

Atmosférický oxid uhličitý a agresivita srážkových vod v městském prostředí

H. Králová, P. Vybíralová, J. Malá: Atmospheric Carbon Dioxide and Aggressivity of Precipitation Water in Urban Environment. Život. Prostr., Vol. 37, No. 5, 262 – 266, 2003.

A first part of the article deals with ambient carbon dioxide in the urban environment. A continuous measurement of this greenhouse gas has started at the Brno University of Technology in April 1999. The graphs show temporal and spatial variability of CO₂ concentration values measured in Brno (April 1999 – August 2003).

Building constructions in urban environment are negatively influenced by carbon dioxide in atmosphere and in rainwater as well. Evaluation of aggressive effect of rainwater caused by carbon dioxide is based on calcium – carbonate equilibrium. At five localities in the city of Brno and its vicinity the rainwater was sampled and its aggressivity has been evaluated using Heyer's test. The results of the test showed that rainwater in this urban environment during summer period (April – August 2003) did not have acid character and was aggressive.

Oxid uhličitý v atmosféře

Oxid uhličitý (skleníkový plyn), přestože tvoří pouhých 0,0335 % atmosféry Země, je velmi důležitou složkou ovzduší. Větší část emisí CO₂ je přirozeného původu (např. respirace, vulkanická činnost, apod.), náš příspěvek se zabývá pouze oxidem uhličitým antropogenního původu. Koncentrace oxidu uhličitého v téměř celém 20. století neustále stoupala, především následkem spalování fosilních paliv při dopravě, vytápění a výrobě elektrické energie. Asi 75 % emisí oxidu uhličitého pochází právě z využívání fosilních paliv. Zbývajících 25 % má na svědomí především intenzivní využívání půdy, odlesňování a požáry.

Obsah CO₂ v ovzduší postupně narůstal z hodnoty 550 mg.m⁻³ v polovině osmnáctého století až na současných kolem 726 mg.m⁻³ (v neznečištěném prostředí). Podle nejnovějších údajů Světové meteorologické organizace (World Meteorological Organisation – WMO) odhaduje se, že při zachování současného trendu v r. 2100 dosáhne 1 060 – 1 905 mg.m⁻³.

Oxid uhličitý zůstává v atmosféře velmi dlouho, polovina všech jeho emisí zůstává v atmosféře 50 až 200 let, zatímco druhou polovinu pohlcují oceány, půda a vegetace. Ke klimatickým změnám značně přispívá

urbanizace. Odhaduje se, že město s jedním milionem obyvatel produkuje 25 000 t CO₂ denně. Aktivity soustředěné do takového města spolu s emisemi postačí k ovlivnění lokální cirkulace atmosféry v jeho okolí. Tyto změny bývají také významné, že mohou měnit regionální cirkulaci, a tak ovlivňovat i cirkulaci globální. Neustálé zvyšování koncentrace skleníkových plynů může způsobit na konci tohoto století zvýšení průměrné globální teploty o 1,4 – 5,8 °C ve srovnání s hodnotami z r. 1990 (WMO, 2003).

Dostupných informací o koncentracích oxidu uhličitého ve městech není mnoho. Srovnání s publikovanými výsledky měření z kanadské Calgary (průměrné roční koncentrace za období 1991 – 1999 byly v rozmezí 765 – 786 mg.m⁻³), z amerického Phoenixu a kuvajtského Kuwait City ukazuje, že výsledky jsou velmi podobné (Králová, Teplý, 2002).

Kontinuální měření oxidu uhličitého v Brně

V České republice se podle dostupných informací koncentrace oxidu uhličitého v městském prostředí nemonitoruje. Český hydrometeorologický ústav to nedělá zřejmě proto, že tento plyn neznečišťuje ovzduší v klasickém slova smyslu.

Kontinuální měření oxidu uhličitého v Brně probíhá v areálu Stavební fakulty Vysokého učení technického od dubna 1999 přístrojem Multi-gas monitor typu 1302 firmy Brüel & Kjaer. Přístroj zaznamenává v hodinových intervalech koncentraci plynů (kromě oxidu uhličitého také oxidu dusného a vodní páry) ve výšce cca 2 m nad úrovní ulice se středním dopravním zatížením. Princip měření je založený na fotoakustické metodě detekce infračerveného vlnění.

