

ZIMNÁ BETONÁŽ

Betón, najrozšírenejší stavebný materiál, je citlivý na okrajové podmienky od čerstvého stavu až do (a počas) mladého veku. Podmienky počas tuhnutia a tvrdnutia betónu ovplyvňujú všetky úžitkové vlastnosti betónu, životnosť a jednoducho povedané celkovú kvalitu betónovej konštrukcie. Existujú podmienky, ktoré sa považujú za ideálne pre hydratáciu a vytváranie pevnej štruktúry. Mladý betón by sa mal uchovávať v ideálnych podmienkach, teplota okolo 20 °C, 100 % relatívna vlhkosť a žiadne prúdenie vzduchu, tobôž nie prievan. V snahe o splnenie týchto okrajových podmienok vedome vykonávame určité činnosti, ktoré sa v literatúre označujú súhrnným pojmom „ošetrovanie“.

Podľa teploty, mimochodom rozhodujúceho činiteľa, rozlišujeme medzi ošetrovaním proti vysokej a proti nízkej teplote. Zatiaľ čo ošetrovanie v letnom období chráni betón pred neželanými objemovými zmenami, ktoré sú kritické napríklad z hľadiska životnosti betónových vozoviek atď., ošetrovanie v zimnom období chráni betón proti prerušeniu hydratácie a následnému poklesu únosnosti konštrukcie alebo proti úplnému zastaveniu hydratácie.

Kľúčové slová:

- zimná betonáž,
- hydratácia,
- tuhnutie,
- teplota prostredia,
- pevnosť

Teória hydratácie a vplyv (teploty) prostredia

Hydratácia cementu je súbor navzájom nezávislých chemických reakcií jednotlivých slinkových 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 - tuhnúť (štandardne 45 - 90 min.) a tvrdnúť. Tvrdnutie sa prejavuje nárastom pevnosti už vzniknutých väzieb.

Keďže hydratácia je chemicko-fyzikálna reakcia, je pochopiteľné, že jej priebeh je determinovaný nielen vlastnosťami a dávkou reaktantov prípadne prídavných činiteľov, ale aj vplyvmi okolia, a to najmä teplotou. Vplyv vlastností a dávky reaktantov alebo iných činite-

ľov si veľmi zjednodušene vysvetlíme v metódach umožňujúcich zimnú betonáž. Vplyv teploty (obr. 1) je rozhodujúcou vlastnosťou prostredia, pretože má priamy účinok 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.

Zastavenie hydratácie pri nízkych teplotách

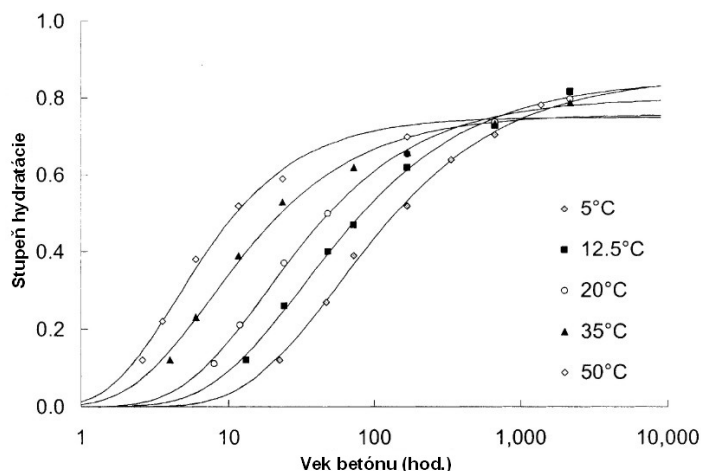
Za obdobie s nízkou teplotou sa z hľadiska betonáže podľa ACI 306 [4] považuje obdobie, kedy počas aspoň troch po sebe idúcich dní nevystúpi priemerná denná teplota nad 5 °C a teplota vzduchu nevystúpi nad 10 °C na viac ako pol dňa v ktoromkoľvek 24 hodinovom intervale. Slovensko sa nachádza v klimatickom pásme, kde takéto podmienky bežne nastávajú (obr. 2 a 3) a je preto opodstatnené sa téme ošetrovania betónu v zimnom období venovať.

