TECHNOLOGIE CHLAZENÍ PŘI VÝSTAVBĚ DVORECKÉHO MOSTU

Vít Němčic

Použití bílého cementu v masivních konstrukcích Dvoreckého mostu bylo spojeno s vysokým vývinem hydratačního tepla a rizikem vzniku nepříznivých teplotních gradientů. Článek popisuje návrh aktivního chladicího systému, jeho experimentální ověření na zkušebním bloku o rozměrech 2 × 2 × 2 m a následnou aplikaci v konstrukcích opěry a příčníku nosné konstrukce. Uvedeny jsou výsledky numerické analýzy i teplotního monitoringu při realizaci. Celková délka instalovaných chladicích hadic přesáhla 1,2 km.



1a



1b



1c

1 Zkušební betonový vzorek: a) bednění, b) betonáž, c) po odbednění **2** Maximální teplota naměřená ve zkušebním vzorku o rozměrech 2 × 2 × 2 m **3** Výsledky numerické analýzy teplot ve zkušebním vzorku: a) vzorek s chlazením, b) vzorek bez chlazení **4** Chladicí systém uvnitř opěry **5** Rozmístění chladicího systému v opěře **6** Tvar opěry

V některých případech jsou na betonové konstrukce kladeny specifické požadavky, které zásadním způsobem ovlivňují návrh betonové směsi. Jedná se například o konstrukce, u nichž je z architektonických nebo funkčních důvodů požadováno použití bílého betonu, pro jehož výrobu byl použit bílý cement. Bílý cement se vyznačuje výrazným vývinem hydratačního tepla, což může v masivních konstrukcích vést k nežádoucímu nárůstu teplot. V těchto případech zpravidla nelze upravit složení betonové směsi, a je proto nutné zajistit regulaci teplot betonu jinými technologickými opatřeními.

Pohledové části spodní stavby a nosné konstrukce Dvoreckého mostu byly realizovány z bílého betonu, přičemž některé rozhodující betonáže probíhaly za letních klimatických podmínek, které dále zvyšovaly riziko vzniku vysokých teplot v betonovém masivu. Proto bylo nutné se návrhem chladicího systému zabývat podrobně. Chladicí systém byl navržen s cílem snížit maximální teploty v konstrukci a současně omezit teplotní rozdíly mezi jejím jádrem a povrchem.

Experimentální ověření na zkušebním vzorku a numerická analýza

Návrh chladicího systému vycházel z provedeného experimentu na vzorku a z výsledků numerické analýzy.

Experiment byl proveden na zkušebním betonovém vzorku o rozměrech 2 × 2 × 2 m, na němž byla ověřena funkčnost systému, řízení teploty chladicího média i průtokové charakteristiky (obr. 1). V průběhu experimentu byla zaznamenána maximální teplota 73,1 °C (obr. 2).

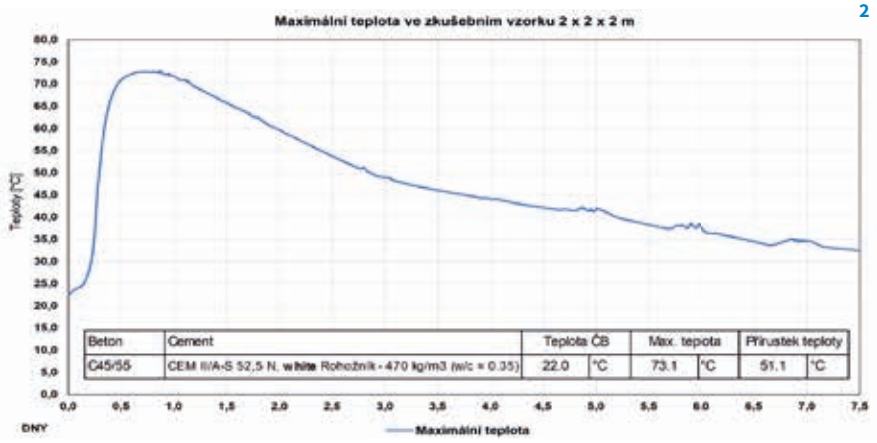
Současně byla společností Červenka Consulting provedena numerická simulace, která umožnila detailnější analýzu teplotního pole a potvrdila účinnost navrženého chladicího systému. Výsledky numerické simulace ukázaly, že použitím chlazení lze snížit maximální teplotu v konstrukci přibližně o 10 °C (obr. 3).

