

TEPLOTA ČERSTVÉHO BETONU A MOŽNOSTI JEJÍHO SNÍŽENÍ ■ FRESH CONCRETE TEMPERATURE AND POSSIBILITIES OF ITS DECREASING

Robert Coufal, Jan L. Vítek

Vynucená namáhání, způsobená teplotními objemovými změnami betonu během hydratace, jsou tématem zejm. u vodonepropustných a masivních konstrukcí. Snížení teploty čerstvého betonu je jednou z možností, jak tato vynucená namáhání snížit. Článek pojednává o požadavcích na teplotu čerstvého betonu, teplotě betonu v konstrukci během hydratace i o způsobech snížení teploty čerstvého betonu.

■ Constraint stress from thermal volume change of concrete during hydration is a topic mainly in the case of a watertight and massive construction. Decreasing the fresh concrete temperature is one of the possibilities of how to decrease this constraint stress. This article is about demands on fresh concrete temperature, temperature of concrete in construction during hydration and about possibilities of fresh concrete temperature decreasing.

Teplota čerstvého betonu výrazně ovlivňuje zejm. dobu jeho zpracovatelnosti, počátek tuhnutí i tvrdnutí, nárůst pevností a vývoj hydratačního tepla. Minimální teplota čerstvého betonu je důležitá především v zimním období, maximální teplota čerstvého betonu je důležitá hlavně pro vodonepropustné konstrukce a pro konstrukce masivní. V zimním období je běžné, že se teplota betonu zvyšuje ohřevem záměsové vody a kameniva tak, aby se při příjezdu na stavbu pohybovala v rozmezí 10 až 15 °C. Oproti tomu chlazení čerstvého betonu není v našich podmínkách příliš běžné. Článek popisuje vliv teploty čerstvého betonu na teplotu betonu během hydratace a způsoby jejího snížení.

POŽADAVKY NA TEPLITU ČERSTVÉHO BETONU

V normě ČSN EN 206 [1] je uvedena pouze minimální teplota betonu 5 °C v době dodání, avšak maximální teplota uvedena není. Pokud má investor individuální požadavky na teplotu čerstvého betonu, musí být specifikovány předem. Příklad teplot čerstvého betonu v průběhu roku je uveden v grafu na obr. 1, kde jsou teploty čerstvého betonu jedné receptury měřené při skládání na stavbě.

Maximální teploty betonů mohou být specifikovány v doplňkových předpisech, reálně k tomu však příliš nedochází. Příklad maximálních teplot čerstvého betonu jsou uvedeny v tab. 1. Je vidět, že maximální teploty jsou omezovaly u betonů pro vodonepropustné konstrukce, masivní konstrukce a pro významné konstrukce dopravních staveb. U těchto typů konstrukcí je vhodné snižovat jak maximální dosaženou teplotu v konstrukčním prvku, tak teplotní gradient po průřezu prvku. Cílem opatření je omezit rizika vzniku trhlin.

V zimním období je teplota betonu důležitým parametrem zejm. z hlediska doby počátku tuhnutí. Důležitější je však následný způsob ošetřování a udržení teploty konstrukce. Je nutné, aby se teplota betonu v konstrukci udržela až do počátku tuhnutí, resp. do dosažení pevnosti 5 MPa, nad 5 °C. Toho se docílí právě kombinací teploty čerstvého betonu a ošetřováním. Po počátku tuhnutí se beton začíná ohřívát hydratací. Záměrem stavby by mělo být uchránit co nejvíce tohoto tep-

