

# OPATŘENÍ K PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ VOZOVEK ■ DURABILITY IMPROVEMENT OF CONCRETE PAVEMENTS

Bohuslav Slánský, Richard Dvořák

Cementobetonové kryty (CBK) vozovek jsou spolehlivým technickým řešením a historicky ověřenou technologií pro vysoce zatížené silnice a dálnice, a to jak pro novostavby, tak pro rekonstrukce. Vozovky zhotovené tímto postupem dosahují při správném návrhu konstrukce, provedení a údržbě vysoké životnosti 35 až 50 let a mají minimální provozní náklady. Diagnostika prováděná Ředitelstvím silnic a dálnic ČR v posledních letech však ukazuje, že životnost CBK může být významně ovlivněna vznikem a rozvojem trhlin. Předmětem tohoto článku je analýza příčin vzniku těchto trhlin a především návrh opatření k jejich minimalizaci, a tím ke zvýšení životnosti prováděných CBK. Tato opatření zahrnují návrh úpravy stávajících technických předpisů a nastavení inovativních receptur betonu pro CBK, jejich testování, optimalizace a ověření na pilotním projektu v rámci dálničního úseku D137 Přerov – Lipník nad Bečvou, včetně krátkodobého a dlouhodobého monitoringu. ■ Concrete pavements are a reliable technical and historically proven solution for highly loaded roads and highways, both for the newly built or reconstructed ones. Pavements built by this technology with correct design and appropriate maintenance can be operated 35 to 50 years and they require minimum maintenance costs. Diagnostic survey

done by the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic in past few years shows that durability of concrete pavements can be significantly affected by initiation and development of cracks. Subject of this article is the analysis of the root causes of these cracks and specially suggestions how to minimise the risk of cracks and hence to improve durability of constructed concrete pavements. These measures include modification of current technical specifications and introduction of innovative concrete mixtures for concrete pavements, their testing and optimization and implementation on a pilot motorway project D137 Přerov – Lipník nad Bečvou, including short-term and long-term monitoring.

Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) se v poslední době intenzivně zabývá sledováním stavu CBK na dálnicích a vyhodnocením jejich zbytkové životnosti. Hlavním cílem je analyzovat současný stav a hledat opatření ke zvýšení životnosti CBK.

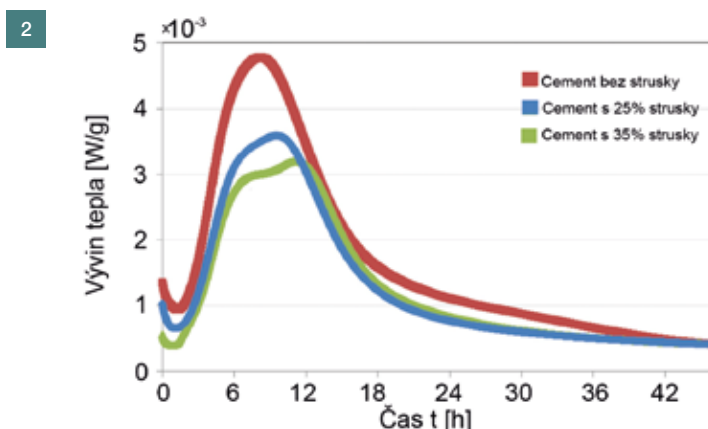
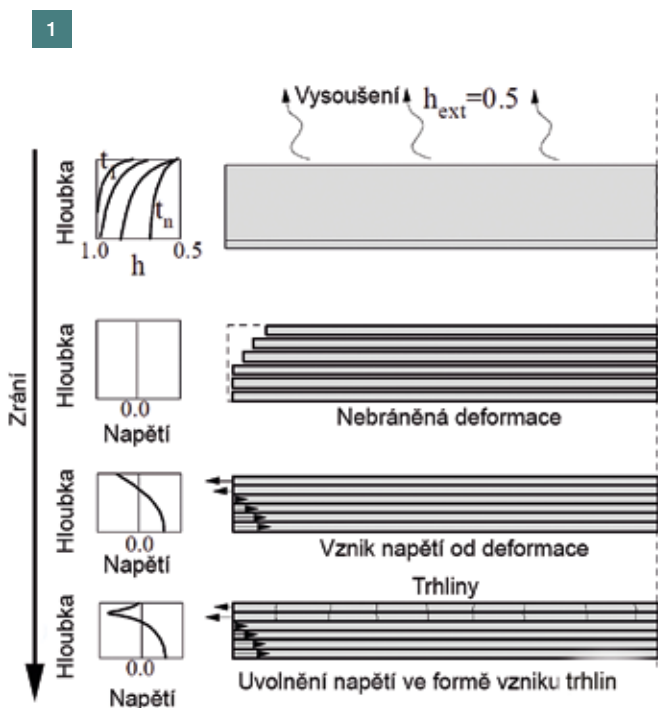
Jedním z faktorů, které mohou negativně ovlivňovat životnost CBK, je tvorba trhlin na jejich povrchu. Vnikání agresivních látek do vzniklých trhlin může být zdrojem dalších vad poruch, neboť trhliny obecně zvětšují plochu betonu vystavenou jejich účinkům. Takto se

v nich mohou sekundárně tvořit i produkty alkalicko-křemičité reakce (ASR) způsobené „zavlečenými“ chemikáliemi (alkáliemi) [1].