Jednorázové měření CO₂ v Brně

Kromě kontinuálního monitorování, probíhajícího od dubna 1999 (obr. 1 a 2), uskutečnilo se 1. listopadu 2002 jednorázové měření v různých částech města – od jeho středu až po okrajové části:

- křižovatka Zvonařka (autobusové nádraží) – extrémně zatížený dopravní uzel,
- křižovatka Pisárky (u Brněnské vodárny) – velká hustota dopravy,
- sídliště Kohoutovice – Chopinova (na kopci u lesa) – čisté, dopravou téměř nezatížené prostředí,
- areál Myslivna (remízek u hotelu a balkon hotelu) – velmi čisté prostředí, bez dopravního zatížení.

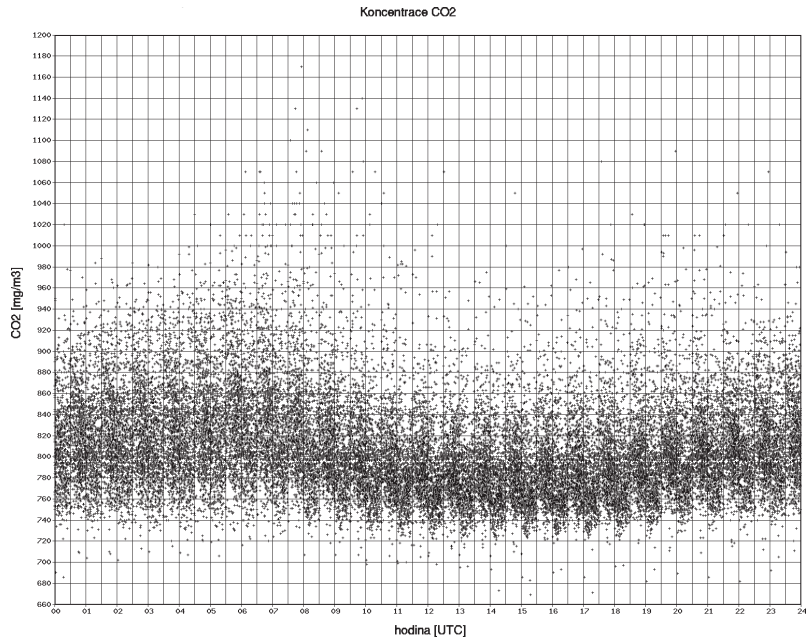
Měření na každé lokalitě trvalo kolem 20 minut (během této doby bylo provedeno 6 – 8 měření), takže za dvě hodiny se podařilo zrealizovat celou akci, povětrnostní podmínky byly na všech místech velmi podobné. Výsledky měření ukazují obr. 3.

Z grafu je patrné, že nejvyšší koncentrace CO₂ byly na místech s vysokým dopravním zatížením, směrem k okraji města koncentrace klesaly.

Zajímavosti z monitorování atmosférického CO₂ v Brně

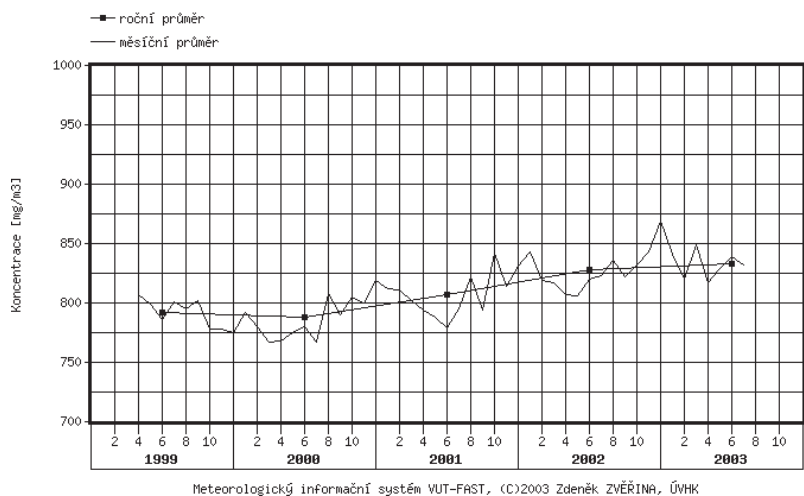
Řada měření je dosud příliš krátká pro stanovení zobecňujících závěrů, lze však vidět určité zajímavosti:

- vyšší koncentrace CO₂ ve městě se vyskytují v zimních měsících (spalovací motory v dopravě, vytápění budov, vegetační klid),



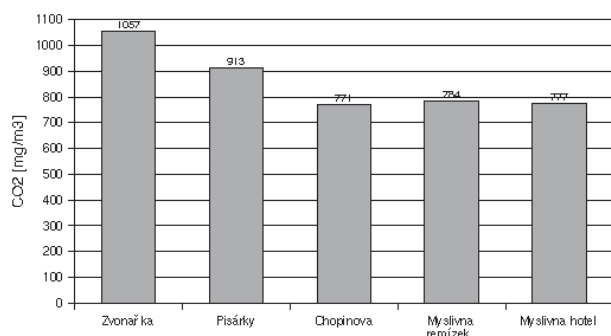
1. Průměrné hodinové koncentrace CO₂ za celé monitorovací období (duben 1999 – červenec 2003)

2. Průměrné měsíční a roční koncentrace CO₂



Poznámka: Průměrné roční hodnoty pro počáteční rok (1999) a aktuální rok (2003) jsou ovlivněny (vypočteny z neúplného roku, tedy pouze z měsíců, pro které byly k dispozici údaje)

- koncentrace CO₂ klesá od středu města směrem k okrajovým částem,
- hodnoty naměřené v Brně se výrazně neodlišují od zveřejněných výsledků z jiných měst,



3. Průměrné koncentrace CO₂ na jednotlivých lokalitách

- koncentrace CO₂ se mění během dne i během roku. Obr. 4 dokumentuje denní průběh koncentrace CO₂ v zimním období, je z něj patrná ranní a odpolední dopravní špička. Obr. 5 ukazuje zase průběh hodnot CO₂ v dubnu – také lze pozorovat ranní i odpolední špičku, avšak méně výraznou,
- koncentrace oxidu uhličitého je rozdílná v různých výškách (zpočátku bylo měření prováděno ve výšce 6. nadzemního podlaží, od září 2000 bylo přemístěno 2 m nad úroveň chodníku).

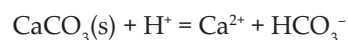
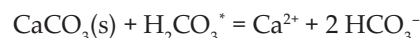
Hodnota koncentrace atmosférického oxidu uhličitého má značné důsledky na tzv. karbonatci betonu

a následně na korozi ocelové výztuže betonových konstrukcí (Drochytka, Matoušek, 1998).

Agresivita srážkových vod v městském prostředí

V městském prostředí působí agresivně na stavební konstrukce nejen atmosférický oxid uhličitý, ale i rozpuštěný ve srážkové vodě. V důsledku účinků vnějšího agresivního prostředí projevují tyto konstrukce větší či menší poruchy, všechny však snižují trvanlivost stavebního díla a mnohdy způsobují značné hospodářské škody. Při vzniku těchto poruch hraje primární roli vždy voda.

Hodnocení agresivních účinků vod působením oxidu uhličitého vychází z vápenato-uhličitanové rovnováhy. Tu lze popsat dvěma rovnicemi, které určují, za jakých podmínek bude docházet k rozpouštění nebo naopak, k vylučování CaCO₃:



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 beton. Pro hodnocení agresivity vody lze použít řadu výpočetních metod.

