

# SILNIČNÍ OBZOR



2019

ISSN 0322-7154 47 320





# Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek - část II.



**Ing. Jiří Hlavatý, Ph.D.**  
ŘSD ČR  
ředitel úseku kontroly kvality staveb



**Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D.**  
Skanska a.s.  
vedoucí technického rozvoje a inovací



**Doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., DSc.**  
ČVUT v Praze  
Fakulta stavební



**Ing. Richard Dvořák**  
Skanska a.s.  
referent technického výzkumu a vývoje

Na základě analýz popsanych v předešlém článku byl za podpory Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD ČR) realizován výzkumný projekt, jehož součástí byl i zkušební úsek vozovky s CBK na stavbě dálnice D1-0137 Přerov - Lipník nad Bečvou. Zde se poprvé v ČR na délce 7 km dálnice použila průměs vysokopecní strusky, zajišťující zpomalení hydratace, poskytující vyšší odolnost betonů proti vzniku raných mikrotrhlin a snižující maximální teploty betonu během tvrdnutí. V tomto článku jsou představeny výsledky základních laboratorních zkoušek z provedeného krátkodobého monitoringu včetně hodnocení chování CBK, které potvrzují výhodnost tohoto řešení.

[Klíčová slova: cementobetonové kryty, zahraniční zkušenosti, trhliny, vysokopecní struska, dálnice D1]

Based on the analysis shown in Part I (see the preceding Road Review issue) the research project was carried out under the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic support. The concrete pavement test at the D1-0137 motorway section (Přerov - Lipník nad Bečvou) formed a part of the project. For the first time in the Czech Republic, at the 7 km long motorway section a blast furnace slag mixture was applied ensuring hydration retardation, higher concrete early microcracks formation resistance and reducing the maximum concrete temperatures during hardening. In the article the basic laboratory tests results including the concrete pavement behaviour evaluation confirming the short-term monitoring assets are shown.

[Keywords: concrete pavement, foreign experience, cracks, blast furnace slag, D1 motorway]

## 1. ZKUŠENOSTI ZE ZAHRANIČÍ

Správnost úvah a analýz autorů popsanych v tomto a předešlém článku lze podpořit i přístupem k cementobetonovým vozovkám v okolních státech s podobnými klimatickými podmínkami – v Německu, Rakousku, Belgii, Nizozemsku a USA.

**Německo** převzalo evropskou normu EN 206-1 [1] v roce 2000 a společně s německou normou DIN 1045-2 [2] se těmito standardy řídí při výstavbě svých CBK. Tak jako u nás je i zde beton určený pro CBK navrhován pro prostředí XF4 a doporučená pevnostní třída je C30/37. Další parametry CBK blíže specifikuje německý technologický pokyn ZTV Beton-StB 2001 [3]. V praxi jsou výhradně využívány směsné nebo hruběji mleté portlandské cementy CEM I 32,5R. Další charakteristiky jsou uvedeny v tab. 1.

**Rakouský** přístup k betonu pro CBK se od německého mírně liší. Požadavky na cementobetonové kryty jsou blíže specifikovány pomocí rakouských norem RVS v sekci 08.06.01 [4], které určují použití směsných cementů CEM II s počátkem tuhnutí nejdříve po dvou hodinách při 20 °C. Požadavky dále rozšiřuje norma RVS 8S.06.32 [5], 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 za ohybu 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. Další charakteristiky jsou rovněž uvedeny v tab. 1.

