

PROBLEMATIKA CHLAZENÍ BETONU KAPALNÝM DUSÍKEM

COOLING OF CONCRETE BY LIQUID NITROGEN

Kristýna Chmelíková

Článek se zabývá možnostmi využití technologie chlazení čerstvého betonu kapalným dusíkem a jeho aplikací v praxi. ■ Possibilities of usage of liquid nitrogen technology to cooling of fresh concrete are described in the article and its practical application is presented.

Tvrdnutí betonu je způsobeno chemickou reakcí cementu s vodou. Při tomto procesu dochází k vývinu hydratačního tepla. Uvolněným teplem se beton zahřívá. Pro odvod tepla je důležitý poměr povrchu materiálu k jeho objemu. Na velikosti povrchu závisí tepelná kondukce a na velikosti objemu tepelná kapacita. Proto u tenkých konstrukcí teplo snadno uniká do okolí, kdežto u konstrukcí masivních se teplota v jádře betonové konstrukce kumuluje a výsledná hodnota může vzrůst až o desítky stupňů Celsia. Vysoké teploty v konstrukci mohou negativně ovlivnit kvalitu betonu. Je tedy nutné zabránit, aby teplota při tvrdnutí překročila maximální stanovenou mez (ta je např. dle TP ČBS 02 pro bílé vany 45 °C).

Rozdíl teplot uvnitř a na povrchu konstrukce, tzv. teplotní gradient, způsobuje prnutí v betonu. Následkem prnutí jsou trhliny, které jsou zejména u vodonepropustných konstrukcí nežádoucí. Snahou je minimalizovat teplotní rozdíl mezi povrchem, kde se teplota betonu blíží teplotě okolí, a jádrem betonové konstrukce, kde jsou teploty nejvyšší.

Dalším nebezpečím je horké počasí. Vyšší teploty urychlují chemické reakce způsobující tuhnutí a tvrdnutí, tedy hydrataci cementu. Odpařování vo-

dy a rychlejší hydratace vede k rychlejší změně konzistence, tedy ke zkrácení zpracovatelnosti čerstvého betonu. Podle technických kvalitativních podmínek (TKP, kapitola 18 – beton pro konstrukce) obecně teplota čerstvého betonu při ukládání nesmí překročit $t_{\max} = 27$ °C. To je ovšem v horkém letním počasí mnohdy téměř nemožné, a tak je potřeba zavést dodatečná opatření.

Zmíněné obtíže jsou spjaty s vývinem hydratačního tepla. Řešením je snížit maximální teploty při hydrataci cementu. Toho lze dosáhnout minimalizováním množství cementu nebo použitím cementů s nízkým vývojem hydratačního tepla. Dále je možné hydratační teplo omezit aditivami (zpomalovače tuhnutí) nebo chlazením betonu.

MOŽNOSTI CHLAZENÍ BETONU

Chladit lze jednak jednotlivé složky (kamenivo, záměsovou vodu, cement) zvlášť, anebo betonovou směs jako celek. V tab. 1 je uvedeno, o kolik °C je nutné jednotlivé složky zchladit, aby byla výsledná teplota vyrobené směsi o 1 °C nižší.

Chladit lze čerstvý beton při jeho výrobě, před transportem, před ukládáním nebo již ztvrdlý beton uložený v konstrukci (chlazení proudící vodou v průběžném trubním systému [1]). Existuje celá řada technologií chlazení, např.: chlazení kameniva kropením, náhrada záměsové vody ledovou tříští či ledovou vodou. K chlazení lze použít také kapalným dusíkem, kdy je možno chladit jak jednotlivé složky zvlášť, tak i celou směs dohromady, a to v míchacím jádru nebo v bubnu autodomíchávače.

Technologie chlazení betonu kapalným dusíkem

Kapalný dusík je inertní kapalina, bez barvy, chuti a zápachu, která má při běžných podmínkách teplotu -196 °C. Oproti své plynné verzi je 800krát hustší. Vyrábí se stlačováním a zchlazováním vzduchu, který obsahuje 78 % dusíku. Na místo spotřeby se dopravuje v cisternách, kde se přepouští do kryogenních zásobníků.

Výhodou kapalného dusíku je, že ochladí materiál a volně odejde v plynném stavu zpět do atmosféry. V porovnání s technologií chlazení betonové směsi ledovou drtí není dávkování kapalného dusíku kapacitně omezeno a navíc technologie chlazení čerstvého betonu kapalným dusíkem nijak zásadně neovlivňuje jeho konzistenci.

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE CHLAZENÍ BETONU PŘI BETONÁŽI

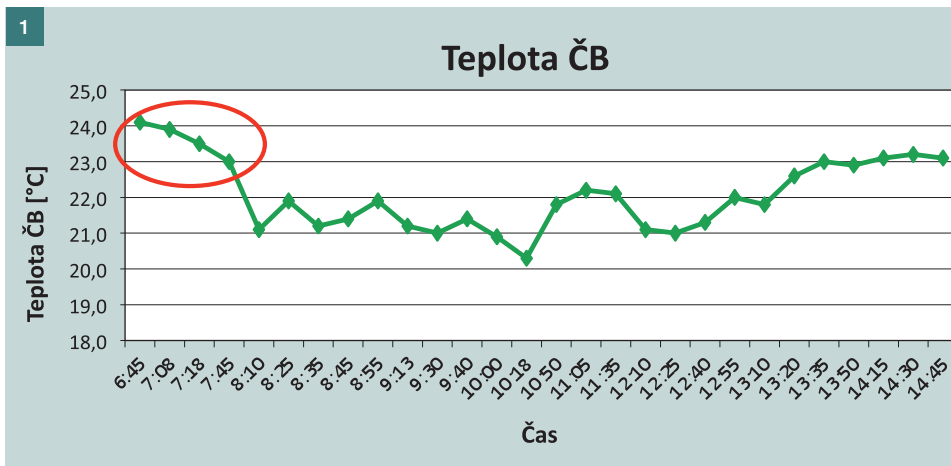
Chlazení betonu kapalným dusíkem probíhá těsně po namíchání betonové směsi. Ke kryogennímu zásobníku se přistaví autodomíchávač a k plnicímu trychtýři se připevní dávkovací zařízení čerpající kapalným dusíkem. Beton je nutné chladit cyklováním, aby došlo k rovnoměrnému zchlazení celé směsi. Po každém cyklu trvajícím řádově několik sekund by měla následovat krátká pauza na promíchání. Dávkovací zařízení umožňuje nastavení času jednoho cyklu. Celkově tak zchlazení jednoho autodomíchávače trvá zhruba 10 min.