Tab. 1. Chemické ukazatele srážkových vod na sledovaných lokalitách v Brně v období duben – červenec 2003

| Brno lokalita | Počet vzorků | | Objem | pH | KNK _{4,5} | Ca | Heyerova zkouška | |
|---------------|--------------|---------|------------|-------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| | | | [ml] | | [mmol.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | Δ Ca[mmol.l ⁻¹] | Δ pH |
| Žižkova | 9 | průměr | 1716 | 7,05 | 0,2 | 5 | 0,63 | 1,09 |
| | | min-max | 415 – 5000 | 5,88 – 8,21 | 0,1 – 0,4 | 2 – 8 | 0,15 – 1,10 | 0,26 – 3,34 |
| Barvičova | 7 | průměr | 1450 | 6,88 | 0,4 | 7 | 0,49 | 1,45 |
| | | min-max | 278 – 2225 | 6,07 – 7,38 | 0,1 – 1,0 | 2 – 24 | 0,15 – 0,75 | 0,15 – 2,39 |
| Řečkovice | 11 | průměr | 1654 | 6,64 | 0,3 | 5 | 0,52 | 1,38 |
| | | min-max | 300 – 4850 | 4,71 – 7,88 | 0,2 – 0,6 | 2 – 10 | 0,05 – 1,20 | 0,27 – 2,41 |
| Slatina | 8 | průměr | 1968 | 6,49 | 0,4 | 6 | 0,72 | 1,44 |
| | | min-max | 310 – 4050 | 5,06 – 7,91 | 0,2 – 1,0 | 2 – 18 | 0,1 – 1,45 | 0,54 – 2,28 |
| Rozdrojovice | 7 | průměr | 1200 | 5,58 | 0,3 | 7 | 0,98 | 1,58 |
| | | min-max | 345 – 4120 | 4,82 – 6,82 | 0,1 – 0,8 | 4 – 12 | 0,35 – 1,40 | 0,54 – 3,31 |

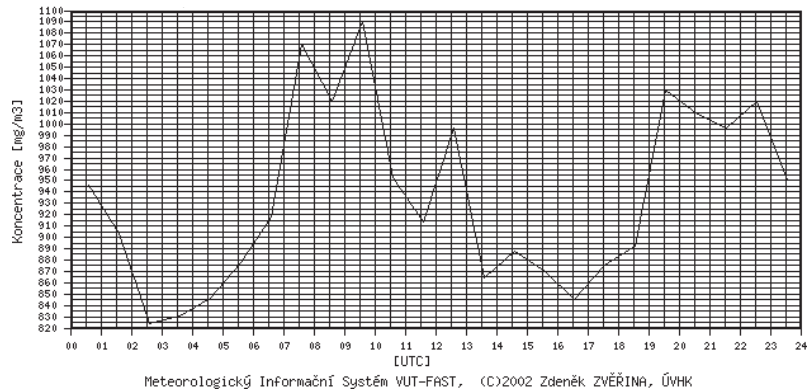
Rovněž se využívá experimentální metoda zvaná Heyerova zkouška. Vzorek vody v lahvi uzavřené bez vzduchových bublin se uvede do styku s práškovým CaCO_3 . Po dostatečně dlouhé reakční době (minimálně 6 hodin) se stanoví hodnota pH a ve filtrovaném vzorku hodnota $\text{KNK}_{4,5}$ (kyselivotvorná neutralizační kapacita při pH 4,5) a koncentrace vápníku. Údaje se srovnávají s hodnotami v původním vzorku vody. U vod, které jsou agresivní, tzn. mají tendenci rozpouštět CaCO_3 , se hodnoty uvedených ukazatelů zvyšují, u vod inkrustujících se naopak, snižují. Pokud je změna hodnoty pH menší než 0,05, lze předpokládat, že je ve vápenato-uhlíčitanové rovnováze. Experimentální stanovení přesycení nebo nenasycení CaCO_3 má význam zejména u málo mineralizovaných vod (např. srážkových), protože zahrnuje všechny vlivy (např. pouhou rozpustnost CaCO_3), z nichž některé nelze výpočtem postihnout a někdy s uhlíčitanovou rovnováhou přímo nesouvisí, ale bezprostředně ovlivňují agresivitu vody.

Hodnocení agresivity srážkových vod v Brně a okolí

Naším cílem bylo hodnocení agresivity srážkových vod na území města a v jeho blízkém okolí Heyerovou zkouškou.

