

Úvod do ošetrovania betónu 2 V zimnom období

Betón a všeobecne materiály na báze cementu sú citlivé na okrajové podmienky najmä v čerstvom stave a mladom veku. Za ideálnu teplotu pre priebeh hydratácie, a teda pre tuhnutie a tvrdnutie betónu sa považuje 15–20 °C. V minulom čísle sme sa zaoberali ošetrovaním betónu v letnom období, kedy teplota prostredia výrazne prekračuje 20 °C. Táto časť sa venuje technológiám ošetrovania betónu v zimnom období, tj. pri teplote pod 5 °C.

Za ošetrovanie čerstvého a mladého betónu sa považuje vedomý výkon takých činností, ktorých cieľom je umožniť hydratáciu cementu v podmienkach približujúcich sa ideálnym (15–20 °C; 100 % RH). Existujú dva základné prístupy k významu ošetrovania. Prvým je, že ošetrovanie má v maximálnej miere zvýšiť trvanlivosť konštrukcie pri zachovaní predpokladaných iných úžitkových vlastností. Druhým prístupom je snaha o dosiahnutie maximálnej novej pevnosti [1]. Oba prístupy sú opodstatnené a ich syntézou sa dopracujeme ku a komplexnému významu ošetrovania, ktorým je maximálne využitie potenciálu (receptúry) čerstvého betónu pre dosiahnutie vhodných mechanických vlastností a dlhej životnosti. Význam ošetrovania zdôrazňuje aj skutočnosť, že zväčša sa jedná o finálny proces zhotovenia betónových konštrukcií, preto jeho zanedbaním môžu vzniknúť najväčšie škody z hľadiska už vynaložených prostriedkov.

Proti čomu sa betón chráni

Hlavne čerstvý, no i mladý betón (ako bolo zdôvodnené v 1. časti cyklu) je potrebné chrániť proti mechanickému poškodeniu a statickým alebo dynamickým zaťažením. Ďalej je potrebné chrániť betón proti vzniku ťahových a tla-

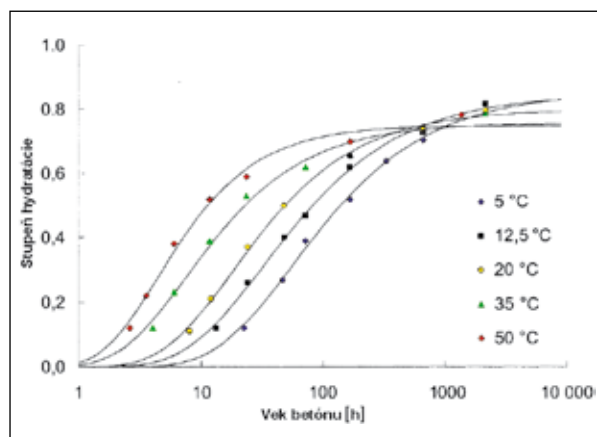
kových napätí vo vznikajúcej alebo existujúcej štruktúre betónu, ktorá v danom okamihu nemá dostatočnú pevnosť na to, aby ich dokázala preniesť. V prípade zimnej betonáže tieto napätia vznikajú v dôsledku objemových zmien vody súvisiacich s prechodom do pevného skupenstva.

Teória hydratácie a vplyv (teploty) prostredia

Hydratácia cementu je súbor navzájom nezávislých chemických reakcií jednotlivých slinkovitých minerálov s vodou. Tento pojem zahŕňa

všetky javy a zmeny, chemické i fyzikálne, ktoré nastávajú ak cement prechádza z nestabilnej (dehydratovanej) sústavy do sústavy stabilnej (hydratovanej). Ak chceme využiť tieto poznatky v technologickej praxi, hydratácia je najzaujímavejšia v jej počiatočnej, najdynamickejšej fáze. Čerstvý cementový tmel sa z počiatku viditeľne nemení (dôsledok prítomnosti síranu vápenatého), neskôr ale začína strácať plasticitu – tuhne (štandardne 45–90 min) a tvrdne. Tvrdnutie sa prejavuje nárastom pevnosti už vzniknutých väzieb.