Bylo zjištěno, že se s velkou pravděpodobností trhliny na povrchu CBK tvoří již v mladém betonu ve stadiu jeho hydratace ve formě mikrotrhlin pouhým okem obvykle nepozorovatelných, které pak mohou dále propagovat, rozvíjet se, prohlubovat a rozšiřovat [2]. Snahou ŘSD je najít opatření pro minimalizaci rizika vzniku těchto trhlin, a tím zásadním způsobem přispět k prodloužení životnosti CBK. Tímto směrem byla zaměřena i pozornost výzkumného projektu ŘSD ISPROFIN 500 115 0001 s názvem Ověření nové receptury betonu pro CBK.

## PROBLEMATIKA FORMOVÁNÍ TRHLIN V BETONU

V průběhu tuhnutí a tvrdnutí cementového tmelu dochází ke smršťování, které lze rozdělit do několika základních typů, jež se projevují v průběhu zrání a životnosti betonového prvku. Plastické smršťování se projevuje během odpařování vody z povrchu čerstvého betonu a vlivem tohoto smršťování může docházet



1 Rozložení napětí a formování trhlin v počátcích tvrdnutí [7] 2 Vývoj hydratačního tepla cementu bez a s příměsí strusky [8] 3 Vztah mezi vývinem hydratačního tepla a měrného povrchu cementu [2] 4 Vztah mezi vývinem hydratačního tepla a obsahem alkálií v cementu [2] 5 Vliv měrného povrchu a vodního součinitele betonu na plastické smršťování [2] ■ 1 Stress distribution and crack formation in drying concrete element [7] 2 Change in the rate of heat evolution of cement paste with and without slag addition [8] 3 Relation between fineness and rate of cement hydration [2] 4 Relation between the alkali content and of the cement hydration rate [2] 5 Effect of cement fineness and w/c ratio on concrete plastic shrinkage [2]

k vzniku smršťovacích trhlin z důvodu příliš rychlého vysušování [3]. V průběhu hydratace se následně projevuje smršťování autogenní, které je vyvoláno úbytkem vody právě v důsledku hydratace [4]. Dále se odehrává smršťování od odpařování vody z tvrdnoucího betonu, smršťování způsobené vlivem karbonatace a termální smršťování [5]. Právě v počátečních fázích zrání je tedy zvláště svrchní vrstva betonové vozovky nejvíce ovlivněna jednotlivými druhy smršťování, které mají vliv na celkovou životnost vozovky.

Formování trhlin na povrchu CBK je zjevně nežádoucí jev, který přispívá k postupné degradaci svrchní betonové vrstvy. Vznik trhlin můžeme posuzovat z pohledu vlastního materiálu – betonu –, který sám o sobě vznik trhlin umožňuje, a z pohledu způsobu zpracování materiálu a vnějších podmínek pokládky, jako je teplota a technologický postup. Vznikem trhlin dochází ke zhoršení počátečních mechanicko-fyzikálních vlastností CBK, což vede k snížení jeho odolnosti vůči účinkům dopravy a působení prostředí (změny teploty, změny vlhkosti, chemikálie v posypových prostředcích apod.) při následujícím užívání konstrukce v průběhu její životnosti. Pro minimalizaci negativního působení jsou důležité samozřejmě správné a včasné opravy.

Tento článek je zaměřen na vliv samotného materiálu – betonu –, který se pro zhotovení CBK používá, a na sledování vývoje jeho mechanicko-fyzikálních vlastností zejména v raném stadiu zrání.

V betonovém elementu dochází v počátečních fázích zrání k plastickému a autogennímu smršťování vlivem odpařování záměsové vody na začátku a v průběhu hydratace [6]. Vznik trhlin je obecně dán bráněným smršťováním, vznikem tahového napětí a následným uvolněním ve formě trhlin.

V případě cementobetonové (CB) vozovky jsou tahová napětí eliminována včasným prořezáním smršťovacích spár, čímž se umožní uvolnění napětí od objemových změn a smrštění jednotlivých desek prokluzem po podkladní vrstvě. Tahové napětí však není po výšce vozovky rovnoměrné, protože povrch je ovlivňován větším odpařováním vody vlivem kontaktu s okolním prostředím (teplota vzduchu, vítr, přímé oslunění apod.), jak je uvedeno na obr. 1 [7].

Vysoušená povrchová vrstva se smršťuje a je tažena jádrem betonového prvku, které vykazuje smrštění nižší.

