

# ČASOVÝ PROFIL OXIDU UHLIČITÉHO A JEHO VLIV NA TRVANLIVOST ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ TIME PROFILE OF CARBON DIOXIDE AND ITS EFFECT ON DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

HELENA KRÁLOVÁ  
A BŘETISLAV TEPLÝ

Informace o průběžném měření koncentrace oxidu uhličitého. Hodnoty jsou porovnány se zahraničními výsledky a jsou připomenuty důsledky pro karbonataci betonu s následnou možností koroze výztuže. Jsou ukázány základní statistické charakteristiky koncentrace CO<sub>2</sub> potřebné při modelování degradace železobetonových konstrukcí.

The results of continuous measurement and the influence of carbon dioxide on the carbonation of concrete, which contributes to corrosion of the reinforcement. The ambient carbon dioxide measurement values from Brno are compared with the results of similar measurement from Calgary, Canada, and from Phoenix, USA. The statistical characteristics required for modelling of degradation processes are shown.

Negativní vliv oxidu uhličitého je znám především v souvislosti s nebezpečím tzv. skleníkového efektu, tedy globálního ovlivňování života na zeměkouli. Méně známé jsou důsledky obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší obklopujícím železobetonové konstrukce – totiž karbonatace betonu způsobená oxidem uhličitým, která vytváří předpoklady ke korozi výztuže a postupem času tedy k degradaci takových konstrukcí, tj. ke snížení jejich spolehlivosti a životnosti – blíže o tom viz. např. [1].

Tento článek navazuje na předchozí práci autorů [2], kde je mj. uvedeno, jaký vliv na rychlost postupu karbonatace může mít koncentrace CO<sub>2</sub>. Její hodnoty však mohou výrazně kolísat s časem a jsou různé

v různých lokalitách a podmínkách. Informace o takových hodnotách jsou téměř nedostupné, resp. příslušné hodnoty jsou měřeny a publikovány jen zřídka a zejména pak spojitě měření oxidu uhličitého v městském prostředí se, podle dostupných informací, provádí jen výjimečně. Předložený článek si klade za cíl tuto mezeru alespoň částečně zaplnit. Připomínáme, že v článku [2] jsou uvedeny jen ukázky krátkodobých měření z r. 2000.

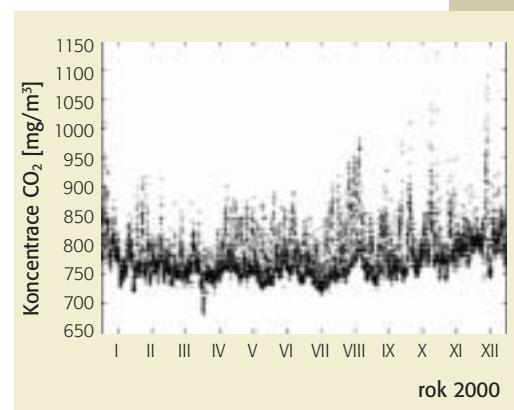
V městském prostředí bývá koncentrace CO<sub>2</sub> vyšší v blízkosti zdrojů spalujících fosilní paliva, tedy spalovacích motorů dopravních prostředků a topenišť. Meteorologická stanice Fakulty stavební VUT v Brně monitoruje koncentraci CO<sub>2</sub> nepřetržitě od dubna 1999. Celé toto období monitorování oxidu uhličitého na VUT v Brně lze rozdělit do dvou období: měření v úrovni 6. nadzemního podlaží (do září 2000) a navazující měření ve výšce 2 m nad chodníkem v sousedství velmi frekventované komunikace ve vnitřním Brně (od 5. září 2000 dosud). V tabulce 1 je tato skutečnost zohledněna – odděleně jsou ukázány první dva statistické momenty obou souborů získaných měření.

Z tabulky je zřejmé, že hodnoty naměřené v úrovni terénu jsou výrazně vyšší, než hodnoty ve výšce 6. podlaží, tedy koncentrace CO<sub>2</sub> je ovlivněna i výškou nad terénem, v které je měřena. Směrodatné odchylky pro denní průměry měření nejsou vysoké – odpovídají hodnotám variačních koeficientů kolem 5 %. Obrázky 1 a 2 pak ukazují časový průběh koncentrace CO<sub>2</sub> během roku 2000 a 2001 (měření po hodinách, tedy 24 měření za den).

Jde sice o hodnoty získané měřením, které probíhalo pouze 37 měsíců, ale přesnější údaj z ČR není autorům znám.

