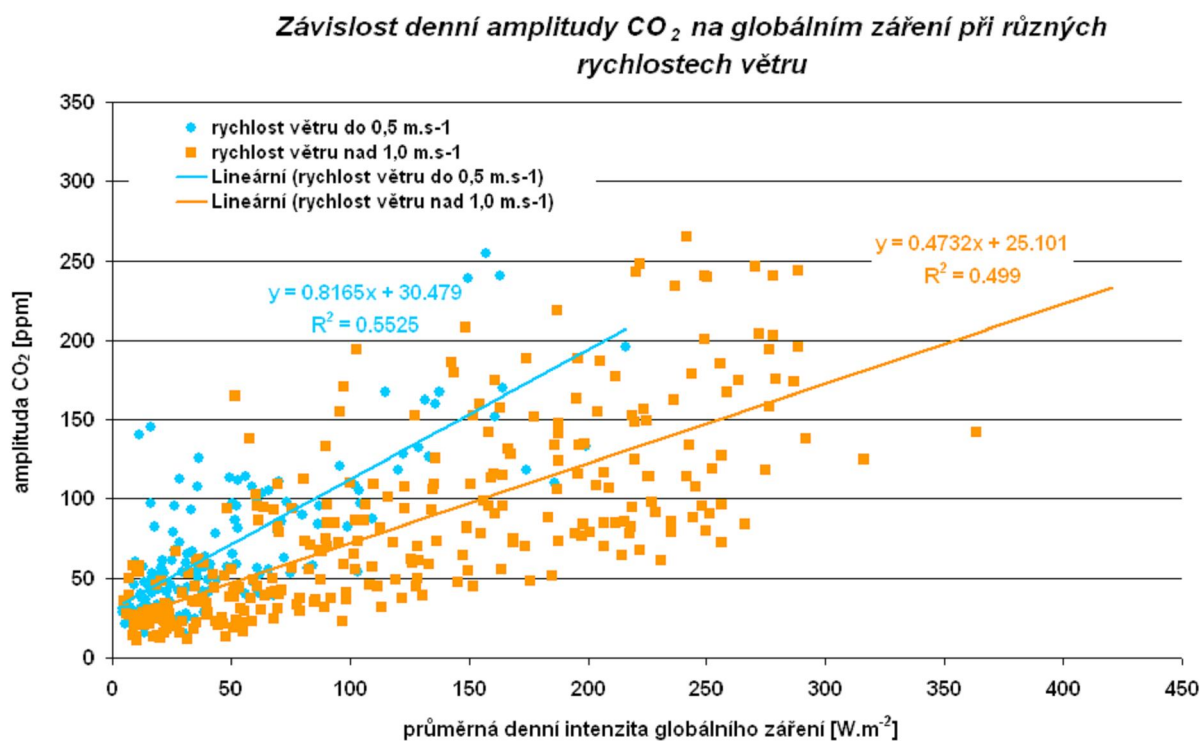


Obr. 5

V případě globálního záření lze pozorovat spíše lineární závislost mezi ním a velikostí denní amplitudy koncentrací CO₂ (Obr. 7). Intenzita fotosyntézy je tudíž přímo úměrná velikosti tohoto prvku. Jelikož při všech změnách v přízemních koncentracích CO₂ je nutno počítat s tím, že dochází k turbulentnímu přenosu v důsledku proudění vzduchu, na Obr. 7 je vynesena zvlášť závislost pro nízké rychlosti větru, do 0,5 m.s⁻¹, a pro vyšší, nad 1 m.s⁻¹ (měřeno ve výšce 10 m). Ukazuje se, že vyšší rychlosti proudění vedou ke snížení velikosti amplitudy. Vzduch z přízemní vrstvy, kde dochází k produkci anebo pohlcování CO₂, je promícháván s vyššími vrstvami, v nichž je koncentrace stabilnější. Jak např. dokládá Denning a kol., 2003, již od 122 m nad povrchem jsou změny koncentrací CO₂ během dne takřka zanedbatelné.