Keďže hydratácia je chemicko-fyzikálna reakcia, je pochopiteľné, že jej priebeh je determinovaný jednak vlastnosťami a dávkou reaktantov, prípadne prídavných činiteľov, ale aj vplyvmi okolia, a to najmä teplotou. Vplyv vlastností a dávky reaktantov alebo iných činiteľov si veľmi zjednodušene vysvetlíme v metódach umožňujúcich zimnú betonáž. Vplyv teploty (obr. 1) je rozhodujúcou vlastnosťou prostredia, pretože má priamy dopad na teplotu reagujúcich látok a reagujúcej sústavy. Hydratácia prebieha prakticky len za prítomnosti vody v kvapalnej fáze. Limitujúcim faktorom preto je prípadná nízka teplota spôsobujúca zastavenie hydratácie ak dôjde k zamrznutiu vody.



Obr. 1: Vplyv teploty na rýchlosť hydratácie [4]



Obr. 2: Graf ročného priebehu priemernej dennej teploty v Bratislave [6]



Obr. 3: Graf ročného priebehu priemernej dennej teploty v Poprade [6]

Zastavenie hydratácie pri nízkych teplotách

Za obdobie s nízkou teplotou sa z hľadiska betónáže podľa ACI 306 [5] považuje obdobie, kedy počas aspoň troch po sebe idúcich dní nevystúpí priemerná denná teplota nad 5 °C a teplota vzduchu nevystúpi nad 10 °C na viac ako pol dňa v ktoromkoľvek 24hodinovom intervale. Slovensko i Česko sa nachádzajú v klimatickom pásme, kde takéto podmienky bežne nastávajú (obr. 2 a 3), a je preto opodstatnené sa téme ošetrovania betónu v zimnom období venovať.

Význam tohoto typu ošetrovania rastie priamo úmerne s povrchovým modulom betónovanej konštrukcie. Inými slovami, čím subtilnejšiu konštrukciu betónujeme, tým väčšou teplotyennou plochou dochádza k strate tepla do okolitého prostredia a tým zvyšuje sa riziko zamrznutia.

Pod zamrznutím sa vo všeobecnosti rozumie pokles teploty vody pod 0 °C. V cementovom tmele je však voľná voda vo forme nasýteného pórového roztoku, čo znižuje teplotu bodu mrazu na približne -3 až -4 °C [7]. Ak predsa len teplota betónu klesne pod túto kritickú hodnotu, dôjde k zmene fázy pórového roztoku na pevnú, čo so sebou obnáša zväčšenie jej objemu o cca 9,1 %. Zamrznutie betónu je vždy nežiadúce, no nie vždy má fatálne následky. Podľa aktuálneho stavu betónu (v dobe), keď k zamrznutiu došlo, rozlišujeme tri scenáre.

- V prvom (lepšom) prípade dôjde ku zamrznutiu betónu ešte pred začiatkom formovania prvých kryštálov budúceho cementového kameňa. Udáva sa limitná pevnosť betónu 0,1 MPa [10]. Ak zväzíme, že nositeľom pevnosti v počiatočnom veku je tuhnutí cementový tmel, potom môžeme za začiatok tuhnutia považovať kritérium 0,5 MPa podľa [12]. Nakoľko pevnosť pri začiatku tuhnutia (0,5 MPa) je pätnásobkom limitnej hodnoty 0,1 MPa pre zamrznutie vody, kedy nedôjde k významnému poškodeniu betónu, je jasné, že pri pevnosti betónu do 0,1 MPa sa ešte hydratácia nerozbehla. Zamrznutie vody spôsobí len vyššiu permeabilitu, nižšiu odolnosť voči zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom [5] a prášivosť povrchu (obr. 6).
- Druhou možnosťou je zamrznutie betónu počas tuhnutia. Tuhnutie je podľa [10] charakterizované intervalom pevnosti (0,5–5,0) MPa ([5] udáva do 3,5 MPa). Hodnota 5,0 MPa sa označuje ako zmrazovacia pevnosť. Napätia z objemovej zmeny vody (cca 9,1%) vysoko prevyšujú i pevnosť v tlaku a štruktúra betónu sa deštruuje (obr. 7). V závislosti od stupňa zatuhnutia cementového tmelu v čase zamrznutia je možná len čiastočná schopnosť betónu dosiahnuť predpokladané pevnosti. Po

rozmrznutí betónu možno očakávať len čiastočné pokračovanie hydratácie a dosiahnutie pevnosti maximálne do 50 % z návrhových [5].