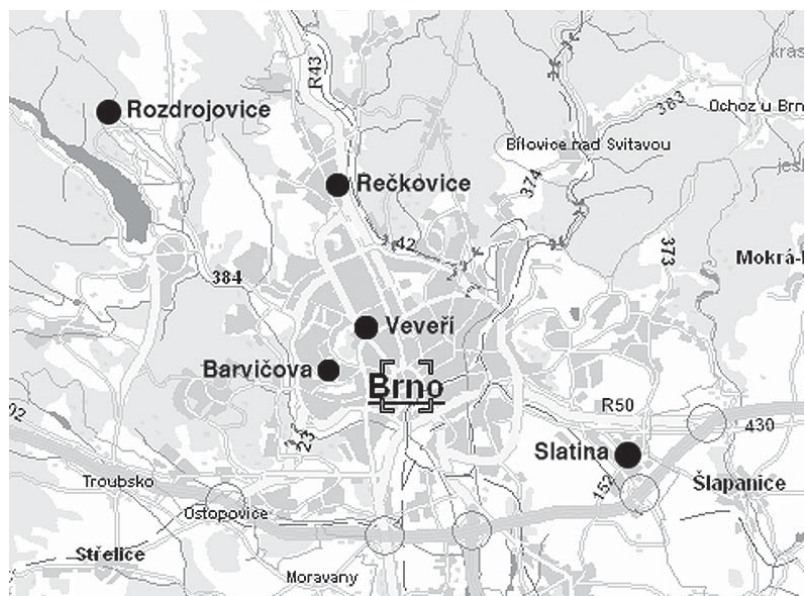
Dešťové srážky jsme sledovali na pěti předem určených stanovištích: areál VUT Fakulty stavební (Žižkova), Barvičova, Slatina, Řečkovice a Rozdrojovice. Z každého stanoviště se v určený den v týdnu odebral vzorek srážkové vody. Množství vody se změřilo, přes noc bylo uchováno v plastové lahvi a následující den dopraveno do laboratoře ke zpracování. Monitoring byl zahájen v dubnu 2003 s frekvencí odběru vzorku jedenkrát týdně.

Základem zařízení pro jímání srážkové vody byla 5 l plastová láhev, do jejíhož hrdla byla zaústěna výpusť trychtýřovitá nálevky o průměru 50 cm. Aby se zabránilo splachování mechanických částic, byla mezi tyto díly vložena síťka z PVC. Po obvodu nálevky byly zataveny bodlinky znemožňující případné znečištění odběrného zařízení usedáním ptactva. Tělo plastové lahve bylo z důvodu tepelné izolace zabaleno do poly-



4. Denní průběh koncentrace CO_2 v zimním období (pracovní den)

Lokality monitorování srážkových vod v Brně

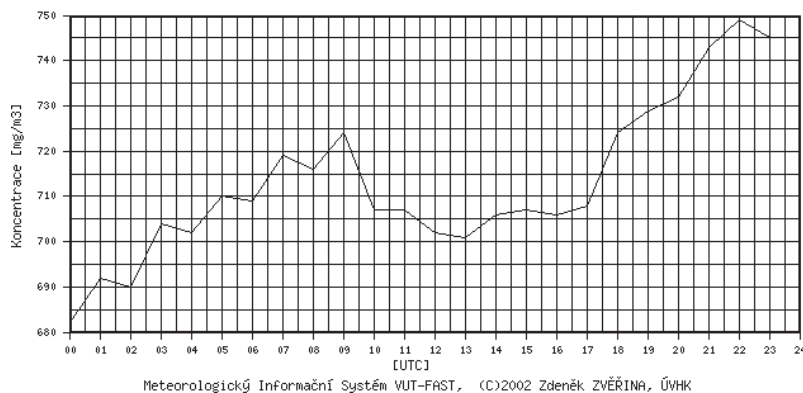


uretanové pěny, čímž byl eliminován výpar vzorku a zajištěno jeho uchování do doby zpracování.