Obr. 6



Obr. 7

Pomocí vícenásobné regrese můžeme stanovit závislost velikosti amplitudy CO₂ na všech těchto třech meteorologických prvcích dohromady. Výsledný model má tvar:

$$\text{AmpCO}_2 \text{ [ppm]} = -86.53 + 216.4/(V + 1.9) + 0,263*Q + 40.47*e^{(0.06*T)}$$

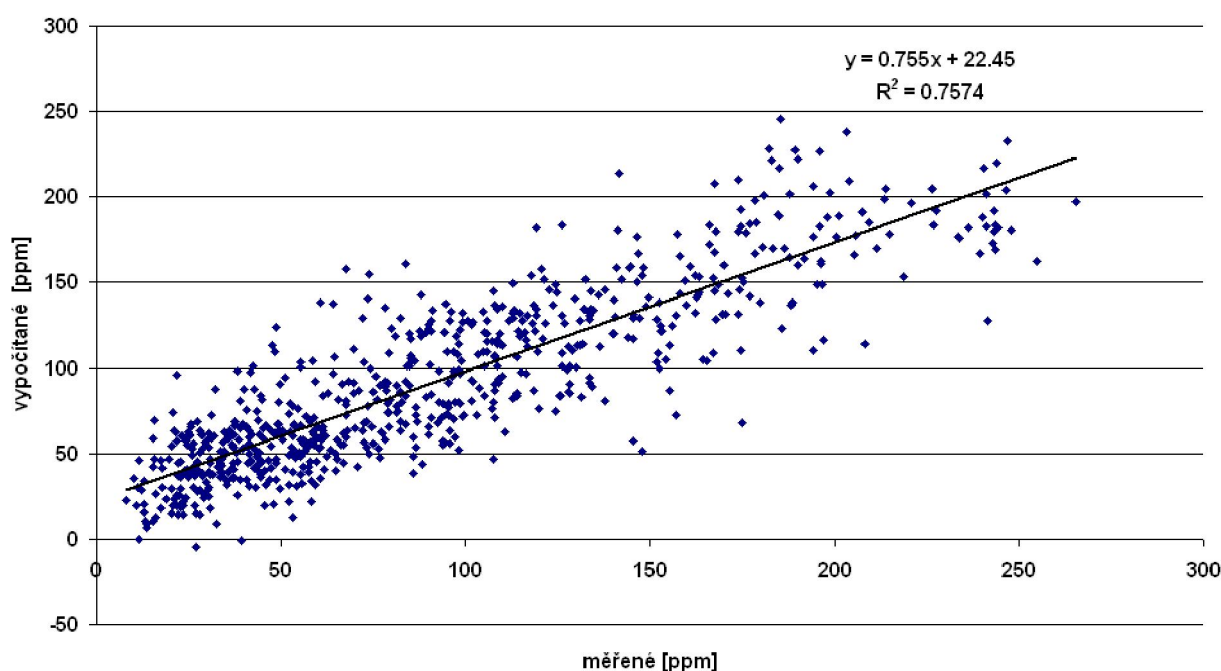
kde Q – globální záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

V - rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

T – teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Tento model vysvětluje velikost amplitudy CO_2 v jednotlivých dnech z 75 %. Teplota vzduchu a globální záření přispívají k zvětšování denní amplitudy koncentrací CO_2 , naopak se zvyšující se rychlostí větru dochází k vertikálnímu promíchávání a amplituda se zmenšuje. Závislost rychlosti větru a amplitudy není lineární, poněkud lépe ji vystihuje nepřímá závislost, kdy se zvyšováním rychlosti větru zmenšení amplitudy není již tolik výrazné. Z Obr. 8 je zřejmé, že vypočítané a naměřené hodnoty denních amplitud vzduchu se řadí kolem přímky.