Experimentální ověření prokázalo funkčnost navrženého chladicího systému, a to jak z hlediska snížení maximálních teplot v betonovém masivu, tak i z hlediska omezení teplotních gradientů. Na základě získaných výsledků byl systém následně použit při betonáži masivních konstrukcí spodní stavby a příčníků nosné konstrukce, u nichž se s ohledem na jejich rozměry a použití bílého cementu očekával vznik vysokých teplot.

Betonáž opěry

Konstrukce opěry má výrazně proměnný průřez a značné rozměry: například opěra O1 měla šířku přibližně 5 m, délku 20 m a výšku 6 m (obr. 6). Pro betonáž dříku opěry byl použit beton pevnostní třídy C30/37 s bílým cementem CEM II/A-S 52,5 N z Rohožníku v množství 395 kg/m³.

2



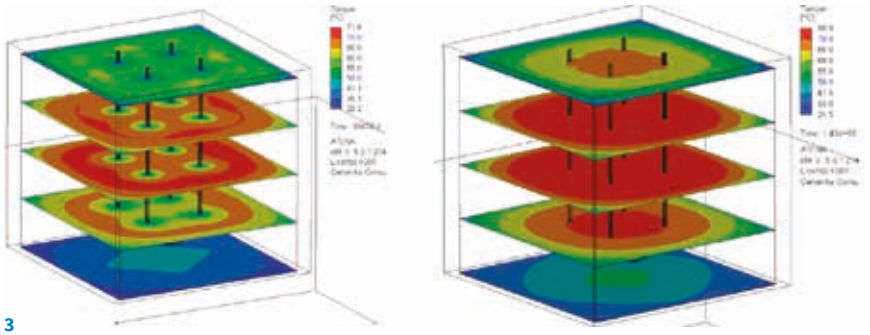
Na základě experimentálního ověření na zkušebním vzorku, numerické analýzy a s ohledem na prostorové a technologické možnosti konstrukce byl navržen chladicí systém tvořený flexibilními PVC hadicemi typu AQUATEC PVC CRISTAL o vnitřním průměru 25 mm (obr. 4 a 5).

Zásadním důvodem pro toto řešení byla především složitá geometrie konstrukce a nutnost vést chladicí systém v prostorově komplikovaných trajektoriích. Flexibilní PVC hadice umožnily snadné tvarování, provedení oblouků a přizpůsobení se složitému uspořádání výztuže. Z technologického hlediska tak představovaly ideální řešení umožňující realizaci celého systému.

Chladicí systém

Chladicí voda byla odebírána přímo z koryta řeky, přičemž její teplota na vstupu dosahovala průměrně 14 °C. Pomocí rozvodných hadic byla distribuována do konstrukce a po průchodu systémem se odváděla zpět do řeky. Jednalo se o průtočný chladicí okruh. Doba chlazení jednotlivých prvků se pohybovala v rozmezí 3 až 4 dnů a odvíjela se od aktuálních podmínek, jako byly teplota čerstvého betonu, teplota okolního prostředí a masivnost konstrukce. Pro kontinuální monitoring byly v betonu rozmístěny teplotní snímače. Dle naměřených hodnot se délka chladicího procesu operativně upravovala.