Význam tohto typu ošetrovania rastie priamo úmerne s povrchovým modulom betónovanej konštrukcie. Inými slovami, čím subtilnejšiu konštrukciu betónujeme, tým väčšou plochou odovzdáva teplo prostrediu a zvyšuje sa riziko zamrznutia.

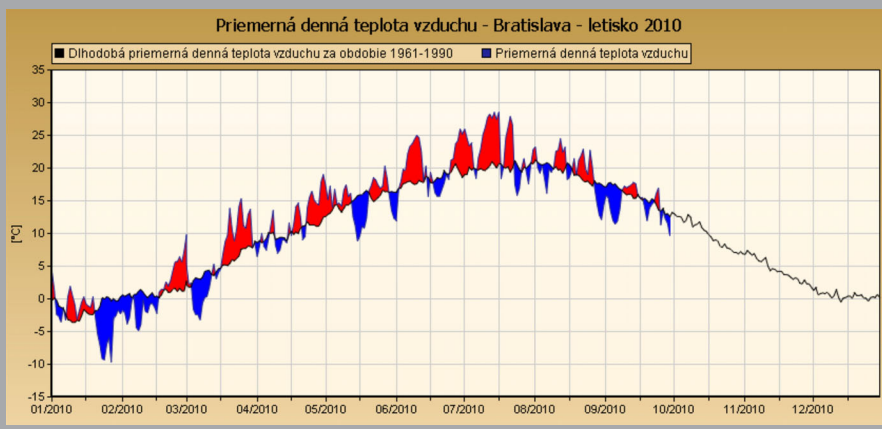
Pod zamrznutím sa vo všeobecnosti rozumie pokles teploty vody pod 0 °C. V cementovom tmele je však voľná voda vo forme pórového roztoku, čo znižuje teplotu bodu mrazu na približne -3 až -4 °C [6]. Ak predsa len teplota betónu klesne pod túto kritickú hodnotu, dôjde k zmene fázy pórového roztoku na pevnú, čo so sebou prináša zväčšenie jej objemu o cca 9,1 %. Zamrznutie betónu je vždy nežiaduce, no nie vždy má fatálne následky. Podľa 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 [9]. Ak zvažíme, že nositeľom pevnosti v počiatočnom veku je tuhnutí cementový tmel, potom môžeme za začiatok tuhnutia považovať kritérium 0,5 MPa podľa [11]. Nakoľko pevnosť pri začiatku tuhnutia (0,5 MPa) je päťnásobkom 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 a nižšiu odolnosť proti zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom [4].
- Druhou možnosťou je zamrznutie betónu počas tuhnutia. Tuhnutie je podľa [9] charakterizované intervalom pevnosti (0,5 - 5,0) MPa ([4] 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. 6). V závislosti od stupňa zatuhnutia cementového tmele v čase zamrznutia je možná len čiastočná schopnosť betónu dosiahnuť predpokladané pevnosti. Po rozmrazení betónu možno očakávať len čiastočné pokračovanie hydratácie a dosiahnutie pevností maximálne do 50 % z návrhových [4].
- Poslednou možnosťou je zamrznutie betónu po dosiahnutí pevnosti 12 až 15 MPa (bezpečne nad 5,0 MPa). Zatužený betón môže jedenkrát zamrznúť bez porušenia štruktúry a bez zníženia jeho výsledných pevností. Viacnásobné zamrznutie výsledné pevnosti však zníži [9].