Porovnání vypočítaných a naměřených denních amplitud CO_2



Obr. 8

Denní koncentrace CO_2 a jejich vztah k meteorologickým prvkům

V souboru všech průměrných hodinových hodnot jsme vyznačili úseky, v nichž intenzita globálního záření přesahovala hodnotu $5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a rozdělili tímto tento soubor na části, v nichž převládá fotosyntéza, a na noční části mezi dvěma těmito úseky s převahou respirace. Pro každý z těchto úseků jsme vypočítali pro jednotlivé prvky průměrné hodnoty. Získali jsme tím nové dva soubory s průměrnými hodnotami pro denní a noční část příslušného kalendářního dne (u noční části se jednalo vždy o příslušné úseky dvou po sobě jdoucích dnů).

Jak se ukázalo, existuje poměrně těsná závislost mezi koncentracemi CO_2 a teplotou vzduchu v osvětlené části dne, takže k vysvětlení proměnlivosti koncentrací CO_2 v denních hodinách

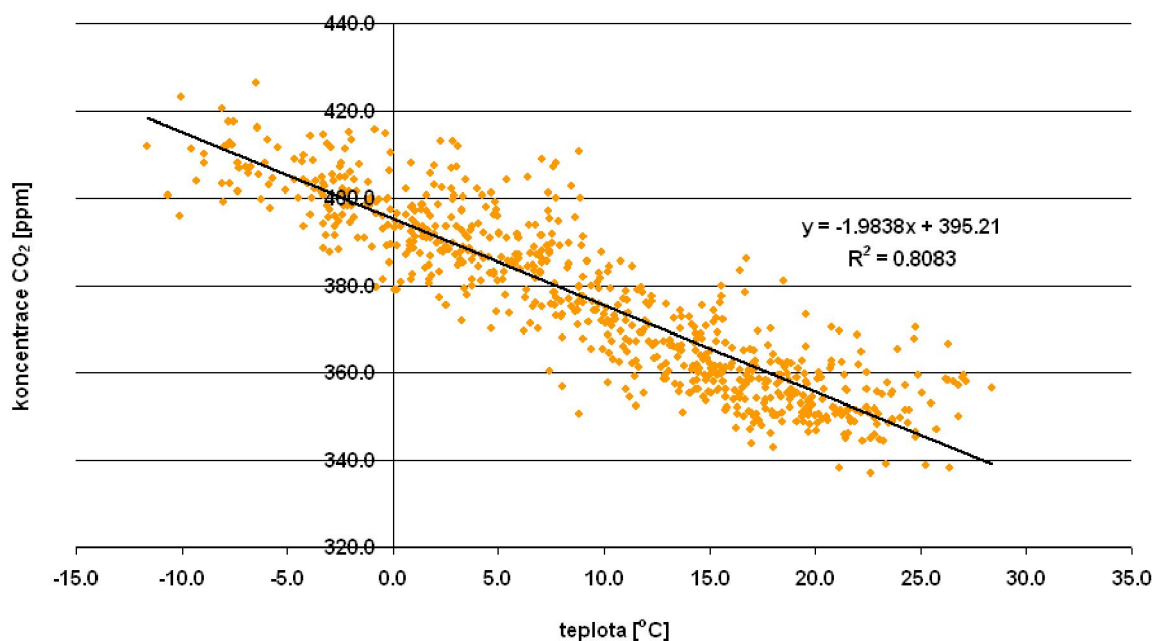
z 78 % postačuje průměrná teplota vzduchu za stejné období (Obr. 9). Pokud do modelu zahrneme i rychlost větru, zvýší se index determinace téměř na 82 % (Obr. 10).