**Belgie** se dělí na regiony vlámský, valonský a bruselský, stejně má na tři skupiny rozdělené i normativní předpisy. Normativní specifikace pro beton udává norma NBN EN 206 [6] a

doplňk NBN [7]. Belgie neměla problémy s alkalicko-křemičitou reakcí se svým vlastním kamenivem, takže cementy mohou mít až 0,9 % obsahu alkálií a řídí se požadavky dle [6]. Pevnost v tlaku povrchových vrstev CBK musí dosahovat ve stáří 90 dnů minimálně 70 MPa. Tento požadavek může být snížen o  $L \times 2,5$  MPa, kde  $L$  je obsah čerstvého vzduchu v %. Takto lze maximálně zredukovat požadavek až o 10 MPa. Uvedené požadavky je třeba brát v kontextu spojitě vyztuženého betonu, který se v Belgii pro stavbu cementobetonových vozovek převážně používá. Každý region má dále vlastní specifikace: vlámský region se řídí normou SB 250 [8], valonský CCT Qualiroutes [9] a bruselský TB 2015 Specifikace pro Brusel [10].

**Nizozemsko** má se struskou bohaté zkušenosti při výrobě CEM III/B pro konstrukční betony (~70 % strusky). Analýza konstrukčních betonů od roku 1920 ukázala, že CEM III/B betony mají v průměru delší životnost než CEM I, vykazují pomalejší náběhy pevností a nižší penetraci chloridů, vyžadují ovšem delší ošetřování, rychleji karbonatují a mají mírně nižší odolnost ke zmrazovacím cyklům a CHRL [11]. Cementárna ENCI Ijmuiden vyrábí silniční cement VIACEM (CEM III/A 52,5 L), Blaine 400 m<sup>2</sup>/kg, obsah strusky do 45 %.

**USA** zahrnují široké spektrum klimatických podmínek a požadavky na CBK se liší stát od státu, obecně se vyžaduje válcová pevnost 20,68–34,47 MPa [12], tzn. C16/20–C30/37. Klimatickým podmínkám ČR se blíží například stát Minnesota, kde je očekávaná životnost vozovek s CBK 60 let [13]. Minimální množství cementu je 237 kg/m<sup>3</sup> a obsah pojiva min. 314 kg/m<sup>3</sup>, je povoleno přidávat úletový popílek do 30 % a vysokopecní strusku do 35 % [13]. Tyto příměsi se přidávají pro snížení permeability a omezení vzniku alkalicko-křemičité reakce (AKR). Vozovka může být uvedena do provozu po



dosažení jednoho z následujících kritérií: stáří 7 dní, pevnost v tahu za ohybu 2,41 MPa, pevnost v tlaku 20,7 MPa. Jako pojivo se používá cement typu I (CEM I) a I/II (síranovzdorný cement) s max. obsahem  $\text{Na}_2\text{O eq.}$  0,60 %. Obsah vzduchu je požadován  $7,0 \pm 1,5$  %, náboj chloridových iontů ve 28 dnech max. 2500 C, poměr voda/pojivo max. 0,42.

**Tab. 1.** Srovnání hlavních požadavků CBK ve vybraných evropských zemích

AVZEB	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/A-S CEM II/B-S	CEM I 42,5 N LA CEM III/A 42,5 LA	CEM I 42,5
Minimální dávka cementu spodní/horní vrstva [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	320/420	370/400-450	375/425	350/420
Max. měrný povrch cementu dle Blaina [ $\text{m}^2/\text{kg}$ ]	350	350	-	350
Krychelná pevnost v tlaku	60 dnů - 37 MPa	28 dnů - 40 MPa	90 dnů - 60-70 MPa dle vzduchu	28 dnů - 37 MPa
Obsah volného vzduchu [%]	4-7	3,5-5,5/4-6	3-8	4-6

## 2. SOUČASNÁ SITUACE V TECHNICKÝCH PŘEDPISECH PRO BUDOVÁNÍ CBK V ČR

Pro CBK platí v ČR zejména ČSN 73 6123-1 Stavba vozovek - Cementobetonové kryty - Část 1: Provádění a kontrola shody, TKP Kapitola 6 - Cementobetonový kryt a ČSN EN 206+A1:2018 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Pro skupiny cementobetonových krytů CB I je předepsán beton pevnostní třídy min. C 30/37 a je možné využívat pouze čistý portlandský cement CEM I 42,5 v minimální dávce  $350 \text{ kg}/\text{m}^3$  pro spodní vrstvu, resp.  $420 \text{ kg}/\text{m}^3$  pro horní vrstvu. Maximální požadovaný obsah  $\text{C}_3\text{A}$  v cementu je 8 % a počátek tuhnutí minimálně 1,5 hodiny. Jemnost mletí cementu podle Blaina může být max.  $350 \text{ m}^2/\text{kg}$  a max. obsah  $\text{Na}_2\text{O eq.}$  0,8 %.