Zajímavým doprovodným efektem při chlazení je mlha. Kapalný dusík se v prostředí pro něj o 200 °C teplejším vaří a na jeho studených parách kondenzují vodní páry ze vzduchu.

Tab. 1 Porovnání vlivu jednotlivých složek na výslednou teplotu čerstvého betonu [2]

■ Tab. 1 Comparison of component effects on resulting temperature [2]

Chlazené médium	Potřebné snížení vstupní teploty k ochlazení betonové směsi o 1 °C [°C]
kamenivo	2
záměsová voda	4
cement	10





Obr. 1 Teplota betonu dodávaného na stavbu během dne ■
Fig. 1 Temperature of concrete supplied to a building site during the day

Obr. 2 Betonovaná část inundační pole Trojského mostu ■
Fig. 2 Concreted part of the filled field of the Troja bridge

Obr. 3 a) Čerpání kapalného dusíku z kryogenního zásobníku, b) dávkování kapalného dusíku cyklováním ■
Fig. 3 a) Pumping of liquid nitrogen from cryogenic accumulator, b) dosing of liquid nitrogen by cycling

Obr. 4 Kondenzace vodních par na čerpadle kapalného dusíku ■
Fig. 4 Condensation of air moisture on the liquid nitrogen pump





5



7



6

V červnu roku 2011 byla technologie chlazení betonu kapalným dusíkem poprvé v České republice využita v praxi (firmou TBG Metrostav). Stalo se tak při betonáži mohutných koncových příčníků inundačního pole Trojského mostu v Praze. Beton byl vyroben z odleželého cementu (s nižší teplotou), aby bylo následné chlazení efektivnější.

Betonáž koncových příčníků Trojského mostu trvala celý den, bylo slunečno a teplota vzduchu ve stínu dosahovala 28 °C. Na stavbě byla průběžně měřena teplota dodávaného betonu, výsledky byly zpracovány do grafu na obr. 1. První čtyři dodávky betonu (v grafu zakroužkovány) nebyly záměrně chlazeny, jelikož v ranních hodinách byla teplota ovzduší optimální. Během dne teplota vzduchu rostla až na 28 °C, avšak teplota dodávaného chlazeného betonu nepřekročila 23,5 °C, což s rezervou splňuje požadavky výše uvedených TKP 18.

Praktické informace

Výrobci betonu tato technologie přináší více nákladů, jejichž výše se odvíjí od ob-

jemu a požadovaného snížení teploty betonu. Výsledná teplota betonové směsi je ovlivněna teplotou každé jeho složky, proto je dobré pro výrobu použít například odleželý cement, či kamenivo ze skládky, která není přímo vystavena slunci. Současně nelze nikdy předem odhadnout průběh chlazení. Účinnost chlazení je ovlivněna mnoha dalšími faktory, např. teplotou prostředí, teplotou autodomíchače, prodlevou mezi chlazením a ukládáním apod. Z ekonomického hlediska má tato metoda v praxi význam pro zchlazení betonu o 3 až 4 °C.

Otázkou je, zda v horkém letním počasí není ekonomičtější provést betonáž přes noc, či počkat několik dnů až budou podmínky optimální.

ZÁVĚR

Při betonáži nového mostu v pražské Troji byla ověřena technologie chlazení betonu kapalným dusíkem. Bylo prokázáno, že tato metoda snižuje teplotu čerstvého betonu a současně snižuje i následný vývoj hydratačního tepla, přičemž zásadně neovlivňuje konzistenci a obsah vzduchu v provzdušněném betonu. Technologie chlazení betonu

Obr. 5 Transport zchlazené směsi na stavbu
■ Fig. 5 Cold concrete mix transport to a building site

Obr. 6 Ukládání chlazeného betonu na stavbě Trojského mostu v Praze
■ Fig. 6 Cold concrete mix casting of the Troja bridge construction

Obr. 7 Pohled na konstrukci Trojského mostu
■ Fig. 7 View of the Troja bridge structure

Literatura:

- [1] Šmilauer V., Vitek J. L., Patzák B., Bittnar Z.: Optimalizace chlazení oblouku Oparenského mostu, Beton TKS 4/2011, p. 62–65
- [2] Tůma A.: Technologie chlazení betonu kapalným dusíkem, Sb. konf. Technologie betonu 2009, ČBS ČSSI, 2009

tekutým dusíkem je vhodná pro použití při betonážích v horkém počasí, pro betonáže masivních konstrukcí a zejména u konstrukcí, kde je důležité zajistit vodonepropustnost betonu.

Bc. Kristýna Chmelíková
e-mail: kristyna.chmelikova@fsv.cvut.cz