Regresní rovnice má pak tvar:

$$\text{CO}_2 \text{ [ppm]} = 391.36 - 1.89 \cdot T + 4.053 / (V + 0.4)$$

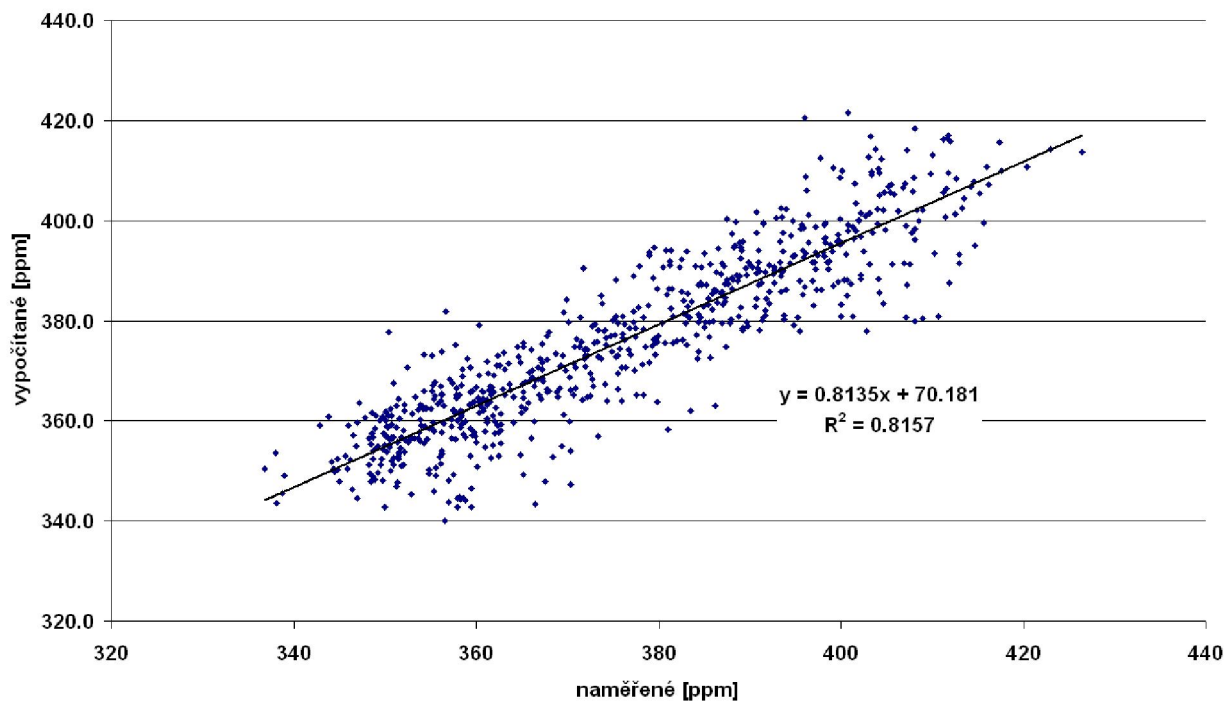
Pokud místo teploty vzduchu použijeme do regresního modelu hodnoty globálního záření, výsledný index determinace je nižší. Je to dáno i tím, že vztah mezi teplotou a globálním zářením během dne vykazuje poměrně silnou pozitivní korelaci a proto zařazení této veličiny nepřináší do modelu již téměř žádnou další informaci. Rovněž tak zařazení dalších proměnných nevede k jeho výraznému zvýšení. Závislost koncentrací CO_2 na teplotě vzduchu v průběhu dne zesiluje, v poledních hodinách index determinace dosahuje hodnot 87 % a dále stoupá až do odpoledních hodin, pak začíná pozvolna klesat. V tomto případě jsou v teplotě vzduchu obsaženy informace jak o procesech respirace, tak i fotosyntézy a jelikož se vzrůstající teplotou koncentrace CO_2 klesají, převažuje fotosyntéza. Teplota vzduchu v denních hodinách vykazuje rovněž silnou korelaci s teplotou za předcházející noční období, na níž závisí především respirace.