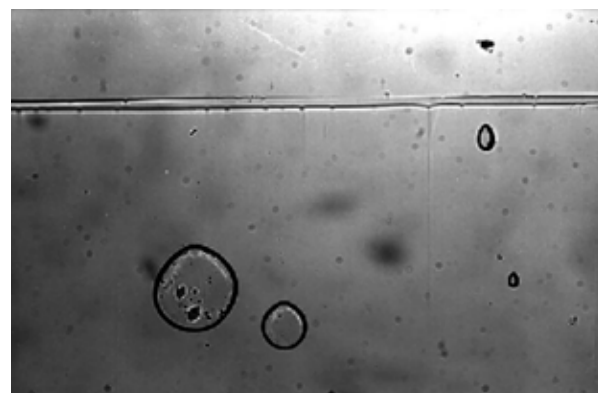
- Poslednou možnosťou je zamrznutie betónu po dosiahnutí pevnosti 12 až 15 MPa (bezpečne nad 5,0 MPa). Zatuhnutý betón môže jedenkrát zamrznúť bez porušenia štruktúry a bez zníženia jeho výsledných pevností. Viacnásobné zamrznutie výsledné pevnosti však zníži [10].

Aj preto sa v praxi stretávame s odporúčaním dodržania minimálnej teploty prostredia na úrovni cca 5 °C, a to aspoň do doby, než pevnosť betónu nadobudne min. 3,5 MPa [7], resp. teploty nad 0 °C až do dosiahnutia pevnosti betónu 5,0 MPa [10]. Podľa [10] zase platí všeobecné pravidlo, že betón musí byť proti účinkom mrazu ošetrovaný minimálne 24 hodín od uloženia. Dodržanie požiadaviek na minimálnu teplotu možno dosiahnuť niektorou z príslušných metód ošetrovania.

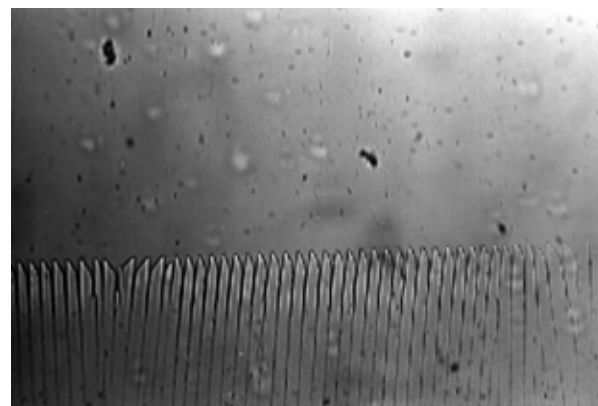
Metódy umožňujúce zimnú betonáž

Existuje viacero metód umožňujúcich betonáž aj vo všeobecne nevhodných podmienkach spôsobených nízkou teplotou. V nasledujúcich bodoch si predstavíme (zopakujeme) metódy a opatrenia, s ktorými sa v bežnej praxi môžeme priamo alebo nepriamo stretnúť.

- Úprava receptúry pre zimnú betonáž obnáša najmä voľbu vhodného druhu (obr. 8) a triedy cementu (**R** – rýchlotuhnutí), voľbu jemnosti cementu, keďže s rastúcou jemnosťou sa zvyšuje tempo hydratácie, a tým aj nábehu počiatočných pevností (obr. 9), a návrh nižšieho vodného súčiniteľa, ktorým možno skrátiť dobu tuhnutia cementového tmelu, keďže sa podarí dostať zrnká cementu bližšie k sebe (obr. 10).
- Úprava receptúry pridaním prísady. Pre zimnú betonáž sú vhodné urýchľovacie a protizmrazovacie prísady. Urýchľovacie prísady sú látky katalyticky pôsobiace na hydratáciu cementu a v počiatočnom štádiu urýchľujú tvorbu cementového kameňa. Rozdeľujú sa na urýchľovače tuhnutia, čiže prechodu cementového tmelu z plastického do tuhého stavu, a urýchľovače tvrdnutia, ktoré urýchľujú vývin počiatočných pevností betónu bez skracovania doby tuhnutia. Z chemického hľadiska sa podľa aktívnej látky rozdeľujú na skupinu pôsobiacu chloridovými iontami a skupinu pôsobiacu alkalickými kremičitanmi a uhličitanmi. Protizmrazovacie prísady sú látky umožňujúce hydratáciu cementu aj pri teplotách pod bodom mrznutia vody (rádovo -15 až -25 °C). Môžu