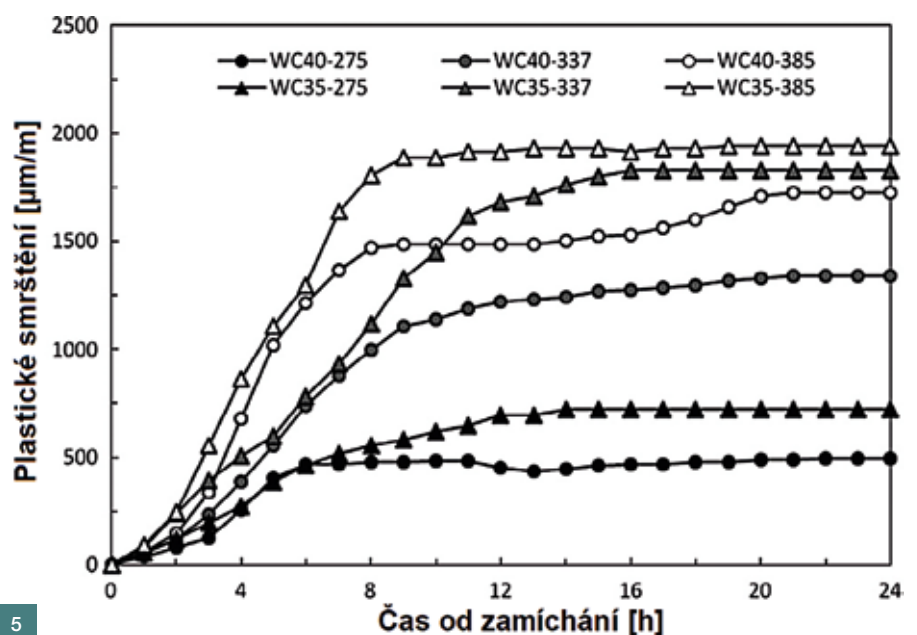
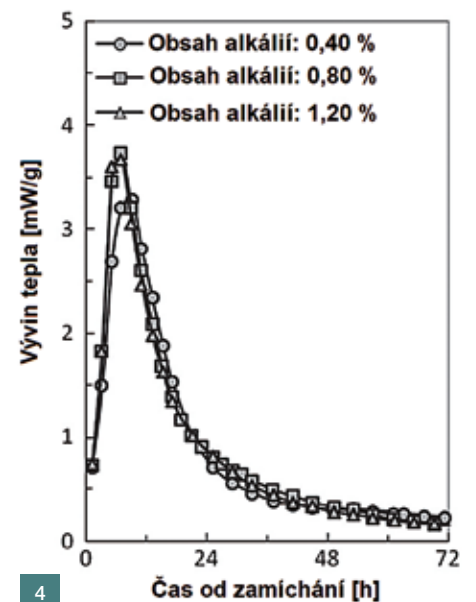
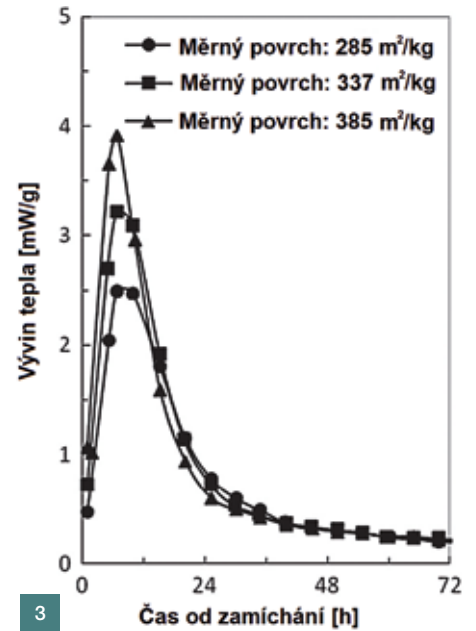
Zároveň se uplatňuje smrštění zapříčiněné teplotní roztažností, které je závislé na teplotním gradientu v betonovém prvku a které se projevuje deformací jednotlivých desek vozovky (tzv. „curling“ – zvlnění vozovky). Část napětí v konstrukci od bráněného smrštění je tedy místo vzniku trhlin přetvořena na plastickou deformaci [9].

Zatímco vnější teplotu v průběhu pokládky lze vzhledem k požadavkům na postup výstavby ovlivnit pouze s těžší, vlastní vývin hydratačního tepla betonové směsi ovlivnit lze.

Výzkumný projekt byl zaměřen na zpomalení procesu hydratace betonu, a tedy na omezení vlivu smršťování, a tím zmenšení rizika vzniku mikrotrhlin v povrchové vrstvě vozovky. Průvodním jevem hydratace betonu je vývin hydratačního tepla a měřením teploty betonu při jeho zrání lze sledovat rychlost tohoto procesu. Vývin hydratačního tepla cementových pojiv je komplexní, ale již dlouhodobě a velice podrobně popsaný fyzikálně-chemický proces [10]. Sledováním vývoje hydratačního tepla, resp. měřením teplot, lze pomocí kalibrace odvodit vývoj pevností betonu v průběhu zrání.

Zpomalení procesu hydratace lze dosáhnout různými způsoby, mezi nejběžnější patří snížení měrného povrchu cementu, obsahu alkálií [2] a vodního součinitele [11] (obr. 3, 4 a 5).