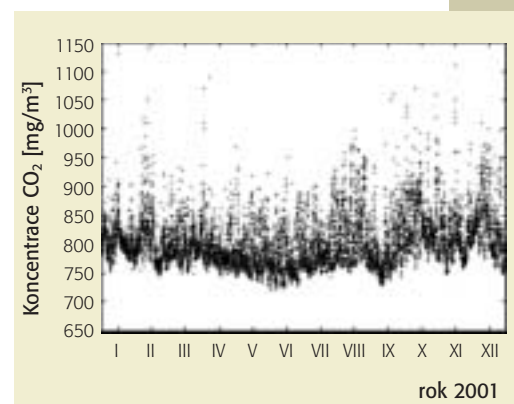
Na obrázku 3 jsou pak ukázány rozdíly koncentrací CO<sub>2</sub> v létě a v zimě, podle měření získaných na meteorologické stanici v Brně v roce 2001 (jsou vykresleny denní průměry vždy po dobu tří měsíců).

Z obrázků je možno usuzovat, že hodnoty oxidu uhličitého jsou v uvedených le-



Obr. 1 Časový průběh hodnot oxidu uhličitého – r. 2000, meteorologická stanice VUT v Brně

Fig. 1 Temporal variability of hourly CO<sub>2</sub> concentrations in 2000, Meteostation VUT Brno



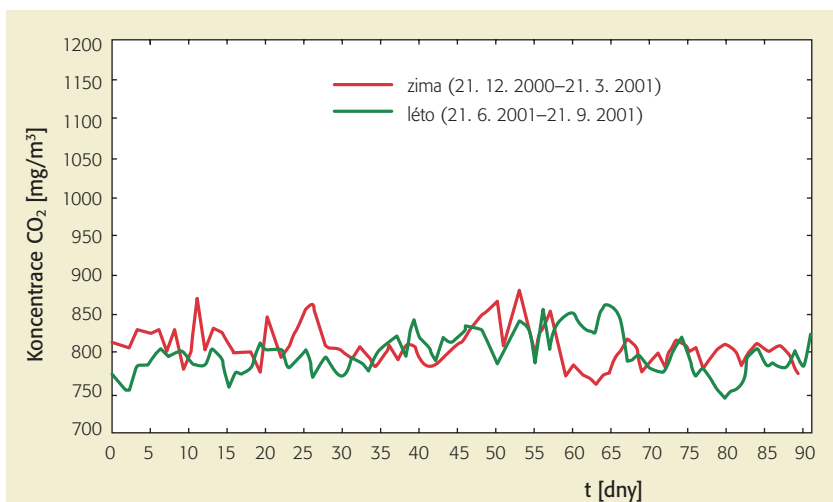
Obr. 2 Časový průběh hodnot oxidu uhličitého – r. 2001, meteorologická stanice VUT v Brně

Fig. 2 Temporal variability of hourly CO<sub>2</sub> concentrations in 2001, Meteostation VUT Brno

Tab. 1 Statistické charakteristiky měření CO<sub>2</sub>

Tab. 1 Statistical characteristics of CO<sub>2</sub> measurement

Období měření	Měření v úrovni 6. podlaží duben 1999 – září 2000	Měření v úrovni 2 m nad terénem září 2000 – dosud
Průměrná hodnota [mg/m <sup>3</sup> ]	785,57	808,68
Minimum [mg/m <sup>3</sup> ]	600	721
Maximum [mg/m <sup>3</sup> ]	1010	1140
Směrodat. odchylka [mg/m <sup>3</sup> ]	39,57	43,80



Obr.3 Denní průměrné hodnoty oxidu uhličitého v zimním a letním období 2001

Fig. 3 Daily average CO<sub>2</sub> concentrations in winter and summer season in 2001

tech v zimním období o něco vyšší, k čemuž zřejmě přispívá již zmíněné znečištění ovzduší provozem topenišť při vytápění budov.

Poznamenejme, že naše výsledky měření odpovídají zhruba hodnotám, naměřeným ve městech Calgary (Kanada, provincie Alberta) a Phoenix (USA, Arizona). Ve městě Phoenix byla koncentrace oxidu uhličitého sledovaná také v různých vzdálenostech od centra města. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve středu města (1 090 mg/m<sup>3</sup>) a směrem ke kraji města klesaly až na 726 mg/m<sup>3</sup> [5]. V některých informačních zdrojích se sice uvádí, že v intenzivně urbanizovaných oblastech bývá průměrná koncentrace oxidu uhličitého přibližně o 5 až 10 % vyšší než mimo město. Jak je ale patrné z uvedených měření ve městě Phoenix, může být extrémní rozdíl až 50 % (vztaheno k hodnotě naměřené na okraji města)!