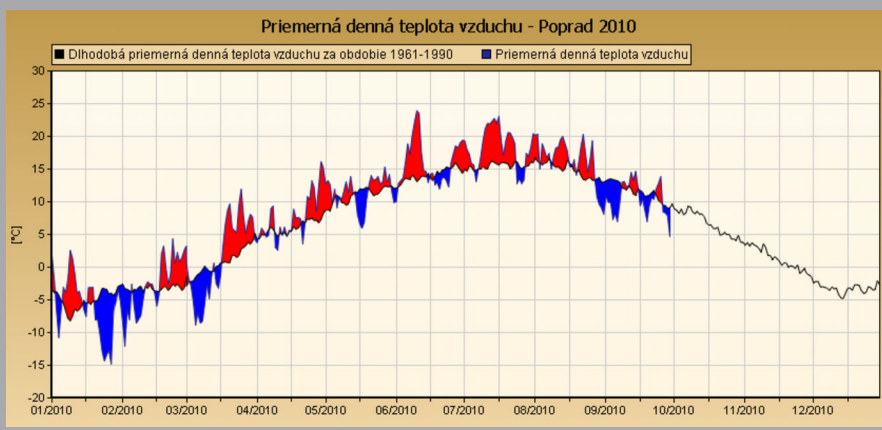
Obr. 1 – Vplyv teploty na rýchlosť hydratácie [3]



Obr. 2 – Graf ročného priebehu priemernej dennej teploty v Bratislave [5]



Obr. 3 – Graf ročného priebehu priemernej dennej teploty v Poprade [5]



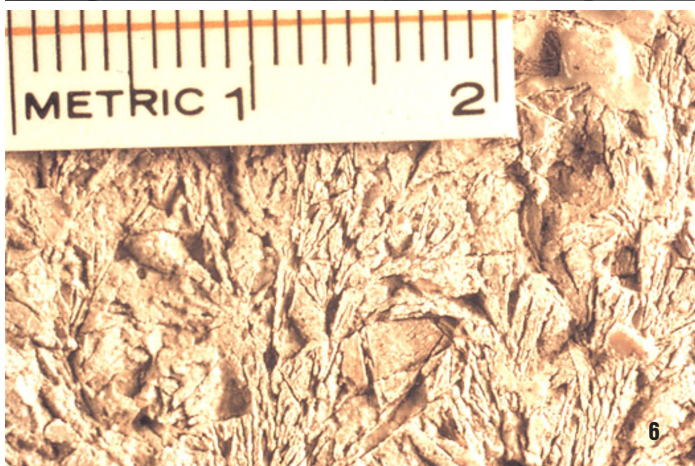
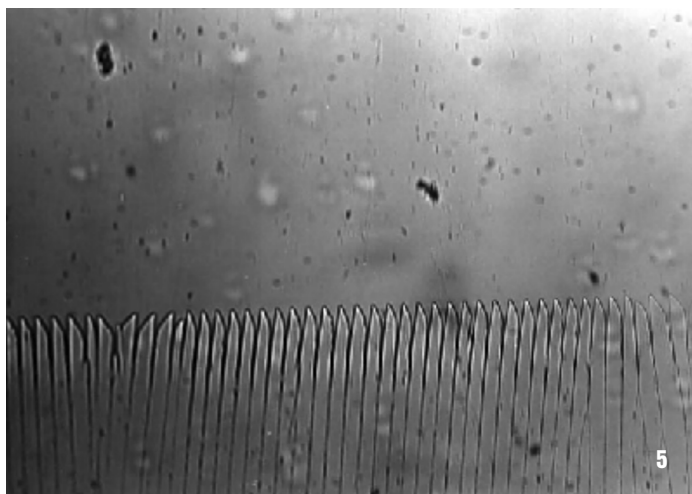
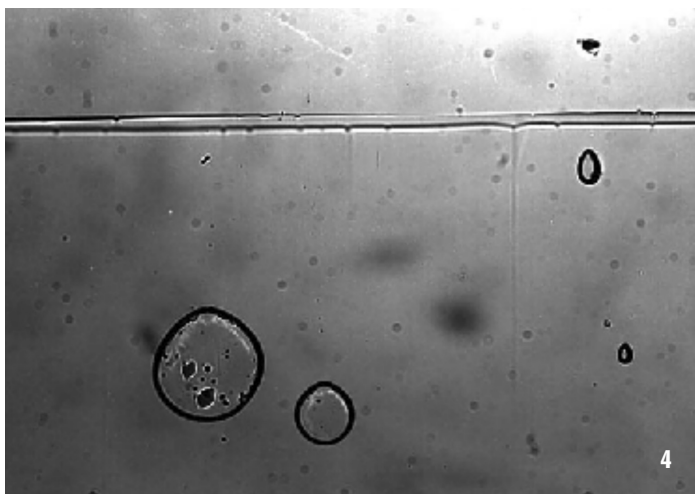
Aj preto sa v praxi stretávame s odporúčaním dodržania minimálnej teploty prostredia na úrovni cca 5 °C, a to aspoň do doby než pevnosť betónu nadobudne min. 3,5 MPa [6] resp. teplota nad 0 °C až do dosiahnutia pevnosti betónu 5,0 MPa [9]. Podľa [10]