V tomto projektu jsme se však zaměřili na přidání příměsi do betonu s nižší



Tab. 1 Srovnání vybraných parametrů napříč zeměmi ■ Tab. 1 Comparison of selected parameters throughout the countries

Parametr	Německo	Rakousko	Belgie	Česká Republika
Povolené cementy	CEM I 32,5 R, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM III/A 42,5	CEM II	CEM I 42,5 N LA, CEM III/A 42,5 LA	CEM I 42,5
Minimální dávka cementu SV/HV [kg/m <sup>3</sup> ]	320/420	370/400 až 450	375/425	350/420
Maximální měrný povrch cementu [m <sup>2</sup> /kg]	350	350	-	350
28denní krychelná pevnost v tlaku [MPa]	37	40	50	37
Obsah volného vzduchu [%]	4 až 7	3,5 až 5,5 / 4 až 6	3 až 8	4 až 6

hydraulicitou, než má samotný portlandský cement, tedy vysokopecní strusky, což se projevuje zpomalením procesu hydratace, ale přitom dosažením dobrých dlouhodobých koncových pevností.

#### PŘÍSTUP K BETONU PRO CBK V ZAHRANIČÍ

Správnost úvah autorů lze podpořit i přístupem k cementobetonovým vozovkám v okolních státech s podobnými klimatickými podmínkami – Německo, Rakousko a Belgie.

**Německo** převzalo evropskou normu EN 206-1 [12] v roce 2000 a společně s německou normou DIN 1045-2 [13] se řídí těmito standardy při výstavbě svých CBK. Tak jako u nás je beton určený pro CBK navrhován pro prostředí XF4, doporučená pevnostní třída je C30/37. Další parametry CBK blíže

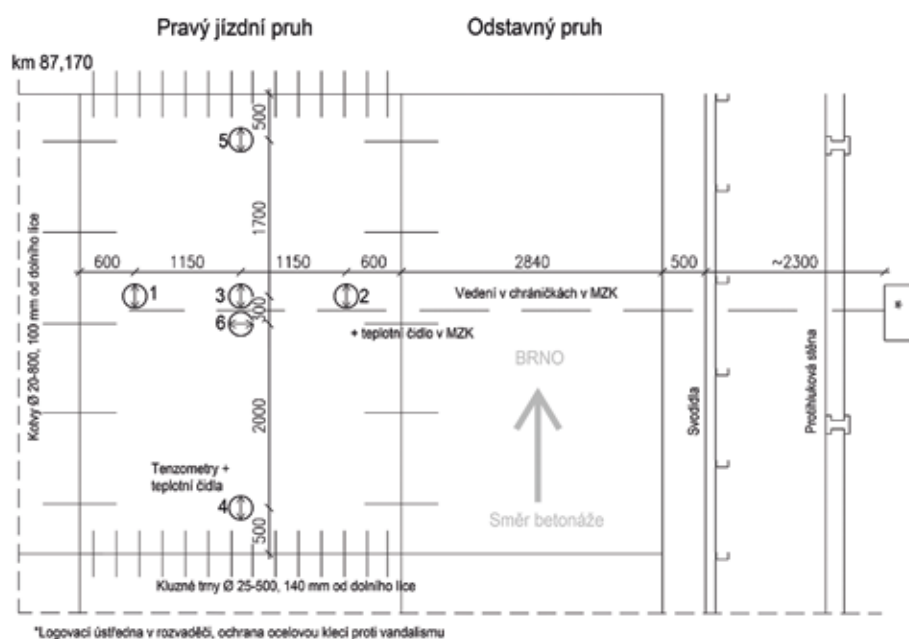
specifikuje německý technologický pokyn ZTV Beton-StB 2001 [14]. V praxi jsou využívány výhradně směsné, hrubě mleté cementy.

**Rakouský** přístup k betonu pro CBK se od německého mírně liší. Požadavky na CBK jsou blíže specifikovány pomocí rakouských norem RVS v sekci 08.06.01 [15], které určují použití směsných cementů CEM II s počátkem tuhnutí nejdříve po 2 h při 20 °C. Požadavky dále rozšiřuje norma RVS 8S.06.32 [16], která požaduje, aby 28denní pevnost v tahu ohybem spodní vrstvy CBK dosahovala minimálně 5,5 MPa a pevnost v tlaku 35 MPa. Horní vrstva musí dosahovat 28denní pevnosti v tahu ohybem alespoň 7 MPa a pevnost v tlaku 40 MPa. Rakouské normy také dovolují recyklovat beton z cementobetonového krytu a dále jej zpracovávat, třídít a kompletně znovu použít pro

stavbu nového CBK. Obecně se pro CBK používá převážně směsný portlandský cement s 20 až 25 % strusky.