Závislost průměrných koncentrací v osvětlené části dne na průměrné teplotě za stejné období



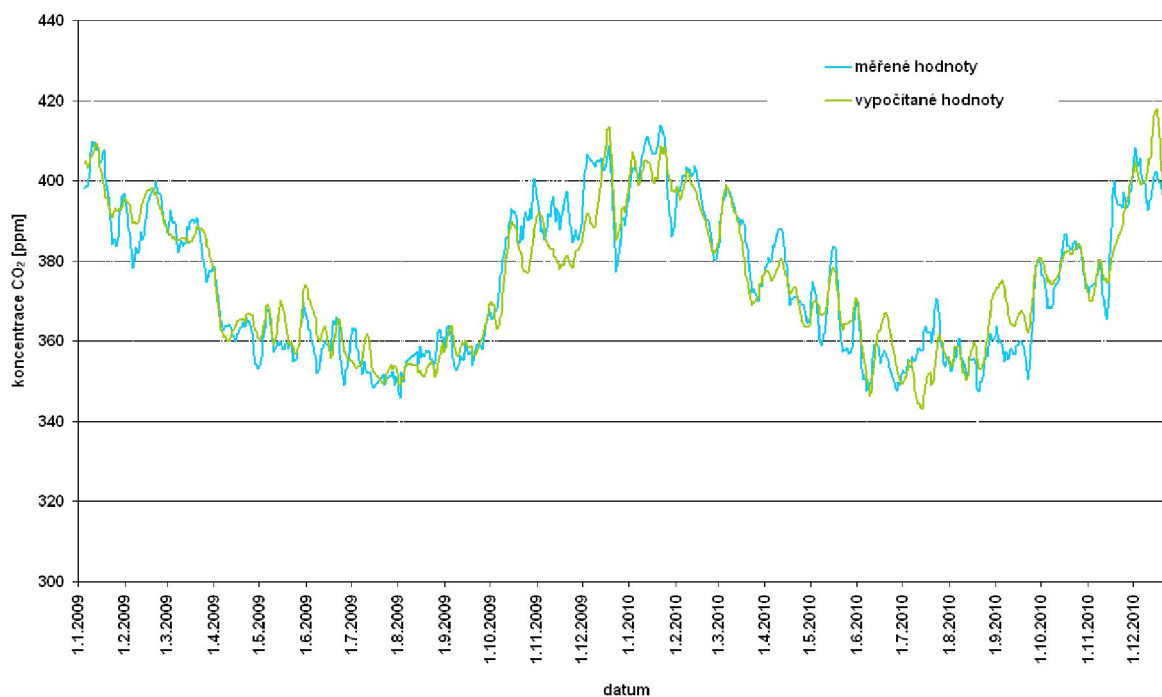
Obr. 9

Porovnání vypočítaných a naměřených koncentrací CO₂ v denním období



Obr. 10

Porovnání chodu naměřených a vypočítaných koncentrací CO₂ v denní době (zhlazeno 5-ti denními klouzavými průměry)



Obr. 11

O poměrně dobrém vztahu mezi koncentracemi CO₂ v osvětlené části dne a vybranými charakteristikami svědčí i porovnání průběhu vypočítaných a naměřených koncentrací CO₂, tak jak jsou znázorněny na Obr. 11. Ze statistického hlediska nesprávný postup ukazuje

poměrně dobrou shodu obou křivek, případné výraznější odchylky ukazují většinou na nějakou závadu v měření, obvykle to bývá v zimním období zamrznutý kříž anemometru a vypočítané koncentrace CO₂ jsou pak vyšší než naměřené. Samotný snímač CO₂ též v ojedinělých případech, zejména v ranních hodinách, naměří výrazně nižší koncentrace, které je možno tímto postupem odhalit, korigovat a následně provést nový výpočet.