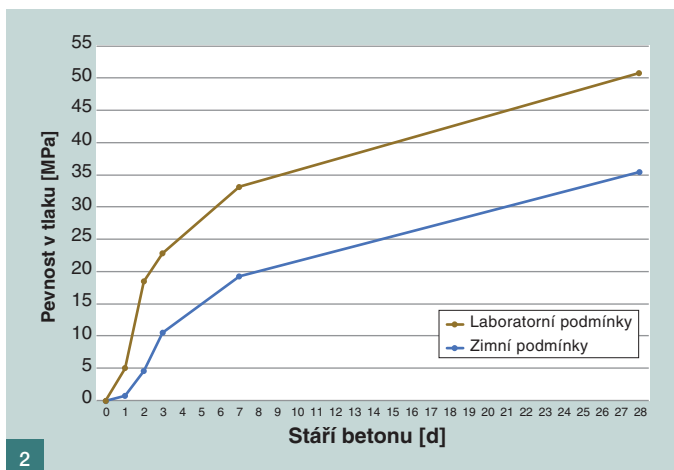
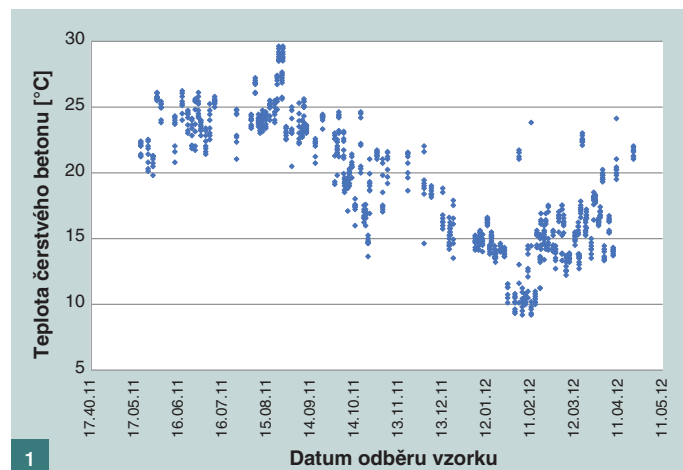
Tab. 1 Maximální teploty čerstvého betonu dle různých předpisů ■ Tab. 1 Maximal temperatures of fresh concrete in accordance with different prescriptions

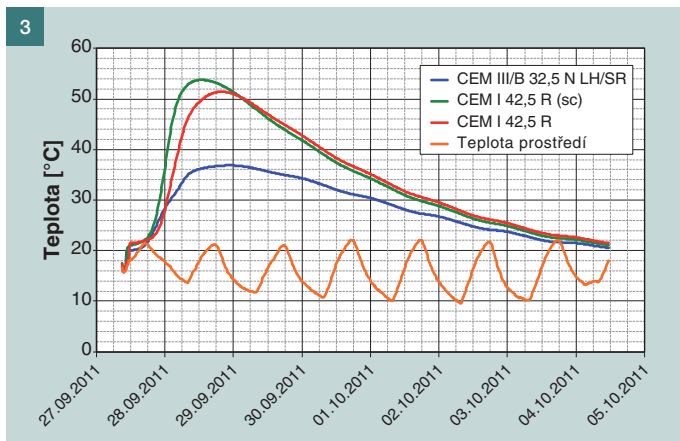
Předpis	Maximální teplota čerstvého betonu [°C]
Weisse Wannen, einfach und sicher (Lohmeyer, Ebeling) [2]	15 (beton WU3)
Technická pravidla ČBS 02 – Bílé vany, vodotěsné betonové konstrukce [3]	22
Technická pravidla ČBS 04 – Vodonepropustné betonové konstrukce, překlad německé směrnice a komentáře [4]	není předepsána
TKP staveb pozemních komunikací, Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty [5]	27

la v konstrukci a využít jej k nárůstu pevností. V grafu na obr. 2 jsou uvedeny nárůsty pevností betonu uloženého v různých podmínkách. Vzorky jsou vyrobeny ze stejné záměsi betonu C25/30. Jedna sada vzorků byla uložena ve standardních laboratorních podmínkách a byla ošetřována a druhá sada byla uložena ve venkovních podmínkách, při teplotách 0 až 10 °C, bez ošetřování. V grafu je vidět, jak zásadní vliv má teplota uložení a ošetřování nejen na nárůst pevností, ale i na konečné pevnosti betonu. Teplotní ošetřová-