**Belgie** se dělí na region Vlámský, Valonský a region Brusel a stejně tak má i normativní předpisy rozdělené na tři skupiny. Normativní specifikace pro beton udává norma NBN EN 206 [18] a doplňující norma NBN B15-001 [19]. Belgie neměla problémy s alkalic-křemičitou reakcí se svým vlastním kamenivem, takže cementy mohou mít 0,9 % obsahu alkálií a řídí se dle NBN EN 206 [18]. Pevnost v tlaku povrchových vrstev musí dosahovat ve stáří 28 dnů minimálně 50 MPa. Tento požadavek může být snížen o  $L \times 2,5$  MPa, kde  $L$  je obsah čerstvého vzduchu. Takto lze maximálně zredukovat požadavek až o 10 MPa. Každý region má dále vlastní specifikace: Vlámský region se řídí normou SB 250 ve verzi

6



6 Situace vozovky a schéma měřících sestav, 1-6 pozice měřících bodů [25]

7 a), b) Instalace základny čidla a chrániček do MZK, c) opětovné obetonování po přejezdu finišeru ■ 6 Situation of a roadway and scheme of measuring setup; 1-6 measuring points [25] 7 a), b) Installation of a measuring point base and protector tubes in mechanically stabilized earth, c) backfilling of measuring points by finisher



3.1 [20], Valonský region se řídí CCT Qualiroutes [21] a region Brusel se řídí TB 2015 Specifikace pro Brusel [22].

Srovnání vybraných požadavků na směsi využívané v technologii CBK napříč uvedenými zeměmi je uvedeno v tab. 1.

### SOUČASNÁ SITUACE V ČESKÝCH TECHNICKÝCH PŘEDPÍSECH

Shrnutí experimentálních poznatků ze zmíněných studií a náhled do technického přístupu Německa, Rakouska a Belgie můžeme aplikovat při posouzení technických předpisů pro CBK v tuzemském prostředí.

Pro CBK platí v ČR zejména ČSN 73 6123-1 Cementobetonové kryty, TKP kap. 6 – Cementobetonový kryt a příslušná ustanovení ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Pro směsi skupiny cementobetonových krytů CB I je předepsán beton pevnostní třídy minimálně C30/37 a je možné využívat pouze cement CEM I 42,5 v minimální dávce  $350 \text{ kg/m}^3$  pro spodní vrstvu, resp.  $420 \text{ kg/m}^3$  pro horní vrstvu. Měrný povrch cementu podle Blaina může být maximálně  $350 \text{ m}^2/\text{kg}$  a obsah ekvivalentního  $\text{Na}_2\text{O}$  maximálně 0,8 %.

Alit ( $\text{C}_3\text{S}$ ) je hlavní slínkový minerál, který je zodpovědný za rychlý nárůst počátečních pevností a dosahuje značného vývinu hydratačního tepla až  $500 \text{ kJ/kg}$ . Oproti tomu belit ( $\text{C}_2\text{S}$ )

se podílí na vysokých koncových pevnostech, avšak uvolňuje méně hydratačního tepla ( $250 \text{ kJ/kg}$ ) než alit.

Použití čistého portlandského cementu CEM I v kombinaci s jeho vysokou dávkou a požadavkem na vysoké pevnosti betonu vede ke vzniku velmi křehkého betonu, který je náchylný ke vzniku mikrotrhlin zejména v počátečním stadiu rychlého zrání vlivem plastického a autogenního smršťování. Následným cyklickým zatěžováním dopravou, střídáním teplotních gradientů a vlivem prostředí pak mohou dále trhliny propagovat (zvětšovat se, rozšiřovat, propojovat) a životnost CB vozovky se tak může snížit. V trhlinách pak může druhotně vzniknout chemická reakce (např. ASR) v důsledku infiltrace chemikálií do trhlin [1]. Křehkost také snižuje trvanlivost makrotextury (např. striáže), což může mít negativní vliv na trvanlivost protismykových vlastností povrchu vozovky.

### NÁVRH OPATŘENÍ

Cílem opatření je zpomalit proces hydratace, a tím omezit riziko vzniku mikrotrhlin v počátečním stadiu zrání betonu a přispět k prodloužení životnosti CB vozovky. V zahraničí je tendence snižovat zastoupení  $\text{C}_3\text{S}$  a posilovat obsah  $\text{C}_2\text{S}$  za účelem snížení počátečního vývinu hydratačního tepla a docílení požadovaných koncových 28denních pevností. Vzhledem k vývoji technologie výroby cementu a jejích možnostech není tato cesta v podmínkách ČR reálná.

Další možností je ještě větší snížení měrného povrchu cementu, čímž se ovšem ochuzujeme o jeho vaznost a navíc to komplikuje výrobu cementu.

Dobrym řešením se v tomto smyslu jeví použití příměsí, která zpomaluje počáteční hydrataci a zároveň přispívá k dosažení dobrých dlouhodobých pevností. Jako nejvhodnější se ukazuje jemně mletá vysokopecní struska, která vykazuje poměrně vysokou latentní hydraulicitu. Toto řešení ovšem nemá podporu v současné technické legislativě a je potřeba pro jeho využití předpisy adekvátně upravit, zejména:

- v ČSN 73 6123-1 čl. 6.1. tab. 3 připustit použití směsných cementů s vysokopecní struskou,
- v ČSN 73 6123-1 čl. 6.3.2. připustit vysokopecní strusku jako příměs do betonu se započtením do minimální dávky pojiva.