Noční koncentrace CO₂ a jejich vztah k meteorologickým prvkům

V nočním období dochází k uvolňování CO₂ v důsledku respiračních procesů v půdě a rostlinách. Přestože má respirace poměrně dobře vyjádřenou exponenciální závislost na teplotě, vztah mezi teplotou vzduchu a koncentrací CO₂ v tomto období je jen těžko definovatelný. Je to zřejmě dáno tím, že na počátku nočního období je pokaždé poněkud jiná koncentrace vzniklá jako výslednice procesů předcházejícího dne. Ukázalo se proto jako výhodnější místo absolutní velikosti koncentrace CO₂ použít rozdíl mezi noční koncentrací a koncentrací předchozího denního období. Zde již lze sestavit těsnější vztahy odpovídající fyzikální realitě. Z Obr. 12 je zřejmé, že závislost tohoto rozdílu a průměrné teploty za denní období vykazuje předpokládaný exponenciální charakter, přičemž se zvyšující se teplotou je tato závislost méně těsná. Pokud se regresní model sestaví i s rychlostí větru, má výsledný tvar:

$$\Delta\text{CO}_2 [\text{ppm}] = -92.1 + 69.62 e^{(0.03T)} + 24.15/(V+0.4)$$

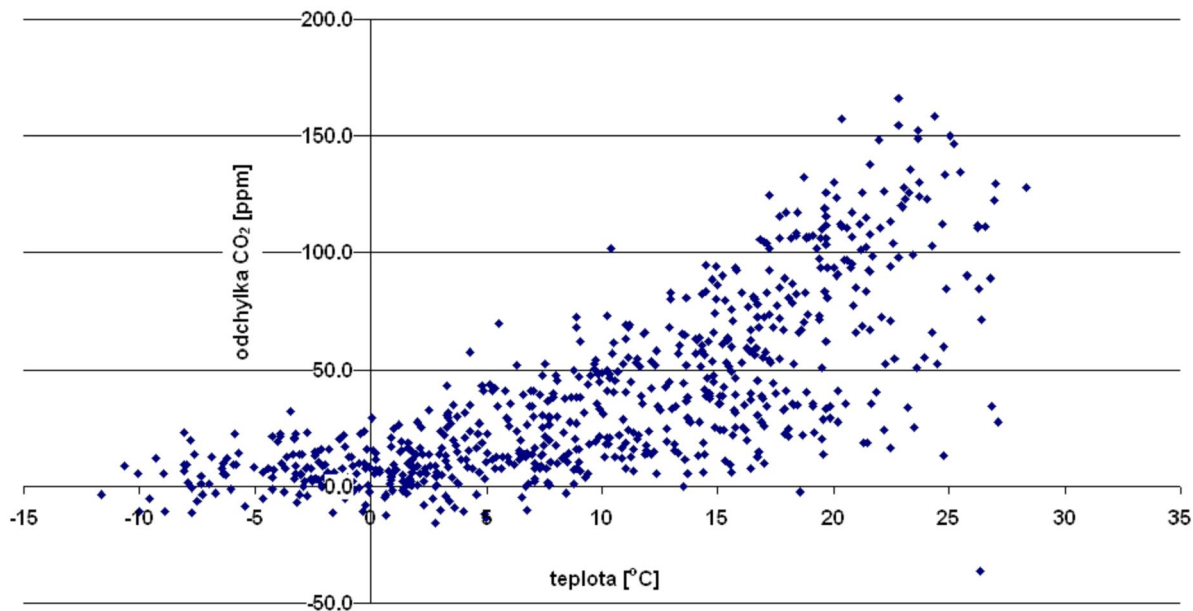
Závislost na teplotě vzduchu je exponenciální, na rychlosti větru je opět nepřímá závislost. Model vysvětluje proměnlivost odchylek nočních koncentrací od předcházejících denních na cca 76 %.

Se zvyšující se teplotou vzduchu stoupají rozdíly koncentrací CO₂ v nočních hodinách oproti denním, se vzrůstající rychlostí větru se tento rozdíl snižuje.