Obr. 1 Teploty čerstvého betonu v průběhu roku ■ Fig. 1 Temperatures of fresh concrete during the year

Obr. 2 Nárůst pevností betonu při různém uložení ■ Fig. 2 Concrete strength development under different conditions





Obr. 3 Vývoj teploty betonovaného prvku v závislosti na použitém cementu ■
Fig. 3 Concrete construction temperature development in dependence on the type of used cement

Obr. 4 Průběh teplot ve vodonepropustné konstrukci tloušťky 300 mm z betonu Permacrete ■ Fig. 4 Temperature in 300 mm width watertight construction made of Permacrete concrete

ni je tedy důležité nejenom kvůli ochranně betonu před zmraznutím v jeho rané fázi, ale i kvůli dosažení potřebných pevností z pohledu harmonogramu stavby. Zároveň je vidět vhodnost vyšší rezervy pevnosti betonu v zimním období, což ale není možné při extrémním tlaku na nízkou cenu betonu, tak častém v dnešní době.

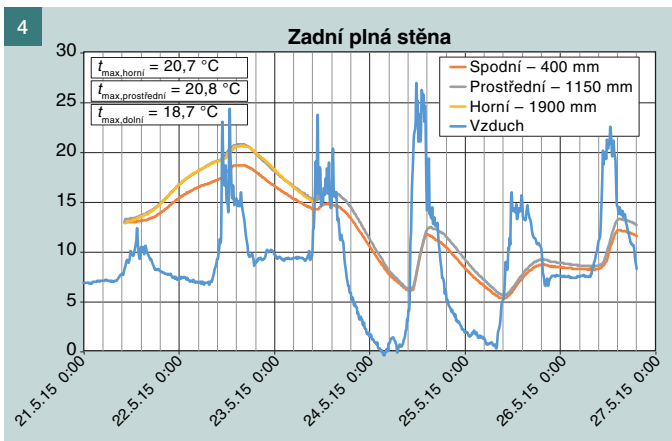
TEPLOTA BETONU BĚHEM HYDRATACE

Teplota čerstvého betonu ovlivňuje maximální dosaženou teplotu během hydratace i její průběh v čase. V zimním období vyšší teplota hydratujícího betonu příznivě ovlivňuje nárůst pevností a snižuje nároky na teplotní ošetřování. Na druhou stranu vyšší teplota zvyšuje teplotní gradient po průřezu konstrukce a napětí od objemových změn při vychládání konstrukce. Maximální dosaženou teplotu nejvíce ovlivňuje typ použitého cementu a příměsí. Pokud tedy řešíme maximální dosaženou teplotu v betonovém prvku, měli bychom nejdříve optimalizovat složení betonu. Vliv cementu na vývoj teploty betonového prvku (model desky tloušťky 1 m) během hydratace je uveden v grafu na obr. 3. Oproti tomu je v grafu na obr. 4 znázorněn průběh teplot v reálné vodonepropustné konstrukci tloušťky 300 mm z betonu Permacrete. Beton svými vlastnostmi přibližně odpovídá betonu s cementem CEM III/B z grafu na obr. 3. Je vidět, že vlivem sníže-

ní tloušťky z 1 000 mm na 300 mm došlo k snížení nárůstu teploty ze 17 °C na 8 °C. Za předpokladu dat z grafu na obr. 5, tzn. že snížení maximální teploty v konstrukci zhruba odpovídá snížení teploty čerstvého betonu, se chlazení čerstvého betonu významně projeví hlavně u nemasivních prvků. Při snížení teploty čerstvého betonu o 4 °C dochází ke snížení maximální teploty o 23 % u konstrukce tloušťky 1000 mm a o 50 % u konstrukce tloušťky 300 mm, což má již velký vliv na vynucená namáhání mladého chladnoucího betonu.

