

Technologie chlazení betonu v TBG METROSTAV

Tvrdnutí betonu je způsobeno chemickou reakcí cementu s vodou. Při tomto procesu dochází k vývinu hydratačního tepla a uvolněným teplem se beton zahřívá. Pro ztrátu tepla je důležitý poměr povrchu k 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 jádru betonové konstrukce kumuluje a výsledná hodnota může vzrůst až o desítky stupňů Celsia. Vysoké teploty v jádru konstrukce, respektive vysoký teplotní gradient mezi jádrem a povrchem betonu, mohou negativně ovlivnit kvalitu betonové konstrukce. Je tedy nutné zabránit, aby teplota při tvrdnutí překročila maximální sta-

novenou mez (ta je například 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 vody a rychlejší hydratace vede k rychlejší změně konzistence, tedy ke zkrácení zpracovatelnosti čerstvého betonu. Podle technických kvalitativních podmí-

nek (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.

Výše zmíněné obtíže jsou spjaty s teplotou čerstvého betonu a 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 (zpomalovači tuhnutí) nebo chlazením betonu.

Možnosti chlazení betonu

Chladit lze jednak jednotlivé složky (kamenivo, záměsovou vodu, cement) zvlášť, nebo betonovou směs jako celek. V tabulce 1 je porovnání, o kolik 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, například chlazení kameniva kropením, nahrazení záměsově vody ledovou tříští či ledovou vodou, lze chladit jednotlivé složky či směs kapalným dusíkem, je možné v průběhu výroby chladit míchací jádro apod.

Technologie chlazení betonu kapalným dusíkem

Kapalný dusík je inertní kapalina bez barvy, chuti a zápachu. Při běžných podmínkách má teplotu -196 °C. Oproti jeho plynné verzi je 800krát hustší. Vyrábí se stlačováním a zchlazováním vzduchu, který obsahuje 78 % dusíku. Na místo spotřeby se dopravuje v cisternách, kde se ukládá do kryogenních zásobníků. Výhodou kapalného dusíku je, že ochladí materiál



Chlazení betonu kapalným dusíkem



Výtuž závěru Trojského mostu



Betonová rampa oddávající tramvajový pás od pruhů pro automobily



Deska mostovky



Schodiště na trojském břehu



Pilíř na trojském břehu



Betonáž



a volně odejde 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 konzistenci.

Využití této technologie při betonáži Trojského mostu

Chlazení betonu kapalným dusíkem probíhá těsně po namíchání betonové směsi. Ke kryogennímu zásobníku se přistaví automodifikovač, 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 automodifikovače trvá zhruba 10 minut. Zajímavým doprovodným efektem při chlazení je mlha. Kapalným dusíkem se v prostředí pro něj o 200 °C teplejším vaří, na jeho studených parách kondenzují vodní páry ze vzduchu.

V červnu loňského roku byla tato technologie poprvé v České republice využita v praxi firmou TBG METROSTAV. Stalo se tak při betonáži mohutných koncových příčníků inundačního pole Trojského mostu v Praze betonem C50/60 XF2.

Betonáž koncových příčníků Trojského mostu trvala celý den, bylo slunečno a teplota vzduchu dosahovala 28 °C. Na stavbě byla průběžně měřena teplota dodávaného betonu. Teplota dodávaného

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

Chlazené medium	Potřebná vstupní teplota k ochlazení betonové směsi o 1 °C
Kamenivo	o 2 °C
Záměšová voda	o 4 °C
Cement	o 10 °C

chlazeného betonu nepřekročila 23,5 °C, což s rezervou splňuje výše uvedené požadavky.

Tři betonáži nového mostu v pražské Troji tak byla společností TBG METROSTAV technologie chlazení betonu kapalným dusíkem ověřena v praxi. 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 teku-

tým dusíkem je vhodná pro použití při betonážích v horkém počasí nebo pro betonáže masivní konstrukce.

Kristýna Chmelíková

Zdroje:

- 1) Šmilauer, V. – Vítek, 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. Sborník Technologie betonu 2009.