V souvislosti s těmito údaji připomeňme, že koroze výtuzže může nastat tehdy, když hloubka karbonatace dosáhne tloušťky krycí vrstvy betonu. Pomocí modelů uvedených v [1] lze ukázat, že např. při zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> z hodnoty 600 na 800 mg/m<sup>3</sup> by doba dosažení hloubky karbonatace 15 mm klesla o cca 16 let (beton C30/37, OPC, relativní vlhkost ovzduší 65 %). Je nutno ale uvést, že na rychlost karbonatace má největší vliv relativní vlhkost a také jakost betonu i typ cementu je významný. Vzhledem k tomu, že hodnoty většiny parametrů vstupujících

do výpočtů při prognózování rychlosti karbonatace mohou mít značný rozptyl (viz např. tabulka 1), resp. jsou do jisté míry nejisté, je na místě používat stochastickou analýzu. Úspěšnost prognózy karbonatace pomocí výpočetních modelů byla tak ověřena např. na srovnávací studii železobetonové chladicí věže [3]. Byl tam m.j. ukázán též vliv relativní vlhkosti – rozdíly mezi vnitřním a vnějším povrchem věže. Znalost relevantních údajů o statistických charakteristikách koncentrace CO<sub>2</sub> je proto nezbytná.

Vzhledem k poměrně krátké době monitorování CO<sub>2</sub> Meteorologickou stanicí FAST VUT v Brně, nelze v současné době z naměřených hodnot odvozovat zodpovědně trendy do budoucnosti a určovat korelace s jinými jevy. Nepřetržitě monitorování oxidu uhličitého se v Brně provádí stále na jednom místě, nad dosti frekventovanou ulicí Veverí. Výhledově se uskuteční jednorázová měření CO<sub>2</sub> také na jiných lokalitách – např. na křižovatkách extrémně zatížených dopravou. Po získání delší řady měření bude možné hledat např. změny koncentrace oxidu uhličitého dle ročního období, případně závislost s jinými meteorologickými veličinami a v tomto textu uvedené výsledky pak zpřesňovat.

Jak bylo naznačeno výše, údaje o koncentraci CO<sub>2</sub> jsou potřebné pro prognózy postupu karbonatace pomocí výpočtových modelů. To se pak uplatní při určování zbytkové životnosti existujících železobetonových konstrukcí a také při navrhování nových konstrukcí dle postupů Performance-Based Design (volně přeloženo „navrhování konstrukcí s ohledem na užité vlastnosti“). Je to nový trend, který získává v posledních letech v zahraničí značnou pozornost – viz např. [4].

Ještě dále jdou cíle prioritní aktivity CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) zaměřené na Performance-Based přístupy, která se chce zabývat snahou o průměrné snížení cen staveb a o další zásadní dopady na konstruování staveb, jejich provádění a na obchodní postupy stavebních firem. V roce 2001 byly proto zahájeny práce na velkém mezinárodním projektu financovaném 5. rámcovým programem Evropské unie, přitom jedním z dílčích úkolů v tomto projektu je právě zjišťování statisticky významných dat, potřebných pro stanovení či předpověď degračních procesů stavebních materiálů a prvků.

Poděkování: Tato práce vznikla za částečné podpory z prostředků grantu GAČR 103/97/K003 a projektu MSM 26110007.

#### Literatura

- [1] Šmerda Z. a kol.: Životnost betonových staveb, Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika – TK 4, ČKAIT Praha, 1999
- [2] Králová H. a Teplý B.: Koncentrace oxidu uhličitého – karbonatace betonu – koroze výtuzže, Beton-Technologie-Konstrukce-Sanace, 5/2001, s. 44-45
- [3] Krešner Z. a kol.: Karbonatace betonu, koroze výtuzže a životnost chladicí věže, Sanace, 4/1996, s. 21-23
- [4] Smith I.: Increasing Knowledge of Structural Performance. Structural Engineering International, 3/2001, s.191-5
- [5] Stewart M. G., Teplý B., Kralova H.: The Effect of Spatial Variability of Ambient Carbon Dioxide Concentrations on Carbonation of RC Structures. Proc. of 9<sup>th</sup> International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brisbane, Australia, 2002

Prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.  
tel: 05 4114 7642, fax: 05 4114 7667  
e-mail: teplý.b@fce.vutbr.cz  
Ing. Helena Králová, CSc.  
tel: 05 4114 7776, fax: 05 4114 7771  
e-mail: kralova.h@fce.vutbr.cz  
Stavební fakulta VUT v Brně  
Žižkova 17, 662 37 Brno