zase platí všeobecné pravidlo, že betón musí byť proti účinkom mrazu ošetrovaný minimálne 24 hodín od uloženia. Dodržanie požiadaviek na minimálnu teplotu možno dosiahnuť jednou z príslušných metód ošetrovania.

Metódy umožňujúce zimnú betonáž

Známych je mnoho 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 predstavuje najmä voľbu vhodného druhu (R - rýchlotuhnúci) a triedy cementu (R - rýchlotuhnúci), voľbu jemnosti cementu keďže s rastúcou jemnosťou sa zvyšuje tempo hydratácie, a tým aj nábehu počiatočných pevností (obr. 8) a návrh nižšieho vodného súčiniteľa, ktorým možno skrátiť dobu tuhnutia cementového tmelu keďže sa podarí dostať zrnká cementu bližšie k sebe (obr. 9).
- Úprava receptúry pridaním Prísady. Pre zimnú betonáž sú vhodné urýchľovacie a protizmrázovacie 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. Protizmrázovacie prísady sú látky umožňujúce hydratáciu cementu aj pri teplotách pod bodom mrazu vody (rádovo -15 až -25 °C). Môžu znižovať teplotu bodu mrazu tekutej fázy betónu (prísady na báze CaCl, NaNO₂ alebo viacmocných alkoholov) alebo môžu mierne znížiť teplotu bodu mrazu tekutej fázy, no výrazne urýchlia tuhnutie a tvrdnutie cementového tmelu (prísady na báze FeSO₄ a/alebo CaCl₂).
- Úpravou miešania je možné ovplyvniť priebeh tvrdnutia betónu. V snahe o urýchlenie tvrdnutia je potrebné hydratáciu cementu aktivovať, čomu pomáha aj rýchle (tzv. aktivačné) miešanie.
- Ohrev zložiek je tiež jednou z možností, ako zabezpečiť požadovanú teplotu betónu priamo vo výrobní a to až do doby, kedy mu prípadné zamrznutie neublíži. Metóda vychádza z navrhovanej receptúry betónu, návrhovej teploty prostredia, rýchlosti do-



4 - Mrznutie deionizovanej vody [7]; 5 - Mrznutie roztoku $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [7]; 6 - Výsledok zamrznutia betónu počas formovania väzieb [8]; 10 - Uzavretie a vykurovanie priestoru pri zimnej betonáži

pravy a betonáže, dopravnej vzdialenosti na stavenisko a z tepelných strát po zabudovaní betónu cez teplovodné plochy. Vypočítaná strata tepla sa nahradí miešaním predhriatych zložiek na vypočítanú teplotu - najvhodnejšie je zohrievať zložky s najväčšou tepelnou kapacitou (tab. 1).