Tomu musí být adekvátně přizpůsobeny i další výše uvedené související předpisy.

Navržené řešení bylo v rámci výzkumného projektu odzkoušeno nejprve v laboratořích a poté byla dohodnuta s ŘSD aplikace na pilotním projektu CBK na dálnici D 137 Přerov – Lipník nad Bečvou. Pro pilotní projekt byla zvolena varianta použití vysokopecní strusky jako příměsí přímo při výrobě betonu v kombinaci s portlandským cementem CEM I. Cement i struska byly vyrobeny zvláště a dávkovány byly přímo na betonárně.

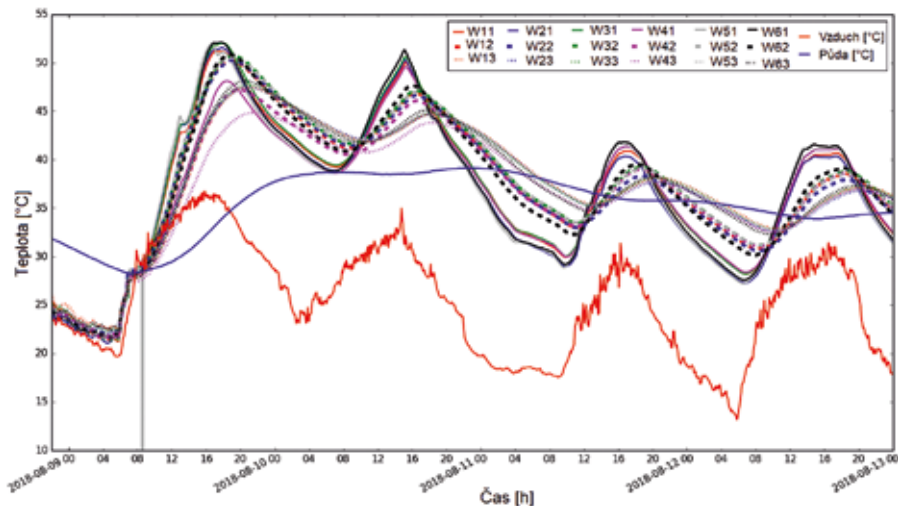


Zpomalení procesu hydratace, které je cílem tohoto projektu a které vede k minimalizaci rizika vzniku mikrotrhlin v rané fázi zrání betonu, má nebo může mít vliv i na vlastní provádění – pokládku CBK pomocí finišeru. Obecně by mělo mít zpomalení procesu hydratace pozitivní vliv na celou technologii, kdy jsou optimální časové intervaly pro jednotlivé technologie prodlouženy. S ohledem na nový vývoj pevností betonu bylo ovšem potřeba tyto časové intervaly znovu nastavit a přizpůsobit tomu celý technologický postup. Zejména se jedná o časovou návaznost technologických operací, jako je vymetání povrchu betonu (povrch s obnaženým kamenivem) a řezání příčných a podélných spár. Jak již bylo uvedeno, měření teplot betonu při jeho hydrataci lze za použití kalibrace odvodit vývoj pevností betonu pomocí tzv. indexu zrání betonu (maturity indexu) [23]. Pro tyto účely bylo provedeno krátkodobé měření teplot v betonu, které probíhalo čtyři až pět dnů, a to dvěma metodami:

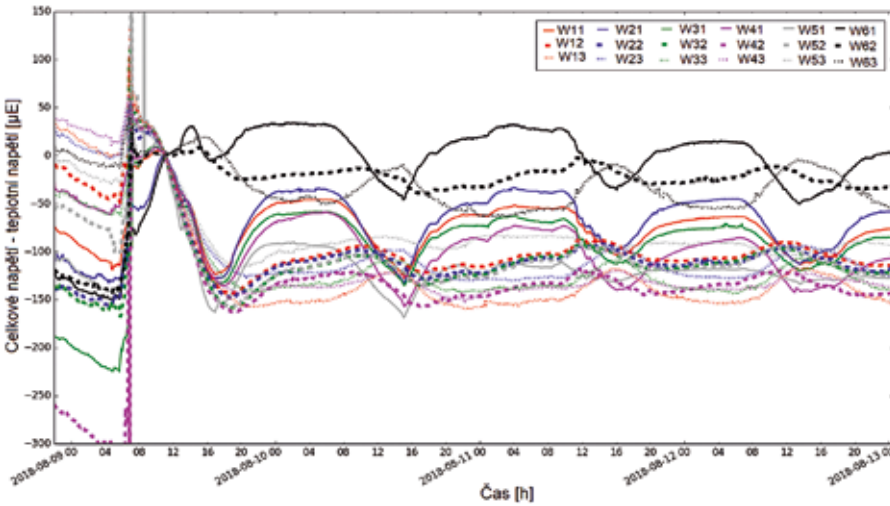
- měření teplot zabudovanými teplotními čidly ve třech úrovních po výšce CB desky, plus jedno čidlo v podloží a jedno čidlo pro měření teploty ovzduší – vše napojeno na ústřednu s přenosem dat,
- měření teplot systémem Concremate (od společnosti Doka [24]) ve dvou alternativách:
  - příložené čidlo s integrovaným systémem přenosu dat s měřením teploty povrchu betonu a ovzduší,
  - čidlo zabudované do betonu s ústřednou s měřením teploty ovzduší a přenosem dat mimo vozovku.