Vliv snížení teploty čerstvého betonu na průběh teplot v betonovém prvku je vidět v grafu na obr. 5. Hodnoty byly měřeny na jedné receptuře betonu Easycrète, kde byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R a jako příměs popílek. Průběh teploty byl měřen na třech vzorcích: na betonu nechlazeném, na betonu ochlazeném o 3 °C a na betonu ochlazeném o 7 °C. Z grafu je vidět mírné zpoždění dosažení maxima teploty v prvku se snižující se teplotou a zároveň snížení tohoto maxima zhruba o hodnotu zchlazení betonu. Hodnoty v grafu na obr. 5 jsou naměřené na modelu, který zhruba vystihuje chování desky tloušťky 1 m.

Obr. 5 Průběh teploty betonovaného prvku v závislosti na teplotě použitého čerstvého betonu ■
Fig. 5 Temperature in a concrete construction in dependence on temperature of used fresh concrete



METODY SNÍŽENÍ TEPLoty ČERSTVÉHO BETONU

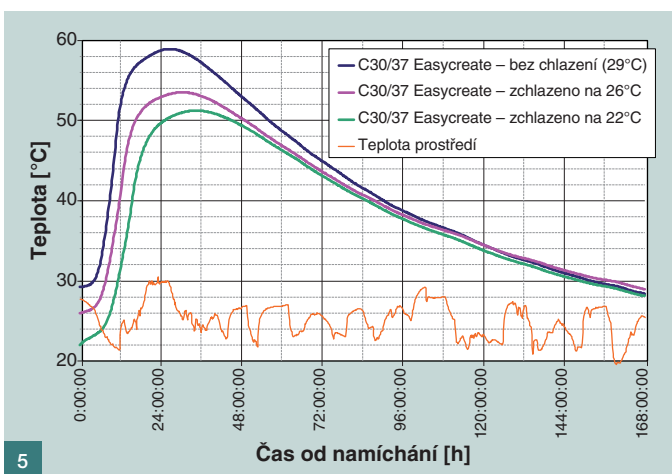
Snížit teplotu čerstvého betonu lze buď snížením teploty jeho složek, nebo dodatečným zchlazením čerstvého betonu. Oba způsoby vyžadují instalaci dodatečného technického zařízení. Výhodou dodatečného chlazení čerstvého betonu je možnost jeho instalace na stavbě.

Chlazení složek betonu

Zvolený způsob chlazení čerstvého betonu záleží na podmínkách, v jakých je beton vyráběn, a na požadované teplotě čerstvého betonu. Chladit se dá záměsová voda, kamenivo i cement.

Nejjednodušším způsobem chlazení betonu pomocí jeho složek je použití ledově vychlazené vody (o teplotě cca 1 °C). Tímto způsobem chlazení lze teplotu betonu snížit o 4 °C oproti betonu standardní teploty. Voda je nachlazená do zásobníku a pomocí cirkulace je udržována na požadované teplotě. Použití ledové vody má za výsledek nejen snížení teploty čerstvého betonu, ale i prodloužení zpracovatelnosti betonu a oddálení počátku tuhnutí. Výhodou je, že se během dopravy konzistence nemění.

Náročnějším způsobem chlazení je



5



6

Obr. 6 Betonárna v Praze-Troji s instalovaným chladičím zařízením na ledovou vodu ■ Fig. 6 Concrete plant in Prague-Troja with installed cooling system for cold water

Obr. 7 Chlazení čerstvého betonu kapalným dusíkem ■ Fig. 7 Cooling the fresh concrete by liquid nitrogen

použití ledové drtě místo záměsové vody. Ledová drť má teplotu $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a umožňuje snížení teploty až o $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ oproti nechlazenému betonu. Technologie výroby ledu, jeho skladování a manipulace je ale oproti chlazení vody výrazně složitější a má opodstatnění pouze v horkých klimatických podmínkách v součinnosti s dalšími opatřeními (chlazení kameniva). Ledová drť musí být natolik drobná, aby se rozpustila už během míchání v míchačce a nedocházelo k ovlivňování konzistence cestou na stavbu.