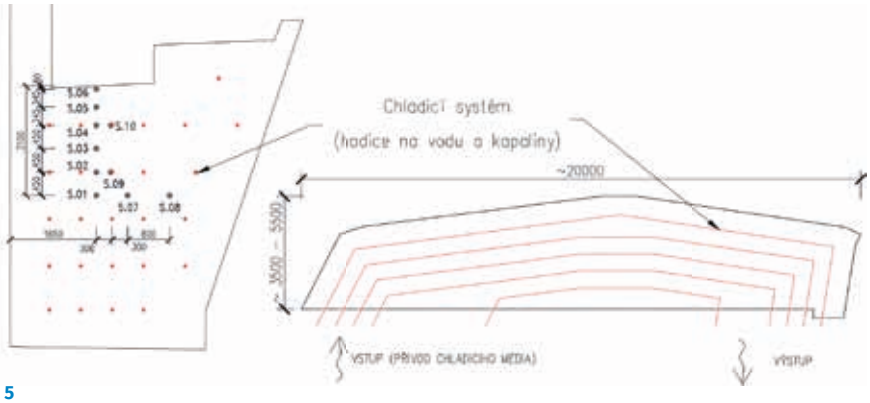
Rozmístění chladicích hadic vycházelo ze zkušeností z předchozích experimentů i z konkrétních podmínek realizace. Instalaci výrazně ovlivňovala vysoká hustota výztuže a složitý tvar konstrukce, což omezovalo optimální vedení



3



4

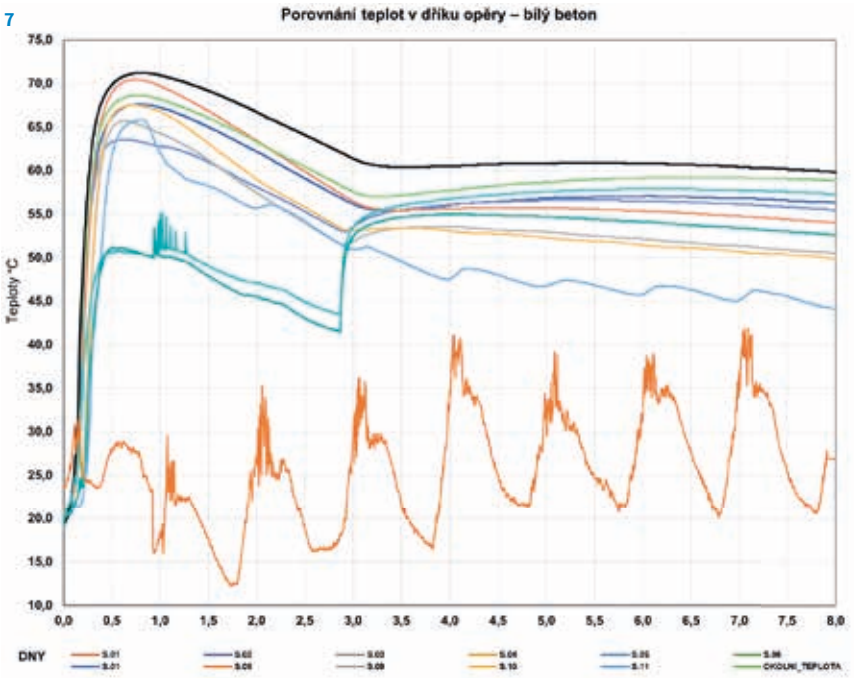


5

6



7



8



hadic. Přesto se podařilo navrhnout řešení, které zaručilo dostatečnou účinnost chlazení při respektování všech technologických omezení. Jednotlivé okruhy byly vedeny ve vrstvách po výšce konstrukčního prvku (opěry, pilíře, příčníku) a každý z nich disponoval samostatným vstupem a výstupem.

Systém byl uváděn do provozu již během samotné betonáže. Důvodem byla obava z deformace PVC hadic, které na rozdíl od ocelových trubek vykazují nižší tuhost. Aby se předešlo jejich stlačení či poškození účinkem tlaku čerstvé betonové směsi, byly předem provedeny výpočty očekávaného zatížení. Tlak v jednotlivých okruzích se navíc průběžně sledoval pomocí manometrů.