Součástí měření byly i kalibrační testy pevnosti betonu v raných stádiích. Aby bylo možné srovnat chování betonu CBK navrženého podle platných předpisů s inovovaným řešením, bylo provedeno měření na obou variantách. Základní (referenční) varianta byla

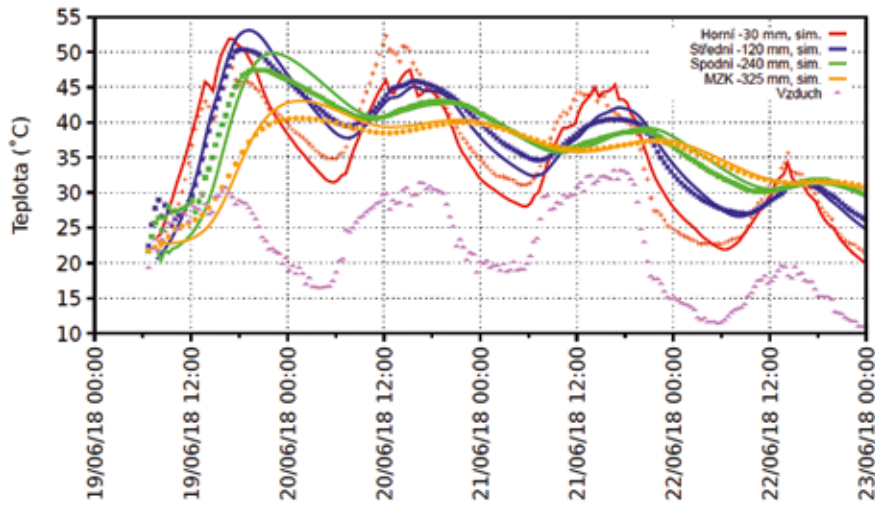
- 8 Vývoj teplot CBK, prostředí a podloží v čase [25]
  - 9 Vývoj napětí zaznamenaného tenzometry v jednotlivých měřících bodech a hloubkách [25]
  - 10 Srovnání vývoje teplot v jednotlivých hloubkách CBK z měření a simulace (plná čára – simulace; tečkovaná – měřené hodnoty)
- 8 Propagation of temperatures in concrete, roadbed and environment in time [25]
- 9 Propagation of thermal strain in measuring points and specific depths [25]
- 10 Comparison of temperature evolution in different depths of concrete pavement between actual measured data and simulation (full line – simulation; dot line – measured values)