- Priamo na stavenisku resp. na mieste zabudovania je potrebné podľa [9] vykonať také opatrenia, aby nedošlo k zamrznutiu (celkovému alebo lokálnemu) betónu. Podklad (hornina, debnenie) musia mať takú teplotu, aby nespôsobila zamrznutie betónu. Rovnako je potrebné z debnenia

a/alebo výstuže odstrániť ľad, sneh alebo prípadne výraznú námrazu, aby nedošlo k lokálnemu zhoršeniu kvality betónu.

- Obalenie a ochrana konštrukcie tepelnými izoláciami pred stratou tepla. Obdobnou metódou je aj vytvorenie uzavretého priestoru, ktorý sa vykuruje na požadovanú teplotu (obr. 10 a 11). Princípom je vytvorenie takej teploty prostredia pre tuhnutie a tvrdnutie betónu, aby nedošlo k jeho zamrznutiu alebo aby sa dosiahlo požadované tempo nárastu pevností. Tento spôsob sa zvykne využívať napríklad pri betonáži stro-

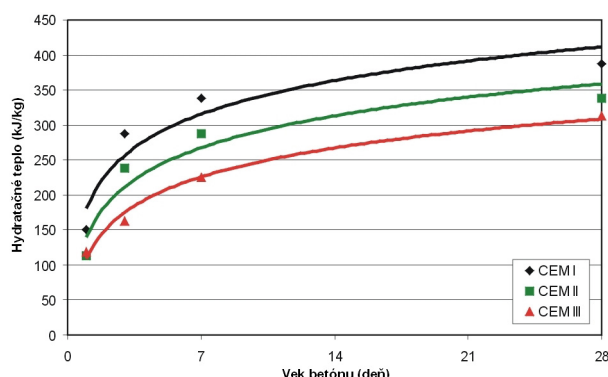
pov tak, že sa vykuruje priestor pod aktuálne betónovaným stropom.

- Princíp elektroohrevu spočíva vo využití prúdového 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 sa dá ohriať plocha 50 - 60 m² (cca 10 m³). Na transformátor sa napájajú samostatné sekundárne vinutia, na každé možno zapojiť jeden okruh vodiča - jednu slučku. Výchrevný drôt sa upevňuje na výstuž zo strany debnenia pomocou ôk tak, aby výchrevný drôt neležal priamo na výstuži. Zároveň musí výchrevný drôt pokrývať plochu betónovej konštrukcie rovnomerne. Vzdialenosť vodičov od seba by mala byť 15 - 25 cm, aby nenastávali nedovolené rozdiely teplôt v betónovej konštrukcii. Drôt zostáva trvalo zabetónovaný v konštrukcii. Ohrievanie konštrukcie pomocou výchrevné-

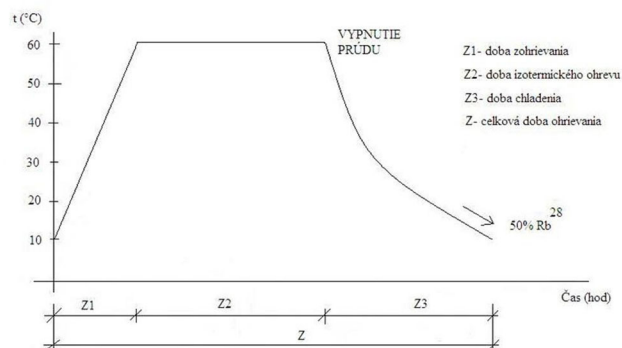
Tabuľka 1 - Požiadavky na teplotu dodaného a ukladaného čerstvého betónu [12]

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

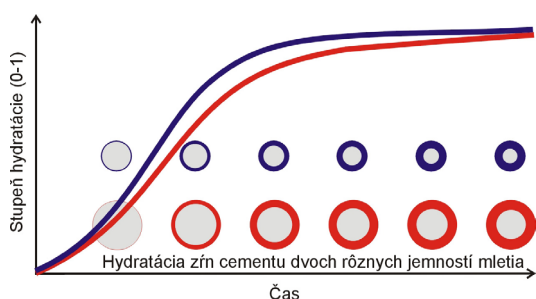
Obr. 7 – Vývin hydratačného tepla v závislosti od druhu cementu