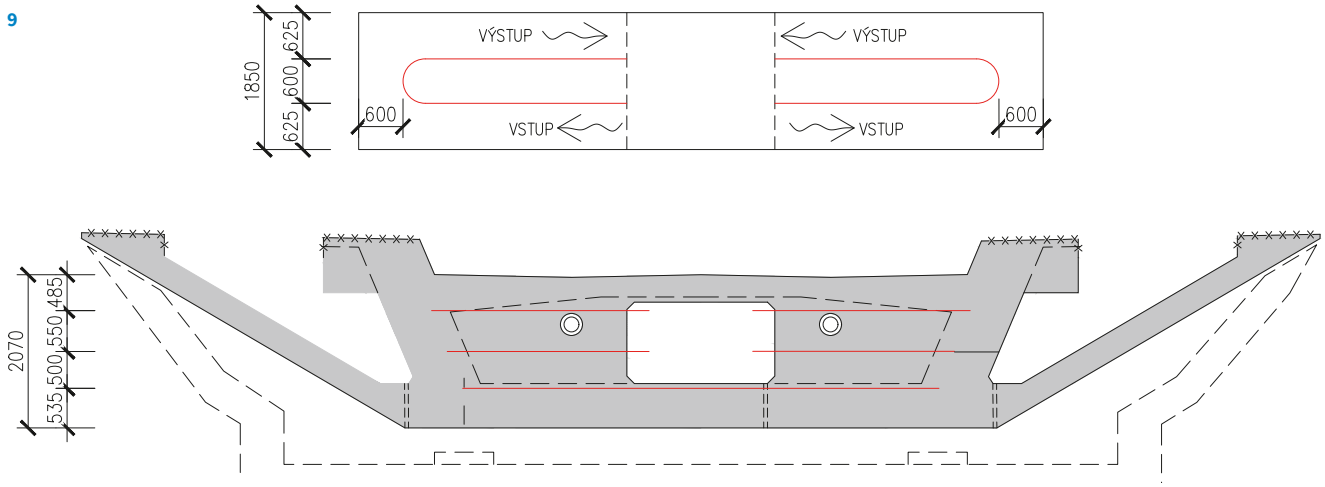
Po dokončení chlazení se voda ze systému vypustila a její zbytky se vyfoukly stlačeným vzduchem. Následně byl celý systém odpojen a chladicí kanálky v konstrukci se po dohodě s projektantem zainjektovaly obdobným způsobem jako kanálky předpínací výztuže.

Výsledky měření v opěře

Průměrná teplota čerstvého betonu při betonáži opěry byla 21,8 °C. Maximální teplota zaznamenaná v příčném řezu senzorem S.08 činila 71,2 °C. Největší rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotou byl zaznamenán mezi senzory S.08 a S.06 a činil 15,6 °C (obr. 7).

Chlazením došlo k výraznému snížení maximálních teplot, avšak vzhledem k technickým možnostem na stavbě a klimatickým podmínkám nebylo možné dosažená absolutní teplotní maxima dále snížit, neboť kombinace použitého cementu, masivnosti konstrukcí a klimatických podmínek byla mimořádně nepříznivá. V rámci výstavby spodní stavby Dvoreckého mostu bylo prováděno chlazení dříků u obou opěr i u většiny

9





10a



10b

7 Naměřené teploty v opěře z bílého betonu **8** Výztuž nosné konstrukce a příčníku **9** Rozmístění chladicího systému v příčníku nosné konstrukce **10** Chlazení probíhalo i v zimním období: a) betonáž příčníku nosné konstrukce a aktivace chladicího systému, b) chladicí okruhy příčníku – rozvodná síť **11** Maximální teplota naměřená během betonáže příčníku v letním období

pilířů. Vzhledem k mimořádně komplikovaným podmínkám byly i u ostatních konstrukcí naměřeny hodnoty teplot srovnatelné s výše zmíněnou opěrou.