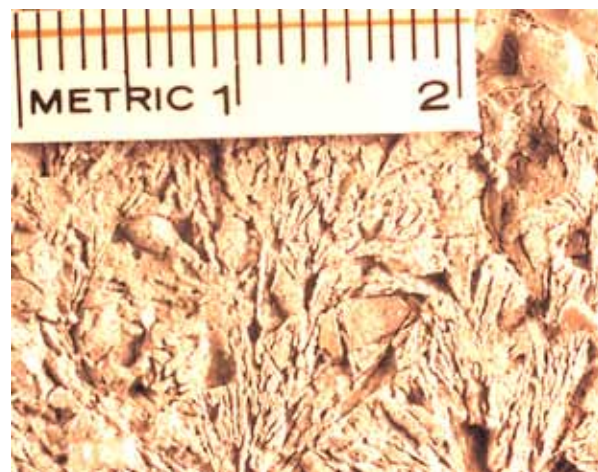
Obr. 4: Mrznutie deionizovanej vody [8]



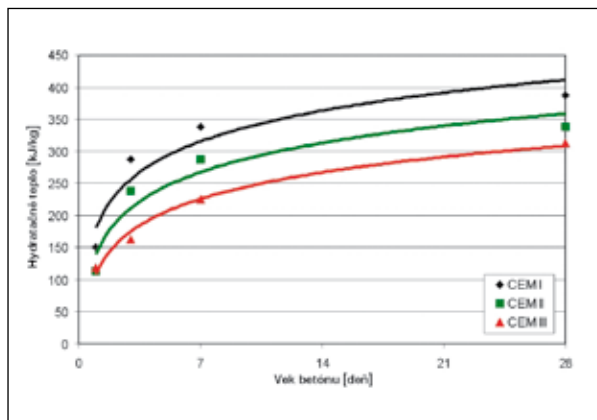
Obr. 5: Mrznutie roztoku $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [8]



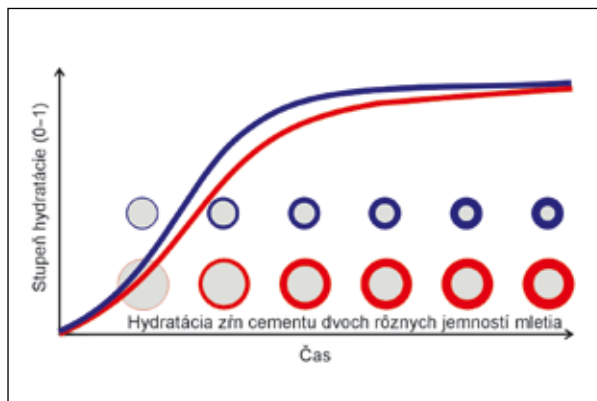
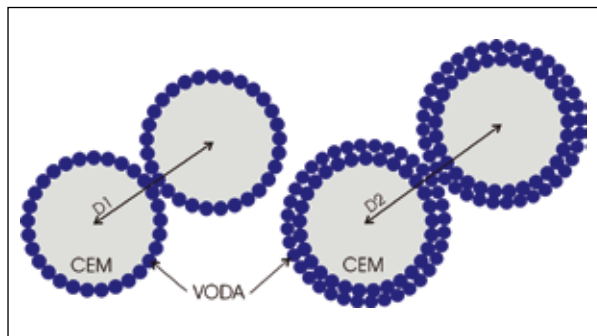
Obr. 6: Prášivosť povrchu betónu



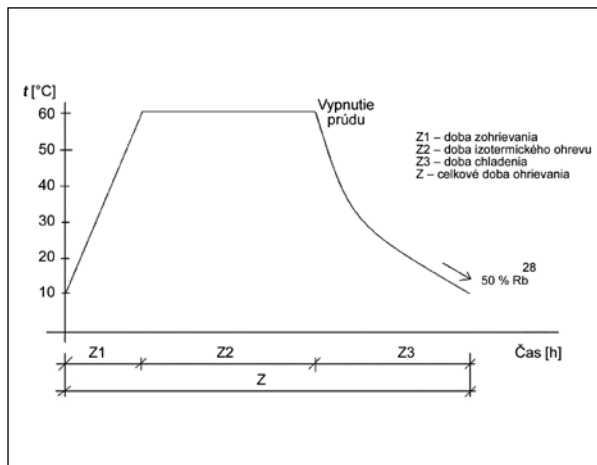
Obr. 7: Výsledok zamrznutia betónu počas formovania väzieb [8]