Porovnáním zkušeností a požadavků předpisů z okolních zemí se ukazuje, že použití čistého portlandského cementu CEM I 42,5 s jeho vysokou dávkou je spíše ojedinělé. Požadavky na rychlý náběh pevností a vysoké 28denní pevnosti betonu vedou obecně ke vzniku křehkého betonu, který je dále náchylný ke vzniku mikrotrhlin v počátečním stádiu rychlého zrání. Příčinou je rychlé chemické smrštění, jehož část se projevuje jako smrštění autogenní. Následným cyklickým zatěžováním dopravou, střídáním teploty, fluktuací vlhkosti či zmrazováním dochází ke spojování mikrotrhlin, zvětšování jejich šířky s nepříznivým vlivem na životnost CBK. V trhlinách pak může druhotně vznikat chemická reakce podobná AKR v důsledku infiltrace chemikálií do trhlin [14]. Křehkost betonu také snižuje trvanlivost makrotextury povrchu vozovky (např. striáže), což má negativní vliv na protismykové vlastnosti.

## 3. NÁVRH OPATŘENÍ – NOVÉ RECEPTURY PRO CBK

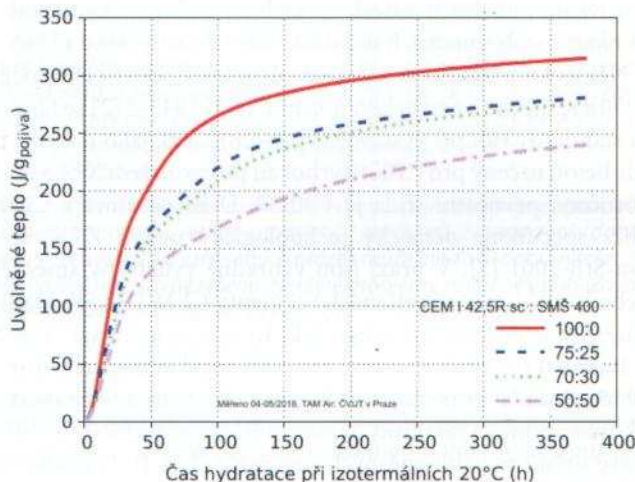
Cílem nově zaváděného opatření je zejména zpomalit proces hydratace a tím omezit rychlost chemického smrštění a riziko vzniku mikrotrhlin v počátečním stádiu zrání betonu. Teore-

ticky by bylo možné snižovat zastoupení  $\text{C}_3\text{S}$  a zvětšit obsah  $\text{C}_2\text{S}$  ve slínku za účelem snížení reaktivity. Vzhledem k vývoji technologie výroby cementu a jejich možností není tato cesta v podmínkách ČR nyní reálná. Další možností by bylo snížení jemnosti mletí cementu, tato varianta ovšem není ekonomická z pohledu výroby cementu, neboť většina ostatních zákazníků požaduje rychlejší náběhy pevností.

Dobrym řešením se v tomto smyslu jeví použití příměsí, která zpomaluje počáteční hydrataci a zároveň přispívá k dosažení dobrých dlouhodobých pevností v kombinaci s portlandským cementem CEM I. Jako nejvhodnější se ukazuje jemně mletá vysokopecní struska, která vykazuje poměrně vysokou latentní hydraulicitu. Toto řešení ovšem nemá podporu v současných technických předpisech pro stavbu CBK v ČR a je potřeba pro jeho využití předpisy adekvátně upravit, zejména:

- v ČSN 73 6123-1, čl. 6.1., tabulka 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 jejího množství do minimální požadované dávky pojiva.