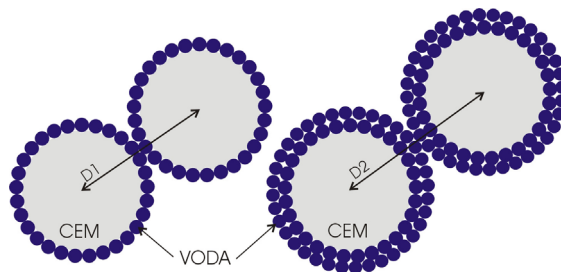
Obr. 11 – Schéma trojfázového režimu ohrevu betónu



Obr. 8 – Zväčšenie vzdialenosti zŕn cementu $D_2 > D_1$ pri zvýšení dávky vody



Obr. 9 – Schematické zobrazenie priebehu hydratácie v závislosti od jemnosti mletia



ho drôtu a priebeh teploty pri tomto ohreve má najbližšie k trojfázovému režimu (obr. 11). Dochádza pri tom k ohrievaniu konštrukcie na predpísanú teplotu (max 65 °C), následné udržiavanie konštantnej teploty pomocou transformátorov s plynulou reguláciou a pomalému chladnutiu.

Záver

Zimná betonáž je, nielen na Slovensku, problematická aj vďaka prevládajúcej snahe o navrhovanie subtilných 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.

Ing. Peter Briatka,
TSÚS, Bratislava
Ing. Lenka Strigáčová,
SvF STU, Bratislava
Recenzent:
Doc. Ing. Vladimír Benko, PhD.
SvF STU, Bratislava
Foto: archív autorov

Literatúra:

- [1] Juríček, I.: *Technológia pozemných stavieb – hrubá stavba*, Jaga, Bratislava, 2001
- [2] Bajza, A., Rouseková, I.: *Technológia betónu*, Jaga, Bratislava, 2006
- [3] Schindler, A.K.: *Effect of temperature on hydration of cementitious materials*, Technical paper, ACI Materials Journal / January – February, American Concrete Institute, USA, 2004
- [4] ACI 306R-88: *Cold Weather Concreting – Technical Report*, American Concrete Institute, Farmingtonhills, Reapproved 2002, p. 23
- [5] SHMÚ: *Klimatodiagramy*, <http://www.shmu.sk/sk/?page=1611>
- [6] NRMCA: *Concrete In Practice 27 – Cold Weather Concreting*, National Ready Mixed Concrete Association, Silverspring, 2010, p. 2
- [7] Briatka, P.: *Optimalizácia technológie realizácie priemyselných podláh – písomná časť dizertačnej skúšky*, Stavebná fakulta STU, Bratislava, 2009, p. 200

- [8] Wylie, K.: *Cold-Weather Concreting*, NMRMCAA meeting in Albuquerque, USA, November 7, 2007
- [9] STN P ENV 13670-1:2001 – *Zhotovovanie betónových konštrukcií. Časť 1: Spoločné ustanovenia*
- [10] *Cement Concrete & Aggregate Australia: Cold-Weather Concreting – Data Sheet*, CCAA, Sydney, 2004, p. 4
- [11] STN EN 1015-9/A1 – *Metódy skúšania mált na murovanie. Stanovenie času spracovateľnosti čerstvej malty a jeho spresnenie*.
- [12] *Českomoravský beton: Beton – suroviny, výroba, vlastnosti*, 2. vydanie, 2005
- [13] Altner W., Reichel W.: *Urýchľovanie tvrdnutia betónu*. Alfa Bratislava, 1982
- [14] *Použitie elektroohrevu v praxi*: http://betonbohemia.cz/sluzby_pro_najem