Obr. 8: Vývin hydratačného tepla v závislosti od druhu cementu

Obr. 9: Zväčšenie vzdialenosti zŕn cementu $D_2 > D_1$ pri zvýšení dávky vody

Obr. 10: Schématické zobrazenie priebehu hydratacie v závislosti od jemnosti mletia



Obr. 11: Uzavretie a vykurovanie priestoru pri zimnej betnáži

znižovať teplotu bodu mrznutia tekutej fázy betónu (prísady na báze CaCl_2 , NaNO_2 alebo viacmocných alkoholov) alebo môžu mierne znížiť teplotu bodu mrznutia tekutej fázy, no výrazne urýchlia tuhnutie a tvrdnutie cementového tmelu (prísady na báze FeSO_4 alebo CaCl_2).

- Úprava miešania je možné ovplyvniť priebeh tvrdnutia betónu. V snahe o urýchlenie tvrdnutia je potrebné hydrataciu cementu aktivovať, čomu pomáha aj rýchle (tzv. aktivačné) miešanie.
- Ohrev zložiek je tiež jednou z možností ako zabezpečiť požadovanú teplotu čerstvého betónu (ďalej TČB) priamo vo výrobni, a to až do doby, kedy mu prípadné zamrznutie neublíži. Metóda vychádza z navrhovanej receptúry betónu, návrhovej teploty prostredia, rýchlosti dopravy a betonáže, dopravnej vzdialenosti na stavenisko a z tepelných strát po zabudovaní betónu cez teplovýmenné plochy. Vypočítaná strata tepla sa nahradí miešaním predhriatych zložiek na vypočítanú teplotu (najvhodnejšie je zohrievať zložky s najväčšou tepelnou kapacitou).

$$T_{\text{fb}} = \frac{0,22 \cdot (K \cdot T_k + C \cdot T_c) + V \cdot T_v}{0,22 \cdot (K + C) + V} \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

Vzťah 1 popisuje približnú a zjednodušenú závislosť medzi dávkou jednotlivých zložiek, ich teplotou a teplotou čerstvého betónu. V tomto vzťahu vystupuje hmotnostná dávka kameniva K [kg/m^3], hmotnostná dávka cementu C [kg/m^3], celková hmotnostná dávka vody V [kg/m^3], teplota jednotlivých zložiek T_k , T_c , T_v [$^\circ\text{C}$] a koeficient 0,22 zodpovedajúci približne pomeru špecifického tepla tuhých zložiek a vody.

- Priamo na stavenisku, resp. na mieste zabudovania, je potrebné podľa [10] vykonať také opatrenia, aby nedošlo k zamrznutiu betónu

(celkovému alebo lokálnemu). Podklad (hornina, debnenie) musí mať takú teplotu, aby nespôsobila zamrznutie betónu. Rovnako je potrebné z debnenia a výstuže odstrániť ľad, sneh alebo prípadne výraznú námrazu, aby nedošlo k lokálnemu zhoršeniu kvality betónu.

- Obalenie a ochrana konštrukcie tepelnými izoláciami pred stratou tepla je obdobnou metódou. Vytvorí sa uzavretý priestor, ktorý sa vykuruje na požadovanú teplotu (obr. 11 a 12). Princípom je vytvorenie takej teploty prostredia pre tuhnutie a tvrdnutie betónu, aby nedošlo k jeho zamrznutiu alebo aby sa dosiahlo požadované tempo nárastu pevnosti. Tento spôsob sa zvykne využívať napríklad pri betonáži stropov tak, že sa vykuruje priestor pod aktuálne betonovaným stropom.
- Princíp elektroohreву spočíva vo využití elektrického odporu, ktorý kladú použité vybrané odporové vodiče priechodu elektrického prúdu, čím dochádza k ich riadenému ohriatiu na vopred stanovenú teplotu. Elektrický odporový ohrev sa realizuje pomocou elektrického odporového vodiča a s použitím vhodného transformátora. Jedným transformátorom je možné ohriať plochu o výmere $50\text{--}60 \text{ m}^2$ (cca 10 m^3). Na transformátor sa napájajú samostatné sekundárne vinutia, na každé možno zapojiť jeden okruh vodiča – jednu slučku. Výhrevný drôt sa upevňuje na výstuž zo strany debnenia pomocou ôk tak, aby výhrevný drôt neležal priamo na výstuži. Zároveň musí výhrevný drôt pokrývať plochu betónovej konštrukcie rovnomerne. Vzdialenosť vodičov od seba by mala byť $15\text{--}25 \text{ cm}$, aby nenastávali nedovolené rozdiely teplôt v betónovej konštrukcii. Drôt zostáva trvalo zabetonovaný v konštrukcii. Ohrievanie konštrukcie pomocou výhrevného drôtu a priebeh teploty pri tomto ohreve má naj-