Skutečnost, že změna koncentrací v nočních hodinách vykazuje poměrně těsnou závislost na předcházející denní teplotě lze vysvětlit skutečností, že tato vykazuje zase poměrně dobrou korelaci s teplotami půdy v nočních hodinách (korelační koeficient je 0,94 – 0,91 v závislosti na hloubce). Lze proto předpokládat, že na zvyšování koncentrací v této době se podílí do značné míry respirace půdy.

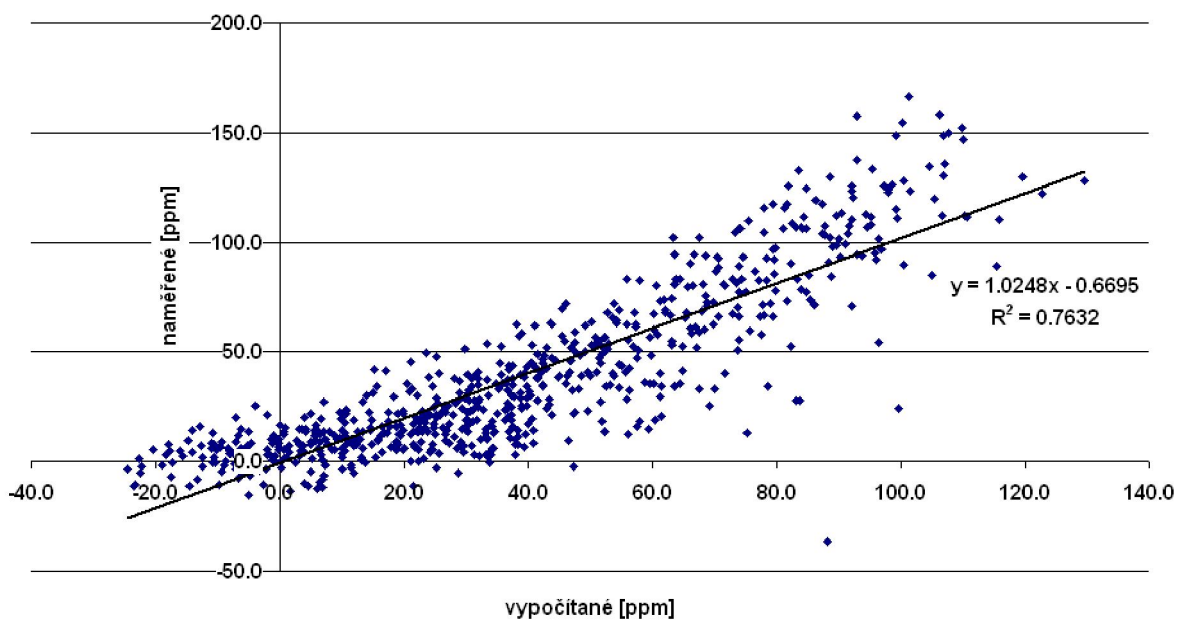
Porovnání průběhu vypočítaných a skutečně naměřených hodnot koncentrací CO₂ v nočních hodinách v závislosti na meteorologických prvcích je na Obr. 13.

Vztah mezi odchylkou koncentrací CO_2 v nočních hodinách oproti denním a průměrnou teplotou v denním období



Obr. 12

Porovnání vypočítaných a naměřených rozdílů koncentrací CO_2 v nočním a denním období



Obr. 13

Závěr

Předložené vyhodnocení naměřených koncentrací CO₂ na účelové stanici ve Sloupu v Moravském krasu v letech 2009 a 2010 vede k těmto závěrům:

1. ukazuje se poměrně dobrá shoda naměřených průměrných koncentrací s publikovanými údaji pro jiná reprezentativní místa na Zemi. Dokazuje to, že lokalita Sloup není výrazně ovlivněna blízkými antropogenními zdroji CO₂
2. v ročním chodu vykazují koncentrace CO₂ jednoduchou vlnu s maximálními hodnotami na počátku roku, minimální hodnoty se vyskytují většinou v červnu. V denním chodu jsou maxima koncentrací dosahována v období kolem východu Slunce, minima v poledních hodinách
3. chod denních amplitud koncentrací CO₂ v průběhu roku má rovněž tvar jednoduché vlny s maximem v červnu a červenci, minimem v zimních měsících
4. ukazuje se, že z velké části lze variabilitu koncentrací CO₂ vysvětlit pomocí teploty vzduchu, globálního záření a rychlosti větru. Vyšší rychlosti větru vedou k většímu promíchávání s výše ležícími vrstvami vzduchu a způsobují snižování rozdílů.
5. v denních hodinách je to především teplota, s níž jsou koncentrace CO₂ nejvíce svázány. Lineární charakter této závislosti ukazuje na to, že ani v období se zápornými teplotami nedochází ke změně této závislosti a biologické procesy, které ji utvářejí, probíhají i v tomto období.
6. v obdobích, kdy je převládajícím procesem respirace, mají závislosti koncentrací CO₂ na teplotě exponenciální charakter, což dokazuje, že při záporných teplotách je respirace velmi nízká a zejména v půdě dochází k výrazné redukci biologických procesů.
7. závislost zpracovaných charakteristik koncentrací CO₂ na ostatních prvcích, které jsou k dispozici, je menší, než na těch, které byly použity do modelů. Je to způsobeno do značné míry tím, většina těchto prvků vykazuje vysokou míru vzájemné korelace. Zejména se však nepodařilo prokázat, že by zejména přidání hodnot vlhkostí půdy, které jsou měřeny na blízké účelové stanici v Ostrově, vedlo ke zvýšení těsnosti vztahů. Je to do značné míry způsobeno i tím, že zejména rok 2010 byl velmi vodný a suchá období se prakticky nevyskytovala.

Poděkování

Práce vznikla jako součást řešení projektu MŽP ČR „Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních ČR“, SP/2d5/07.

Literatura

- Denning, A. S. a kol.: Simulated variations in atmospheric CO₂ over a Wisconsin forest using a coupled ecosystem–atmosphere model. *Global Change Biology*, p. 1241-1250, 2003
- Haszpra, L.: Carbon dioxide concentration measurements at a rural site in Hungary. *Tellus*, p. 17-22, 1995, ISSN 0280-6509
- Králová, H., Vybíralová, P. Malá, J.: Atmosférický oxid uhličitý a agresivita srážkových vod v městském prostředí. *Život. Prostr.*, Vol. 37, No. 5, 262 – 266, 2003
- Králová, H.: Carbon dioxide in the urban atmosphere. *Technické listy* 2006, Soubor technických listů řešení. ISBN 80-01-03892-5

- Lindroth, A. a kol.: Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biology*, p. 443-450, 1998
- LI Yue-Lin et al.: Temporal Variability in Soil CO₂ Emission in an Orchard Forest Ecosystem. *Pedosphere* 18(3): 273-283, 2008
- Marek, M.V.: Cyklus uhlíku v ekosystémech ČR vztah ke globální změně klimatu a Kžoto protokolu. In: Vliv biotických a abiotických stresorů na vlastnosti rostlin 2005. VURV Praha, ISBN80-86555-63-1, s. 32 – 39, 2005
- Miyaoka, Y a kolo.: Diurnal and seasonal variations in atmospheric CO₂ in Sapporo, Japan: Anthropogenic sources and biogenic sinks. *Geochemical Journal*, p. 429-436, 2007
- Pei-Li Shi et al.: Diurnal and seasonal variability of soil CO₂ efflux in a cropland ecosystem on the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology* 137 (2006) 220–233

Kontaktní adresa:

RNDr. Tomáš Litschmann, PhD., AMET Velké Bílovice, email: amet@email.cz