Dávkování příměsí mleté granulované strusky SMŠ 400 bylo nejprve zkoušeno na cementových pastách v izotermálním kalorimetru TAM Air při teplotě  $20^\circ\text{C}$ . Testy probíhaly při konstantním hmotnostním poměru voda/pojivo 0,45. Obr. 1 ukazuje, že náhrada slínku vysokopecní struskou snižuje dle očekávání množství uvolněného hydratačního tepla a reaktivitu směsného pojiva. Struska zároveň působí jako dlouhodobější latentně-hydraulická aktivní příměs.



**Obr. 1** Izotermální kalorimetrie pojiv s příměsí strusky

Další test porovnával smršťující maltové prstence, které byly popsány v minulém čísle Silničního obzoru. Byla použita normová malta s poměrem písek:pojivo 3:1 a sníženým součinitelem voda/pojivo 0,45. Obr. 2 ukazuje deformace a čas porušení čtyř prstenců. U samotného pojiva CEM I 42,5R sc Mokrá dojde k porušení prstenců ve 22 a 31 dnech, u pojiva s 25% náhradou cementu struskou je to přes 60 dní. Stejně tak je vidět pomalejší stlačování ocelového prstence díky tomu, že směsný cement pomaleji hydratuje a při vysychání po 1 dni jsou k dispozici větší kapilární póry způsobující nižší kapilární napětí.



Navržené řešení bylo v rámci výzkumného projektu dále odzkoušeno na betonech v laboratořích a poté dohodnuta s ŘSD ČR realizace pilotního projektu na dálnici D1 0137 Přerov – Lipník nad Bečvou. Pro pilotní projekt byla zvolena varianta použití vysokopecní strusky SMŠ 400 Štramberk jako příměsi při výrobě betonu v kombinaci s portlandským cementem CEM I 42,5R sc Mokrá. Náhrada portlandského cementu struskou se ve všech těstech i realizaci pohybovala v rozmezí 20-30 %.

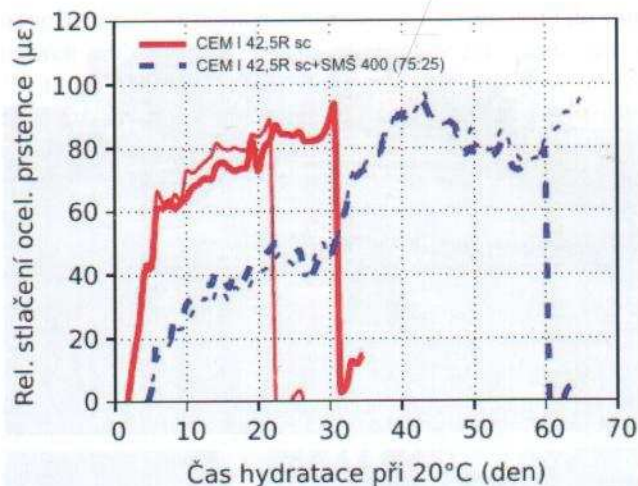
Zpomalení procesu hydratace, které je cílem tohoto projektu a vede k minimalizaci rizika vzniku mikrotrhlin v rané fázi zrání betonu, má nebo může mít vliv i na vlastní provádění, tedy pokládku CBK pomocí finišeru. Obecně by mělo mít zpomalení procesu pozitivní vliv na celou technologii, kdy se optimální časové intervaly pro jednotlivé technologické operace prodlužují a vzniká tak časová rezerva i pro nepředvídané okolnosti. Bylo ovšem potřeba tyto časy znovu nastavit s ohledem na nový vývoj pevností betonu a celý technologický postup tomu přizpůsobit. Zejména se jedná o časovou návaznost technologických operací jako je vymetání povrchu betonu (pro dnes preferovaný povrch CBK s obnaženým kamenivem) a řezání příčných a podélných spár. Jak bylo již uvedeno, měřením teplot betonu při jeho hydrataci lze odvodit vývoj pevností betonu pomocí zralosti (maturity index) [15]. Pro tyto účely bylo provedeno krátkodobé měření teplot v betonu, které probíhalo 4-5 dnů, a to dvěma metodami:

- Měření teplot zabudovanými teplotními čidly ve 3 úrovních po výšce CBK, plus 1 čidlo v podloží a 1 čidlo pro měření teploty ovzduší, vše napojeno na ústřednu s přenosem dat.
- Měření teplot systémem Concremate od společnosti DOKA [16], a to ve 2 alternativách:
  - příložné 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 jeho tuhnutí. Aby bylo možné srovnat chování betonu CBK navrženého podle platných předpisů s inovovaným řešením, bylo provedeno měření pro obě varianty. Základní (referenční) varianta byla sledována v červnu 2018, varianta podle inovovaného návrhu v srpnu 2018.

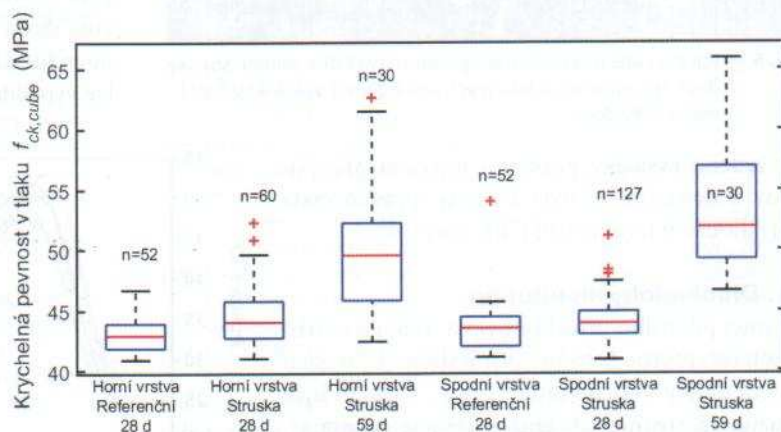
#### 4. DOSAVADNÍ VÝSLEDKY ZKOUŠEK PROVEDENÝCH V RÁMCI PILOTNÍHO PROJEKTU

Při realizaci pilotního projektu jsou prováděny kontrolní zkoušky dle platných technických předpisů a norem doplněné o další zkoušky, které ještě lépe mapují vlastnosti nově navržených betonů. To platí jak pro betony prováděné z referenční receptury betonu se standardním pojiv-

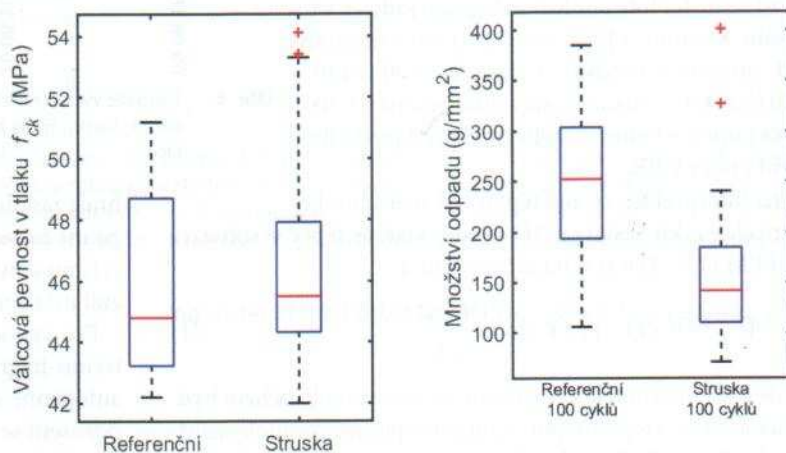


Obr. 2 Průběh deformace na ocelovém prstenci pro malty vyrobené ze dvou pojiv. Vysychání nastává po 1 dni hydratace.