8



9



10



## Literatura:

- [1] FERNANDES, I., RIBERIO, M.d.A., BROEKMANS, M., SIMS, I. (Eds.) *Petrographic Atlas: Characterisation of Aggregates Regarding Potential Reactivity to Alkalis: RILEM TC 219-ACS Recommended Guidance AAR-1.2, for Use with the RILEM AAR-1.1 Petrographic Examination Method*. 1. Springer, 2016.
- [2] YANG, K., ZHONG, M., MAGEE, B., YANG, CH., WANG, CH., ZHU, X., ZHANG, Z. Investigation of effects of Portland cement fineness and alkali content on concrete plastic shrinkage cracking. *Construction and Building Materials*. 2017.
- [3] COMBRINCK, R., STEYL, L., BOSHOFF, W. P. Interaction between settlement and shrinkage cracking in plastic concrete. *Construction and Building Materials*. 2018.
- [4] JIANG, CH., YANG, Y., WANG, Y., ZHOU, Y., MA, C. Autogenous shrinkage of high performance concrete containing mineral admixtures under different curing temperatures. *Construction and Building Materials*. 2014.
- [5] BROOKS, J. J. Shrinkage of Concrete. In: *Concrete and Masonry Movements*. Elsevier, 2015.
- [6] SHETTY, M. S. *Concrete technology*. 6th ed. Ram Nagar, New Delhi: S. Chand, 2005. ISBN 8121900034
- [7] MARTINOLA, G., SADOUKI, H., WITTMANN, F. H. Numerical Model for Minimizing Risk of Damage in Repair System. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2001.
- [8] ERDOĞAN, S. T., KOÇAK, T. Ç. Influence of slag fineness on the strength and heat evolution of multiple-clinker blended cements. *Construction and Building Materials*. 2017.
- [9] CHANNAKESHA, CH., BARZEGAR, F., VOYIADJIS, G. Nonlinear FE Analysis of Plain Concrete Pavements with Doweled Joints. *Journal of Transportation Engineering*. 1993.
- [10] WILSON, M. L., KOSMATKA, S. H. *Design and Control of Concrete Mixtures*. 15th ed. Portland Cement Association, 2016.
- [11] ZACH, J., SEDLMAJER, M., HROUDOVA, J., NEVAŘIL, A. Technology of Concrete with Low Generation of Hydration Heat. *Procedia Engineering*. 2013.
- [12] ČSN EN 206+A1. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [13] DIN 1045-2. *Concrete, reinforced and prestressed concrete structures Part 2: Concrete - Specification, performance, production and conformity - Application rules for DIN EN 206-1*. Deutsches Institut für Normung, 2014.
- [14] ZTV BETON-STB 07. *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton*. Germany: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2014.
- [15] RVS 08.06.01. *Beton und Stahlbeton*. Austrian Association for Research on Road, Rail, and Transport, 2013.
- [16] RVS 8S.06.32. *Guidelines and Specifications for Road Construction*. Austrian Association for Research on Road, Rail, and Transport, 2006.
- [17] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada: International Technology Scanning Program*. Washington, Federal Highway Administration. FHWA-PL-07-027 HPIIP/8-07(3.5)EW.
- [18] NBN EN 206. *Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity*. 1st ed. Brusel: Bureau for Standardisation, 2014.
- [19] NBN B 15-001. *Concrete: Specification, performance, production and conformity - National supplement to NBN EN 206-1:2001*. 4th ed. Brusel: Bureau for Standardisation, 2012.
- [20] SB250 3.1. *Standaardbestek 250 versie 3.1*. Brusel: Agentschap wegen & verkeer, b.r.
- [21] CCT QUALIROUTES. *Cahier des Charges Type Qualiroutes*. Wallonie: Service Public de Wallonie - DGO1 - Département des Expertises techniques, 2016.
- [22] TB 2015. *Typebestek 2015: Cahier de charges-type*. Brusel: Brussel Mobiliteit, 2016.
- [23] WEDDING, P. A., CARINO, N. J. The Maturity Method: Theory and Application. *Cement, Concrete and Aggregates*. 1984.
- [24] DOKA. *Concremate: Concrete Intelligence. Real-Time*. DOKA [online]. 2017.
- [25] ŠMILAUER, V., SLÁNSKÝ, B. *Program krátkodobého měření teplot CB krytů na stavbě D1 0137 Přerov – Lipník nad Bečvou*. CZ, 2018.

čidly a současně byla měřena teplota vzduchu a podloží a sluneční radiace. Schéma umístění měřících bodů a instalace tenzometrů je na obr. 6 a 7.

Pro dlouhodobé měření bylo zvoleno šest měřících míst v jedné desce CB vozovky v pomalém jízdním pruhu:

- 4 ks uprostřed okrajů desky,
- 2 ks uprostřed desky (1 ks v podélném a 1 ks v příčném směru).

Takto bude možné dlouhodobě sledovat napětí v CB desce vyvolané zejména teplotními změnami. Příklad naměřených hodnot dlouhodobého monitoringu je uveden na obr. 8 a 9.

Na základě monitoringu pilotního úseku bylo provedeno srovnání vývoje teplot ze simulace a přímo z jednotlivých měřících bodů ve třech různých hloubkách. Vývoj teplot ze simulace poměrně přesně kopíruje teplotu z pilotního úseku, jak lze vidět na obr. 10.

## ZÁVĚR

Podle zjištěných experimentálních poznatků, odborné literatury a nakonec i vlastních výsledků zkoušek můžeme závěrem konstatovat, že zpomalení procesu hydratace v počátečních fázích zrání betonu má pozitivní vliv na snížení rizika vzniku mikrotrhlin na povrchu vozovky, a tedy přispívá k prodloužení životnosti CB vozovek. Laboratorní testování inovovaného návrhu receptur betonu pro CBK s použitím vysokopecní strusky jako příměsi potvrdilo předpoklady a vykazovalo pozitivní výsledky. Provozní ověření nové receptury při pokládce CBK na pilotním projektu ukázalo významné zpomalení procesu zrání betonu, žádné negativní důsledky se neprojeví. Z uvedeného vyplývá, že je potřeba přistoupit k uváděné změně relevantních částí používaných technických předpisů, tak aby bylo možné inovované receptury betonu pro CBK standardně používat.

V rámci výzkumného projektu bylo instalováno do jisté míry unikátní dlouhodobé měření teplot a napětí v betonu CB vozovky, které umožní monitoring v časovém období několika let a bude podávat jistě zajímavé výsledky o chování CB desek vozovky.

Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D.  
Skanska, a. s.  
bohuslav.slansky@skanska.cz



Ing. Richard Dvořák  
Skanska, a. s.  
richard.dvorak@skanska.cz



sledována v červnu 2018, varianta podle inovovaného návrhu v srpnu 2018 a v současné době probíhá kalibrace výsledků měření s výpočetním modelem a vyhodnocování.

## DLOUHODOBÝ MONITORING

Aby bylo možné vyhodnotit dlouhodobé chování CB vozovky, byly na úseku provedeném s inovovanou recepturou instalovány strunové tenzometry s teplotními