Chlazení kameniva se volí až v případech, kdy nestačí chlazení betonu ledovou vodou nebo ledovou drtí. Kamenivo lze chladit podobným způsobem, jakým probíhá jeho ohřev v zimním období. V sílech na kamenivo jsou instalovány rošty, kterými je do kameniva vháněn studený vzduch, který kamenivo chladí. Tímto způsobem je vhodné chladit pouze hrubé kamenivo. Druhým způsobem chlazení kameniva je chlazení ve vodní lázni. Tento způsob je ale technicky velmi náročný a v našich podmínkách neopodstatněný, stejně jako chlazení cementu na betonárně.



7

Chlazení již namíchaného čerstvého betonu

Po namíchání lze beton chladit např. pomocí kapalného dusíku. Technologie chlazení spočívá v cyklickém dodávání kapalného dusíku do autodomíchače s čerstvým betonem. Míra zchlazení závisí na množství cyklů s kapalným dusíkem. Se zvyšujícím se množstvím cyklů ale dochází k prodlužování procesu chlazení, a tím ke zkrácení času na zpracování betonu na stavbě. Touto technologií je možno chladit čerstvý beton o cca $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ při zachování rozumného času a kapacity výroby.

ZÁVĚR

Teplota čerstvého betonu má velký vliv na vývoj parametrů mladého betonu i na vznik vynucených namáhání v konstrukci. Zatímco zvyšování teploty čerstvého betonu v zimním období je běžnou záležitostí, snížení teploty betonu chlazením jeho složek je v podmínkách České republiky technologickou novinkou.

Snížení teploty čerstvého betonu má smysl zejména v následujících případech:

- je potřeba prodloužit zpracovatelnost v letním období,
- snížení maximální dosažené teploty u masivních konstrukcí (cca o 23 % u desky tloušťky 1000 mm) za účelem snížení teplotního gradientu po průřezu konstrukce,
- snížení maximální dosažené teploty u vodonepropustných konstrukcí (cca o 50 % u konstrukce tloušťky 300 mm) za účelem snížení vynucených namáhání způsobených vychlazením konstrukce,

Literatura:

- [1] ČSN EN 206+A1. *Beton – Specifikace, vlastností, výroba a shoda*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [2] LOHMAYER, G., EBELING, K. *Weisse Wannen einfach und sicher: Konstruktion und Ausführung wasserundurchlässiger Bauwerke aus Beton*. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik, 1985. 9. vydání, 2009.
- [3] *Technická pravidla ČBS 02. Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce*. Praha: ČBS ČSSI, 2007.
- [4] *Technická pravidla ČBS 04. Vodonepropustné betonové konstrukce: překlad německé směrnice a komentáře*. Praha: ČBS ČSSI, 2015.
- [5] *Technické podmínky (TKP 18). Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty*. Praha: Ministerstvo dopravy, aktualizována k datu 15. 1. 2016.

- pro splnění podmínek na teplotu čerstvého betonu v letních podmínkách dle TKP staveb pozemních komunikací – Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty.

Před uvážením snížení teploty čerstvého betonu do výpočtu je nutno ověřit možnost chlazení čerstvého betonu u dodavatele.

Některé výsledky uvedené v článku byly získány za podpory výzkumného projektu TAČR č. TE01020168 (Výzkumné centrum CESTI).

Ing. Robert Coufal, Ph.D.
TBG Metrostav, s. r. o.
e-mail: robert.coufal@tbg-beton.cz



prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.
Metrostav, a. s.
& Fakulta stavební ČVUT v Praze
e-mail: jan.vitek@metrostav.cz