Obr. 12: Schéma trojfázového režimu ohreву betónu

bližšie k trojfázovému režimu (obr. 12). Dochádza pri tom k ohrievaniu konštrukcie na predpísanú teplotu (max. 65 °C), následné udržiavanie konštantnej teploty pomocou transformátorov s plynulou reguláciou a pomalému chladnutiu. Dôležité je neprekročiť maximálnu teplotu betónu a pri prechode medzi druhou a treťou fázou dôsledne riadiť pokles teploty.

Záver

Zimná betonáž je, nielen na Slovensku, problematická aj vďaka prevládajúcej snahe o navrhovanie subtlých monolitických konštrukcií. Nie je ale nemožná, o čom sa presvedčame každú zimu. Možno viac ako inokedy je dôležitá technologická príprava a optimalizácia prijímaných opatrení pre zefektívnenie výstavby.

PETER BRIATKA

foto archív autora

Literatúra a súvisiace odkazy:

- 1) Beton – suroviny, výroba, vlastnosti. Českomoravský beton, 2005.
- 2) Juríček, I.: Technológia pozemných stavieb – hrubá stavba. Jaga, Bratislava 2001.
- 3) Bajza, A. – Rouseková, I.: Technológia betónu. Jaga, Bratislava 2006.
- 4) Schindler, A. K.: Effect of temperature on hydration of cementitious materials. Technical paper, ACI Materials Journal, January–February, American Concrete Institute, USA, 2004.
- 5) ACI 306R-88: Cold Weather Concreting – Technical Report. American Concrete Institute, Farmingtonhills 2002.
- 6) Klimatodiagramy. SHMÚ, <http://www.shmu.sk/sk/?page=1611>.
- 7) Concrete In Practice 27 – Cold Weather Concreting. National Ready Mixed Concrete Association, Silverspring 2010.
- 8) Briatka, P.: Optimalizácia technológie realizácie priemyselných podláh – písomná časť dizertačnej skúšky. Stavebná fakulta STU, Bratislava 2009.
- 9) Wylie, K.: Cold-Weather Concreting. NMRM-CAA meeting in Albuquerque, USA 2007.
- 10) STN P ENV 13670-1:2001 Zhotovovanie betónových konštrukcií. Časť 1: Spoločné ustanovenia.
- 11) Cement Concrete & Aggregate Australia: Cold-Weather Concreting – Data Sheet. CCAA, Sydney 2004.
- 12) STN EN 1015-9/A1 Metódy skúšania mált na murovanie. Stanovenie času spracovateľnosti čerstvej malty a jeho spresnenie.
- 13) Altner, W. – Reichel, W.: Urýchľovanie tvrdnutia betónu. Alfa Bratislava, 1982.
- 14) Použitie elektroohrevu v praxi, http://beton-bohemia.cz/sluzby_pronajem.

Tabuľka: Požiadavky na teplotu dodaného a ukladaného čerstvého betónu [13]

Proces	Teplota prostredia	Teplota čerstvého betónu
Doprava	Nízka teplota	+5 až + 10 °C
Ukladanie	≥ -3 °C	≥ +5 °C
	< -3 °C	≥ +10 °C

*Ing. Peter Briatka (*1982)*

je absolventom Stavební fakulty STU, kde pôsobí ako doktorand. Současne je i výzkumným pracovníkem TSÚS v Bratislavě. Specializuje se na technologii betonu, objemové změny betonu, jeho trvanlivost a nedestruktivní zkušební metody. Je členem technických komisí ACI 201, 209 a 308.