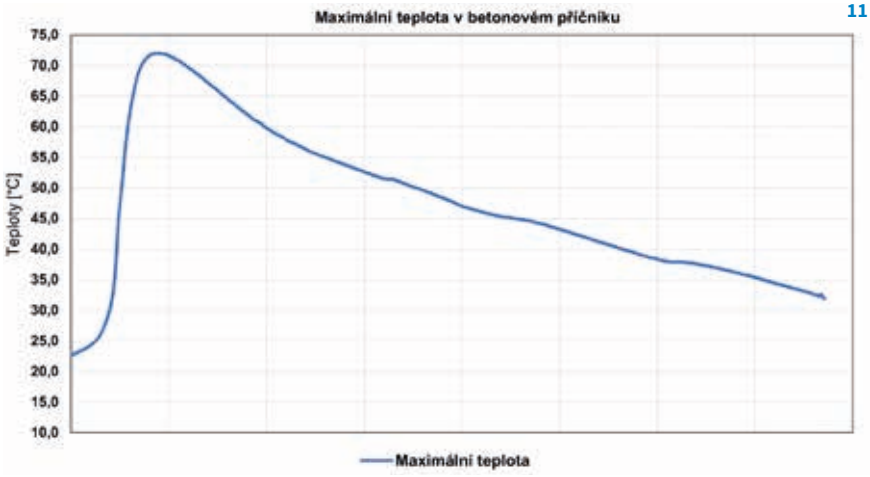
Betonáž příčníku

Dalšími masivními konstrukčními prvky, u nichž bylo nutné řešit nárůst teplot při betonáži, byly příčníky nosné konstrukce. Vyznačovaly se též vysokým stupněm vyztužení (obr. 8) a značnými rozměry průřezu. Husté uspořádání výztuže kladlo zvýšené nároky jak na technologii betonáže, tak na návrh a instalaci chladicího systému. Rozměry příčníku dosahovaly přibližně šířky 1,9 m a výšky 2 m, rozměry příčníku u pilířů ve vodě P4 a P5 dosahovaly přibližně šířky 3,5 m a výšky 4,5 m.

Pro betonáž příčníku byl použit beton pevnostní třídy C45/55 s bílým cementem CEM II/A-S 52,5 N z Rohožníku v množství 470 kg/m^3. Volba této směsi vycházela z požadavků na mechanické vlastnosti a trvanlivost konstrukce, přičemž vyšší obsah bílého cementu současně představoval zvýšené riziko vzniku vyšších teplot v důsledku hydratačního tepla.

Maximální teplota naměřená během betonáže příčníku nosné konstrukce v letním období dosáhla hodnoty 72,1 °C (obr. 11), teplota čerstvého betonu činila 23 °C. Maximální teplota odpovídala očekávanému teplotnímu vývoji s ohledem na použitou betonovou směs s vysokým obsahem bílého cementu i na masivnost řešeného konstrukčního prvku.

Aplikovaný chladicí systém, jehož realizace byla stejně jako v případě opěry technologicky velmi náročná, prokázal i zde svou funkčnost a přispěl k významnému snížení absolutních teplot v betonovém masivu. Bez jeho aplikace by docházelo k výrazně vyšším teplotám, které by mohly nepříznivě ovlivnit chování betonu v raných fázích tuhnutí.



11

Závěr

Při výstavbě Dvoreckého mostu bylo prováděno chlazení prakticky celé spodní stavby (dříků pilířů a opěr). Chladicí systém byl rovněž instalován do masivních betonových příčníků mostovky. Celková délka použitých hadic přesáhla 1,2 km. Hadice byly následně zainjektovány.

Navržený a realizovaný chladicí systém se osvědčil jako účinný nástroj pro řízení teplotního režimu u masivních betonových konstrukcí s vysokým vývinem hydratačního tepla, u nichž nelze upravit složení betonové směsi. Tento systém umožnil snížit maximální teploty i teplotní rozdíly v konstrukci při zachování technologické proveditelnosti. Systém flexibilních PVC hadic bylo možné přizpůsobit proměnné geometrii konstrukcí a hustému uspořádání výztuže, přestože tyto podmínky místy omezovaly optimální rozmístění hadic. Teplotní monitoring opěry a příčníku potvrdil funkčnost systému v betonovém masivu.

Fotografie: archiv autora



Ing. Vít Němčic
Metrostav TBR a.s.
vit.nemcic@m-tbr.cz