Chemické rozborů srážkových vod se prováděly podle ČSN/ISO a zahrnovaly stanovení koncentrací pH, $\text{KNK}_{4,5}$, Ca a vodivosti. Heyerova zkouška se provádí podle TNV 75 7121.

V tab. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty, minimum a maximum sledovaných ukazatelů v týdnech, kdy objem vzorku byl dostatečný k provedení potřebných rozborů.

Z tabulky je patrné, že ve sledovaném období množství srážek na jednotlivých lokalitách značně kolísalo. Vzorky se odbíraly v týdenních intervalech. I přes tepelnou izolaci docházelo v horkých letních měsících



5. Denní průběh hodnot CO₂ 1. dubna 2000

k jejich částečnému odparu. Kolísalo rovněž složení odebraných vzorků. Překvapivé bylo poměrně vysoké pH srážkových vod, které pouze ojediněle na dvou lokalitách kleslo pod hodnotu 5,0. Tato hodnota se uvádí jako orientační pro posouzení, zda byla vyčerpána tlumivá kapacita uhličitánového systému a začínají se uplatňovat minerální kyseliny. V takovém případě se hovoří o kyselých srážkách.

U většiny našich odběrů tlumivá kapacita uhličitánového systému vyčerpána nebyla. Tomu odpovídá i naměřená hodnota KNK_{4,5'}, která se pohybovala v rozmezí 0,1 – 1,0 mmol · l⁻¹.

Agresivitu srážkových vod, stanovenou Heyerovou zkouškou, jsme vyhodnocovali na základě změny koncentrace Ca na začátku a na konci testu. Dále jsme sledovali odpovídající změnu pH.



Zjištěná změna pH byla v intervalu 0,15 – 3,34. To znamená, že srážkové vody ve všech případech nebyly ve vápenato-uhličitánové rovnováze. Jednalo se o vody agresivní, nenasycené CaCO₃, které rozpouštěly CaCO₃. Změna obsahu vápníku se podle lokality pohybovala v rozmezí 0,05 – 1,45 mmol.l⁻¹.

V průběhu Heyerovy zkoušky ovlivňuje rozpouštění CaCO₃ řada faktorů, např. je to vliv některých organických a anorganických látek, látek inhibujících krystalizaci CaCO₃, např. hořčíku, nebo naopak, přítomnost cizích částic jako krystalizačních center při heterogenní nukleaci. Vzhledem k tomu, že atmosférické vody jsou velmi málo mineralizované, lze za dva hlavní ukazatele ovlivňující agresivitu vody považovat obsah nerovnovážného CO₂ a nízkou koncentraci vápníku.

Ve složení vzorků vod a v jejich agresivitě byly na jednotlivých lokalitách zjištěny rozdíly, avšak nebyly významné a zřejmě neměly vazbu na polohu odběrového místa. Zároveň se nepotvrdila závislost sledovaných parametrů na množství srážek.

Závěrem lze říci, že srážkové vody odebírané v letních měsících na území Brna neměly kyselý charakter a z výsledků Heyerovy zkoušky vyplývá, že byly agresivní povahy.

Tento článek vznikl za podpory grantu GA ČR 103/03Z030 a částečně i výzkumného záměru MSM 261100007.

Literatura

- Drochytka, R., Matoušek, M.: Atmosférická koroze betonů. IKAS Praha, 1998.
- Králová, H., Teplý, B.: Časový profil oxidu uhličitého a jeho vliv na trvanlivost železobetonových konstrukcí. Beton, 2002, č. 4.
- Pitter, P.: Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT Praha, 1999.
- WMO: Our Future Climate. WMO, No. 952. Geneva, 2003.

Ing. Helena Králová, CSc., Ústav vodního hospodářství krajiny Fakulty stavební VUT, Žižkova 17, 602 00 Brno
kralova.h@fce.vutbr.cz

Ing. Jitka Malá, PhD., Ústav chemie Fakulty stavební VUT, Žižkova 17, 602 00 Brno,
mala.j@fce.vutbr.cz

Ing. Pavla Vybíralová, Ústav chemie Fakulty stavební VUT v Brně,
vybiralova.p@fce.vutbr.cz