vem CEM I 42,5 R sc Mokrá, tak pro úseky prováděné s použitím nových receptur betonu. Samostatně jsou vyhodnocovány výsledky zkoušek pro spodní a horní vrstvu CBK. Na obr. 3 jsou uvedeny krychelné pevnosti betonu v tlaku, které byly vyrobeny v laboratoři. Obr. 4 ukazuje válcové pevnosti v tlaku a výsledky zkoušky odolnosti betonu vůči CHRL na vzorcích odebraných ze zhotoveného CBK ve stáří 59 dní.



Obr. 3 Krychelné pevnosti betonů v tlaku, samostatně pro horní a dolní vrstvu CBK ve stáří 28 a 59 dnů



Obr. 4 Porovnání válcové pevnosti betonu v tlaku na vývrtech odebraných ze spodní vrstvy CBK (vlevo), odolnost proti CHRL na vývrtech (vpravo)





**Obr. 5** Poloha čidel před betonáží spodní vrstvy CBK s příměsí strusky (nahore), vstavení čidel a jejich poloha před pokládkou horní vrstvy CBK (dole)

Uvedené výsledky potvrzují původní předpoklady a dokazují, že byla zvolena správná cesta k prodloužení trvanlivosti CBK vozovek.

#### 4.1. Dlouhodobý monitoring

V rámci pilotního projektu byl na úseku s inovovanou recepturou betonu s příměsí strusky osazen systém dlouhodobého monitoringu. Celkem bylo použito 18 strunových tenzometrů se zakomponovanými teplotními čidly monitorujících jednu desku CBK rozměru 3,5 × 5 m. Dále se měří teplota vzduchu, teplota podloží a sluneční radiace v intervalu 5 minut. Osy tenzometrů jsou umístěny pod niveletou vozovky v hloubce -50, -140 a -240 mm. Obr. 5 ukazuje stav před betonáží CBK a proces úpravy betonu okolo čidel před pokládkou horní vrstvy CBK.

Pro interpretaci vývoje teplot byl metodou konečných prvků sestaven 2D model vedení tepla v softwaru OOFEM [17]. Ten řeší bilanční rovnici

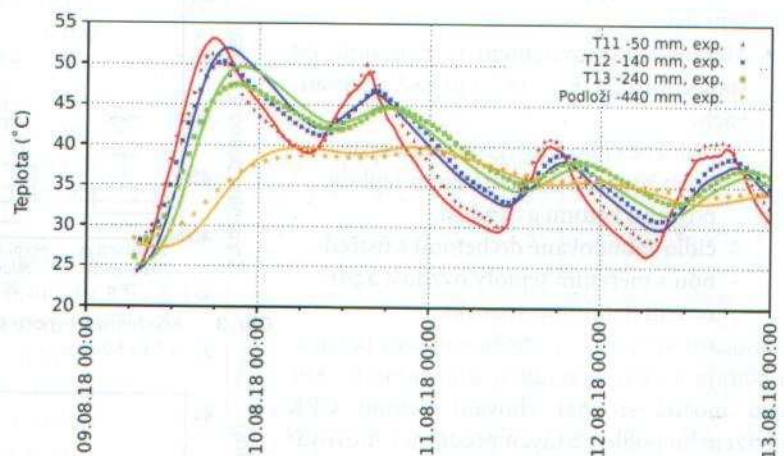
$$-\nabla^T q(x) + \bar{Q}(x,t) = \rho(x)c_v(x) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (1)$$

kde  $q$  je teplotní tok,  $Q$  označuje uvolněné teplo během hydratace a  $T$  značí teplotní pole. Okrajové podmínky úlohy zahrnovaly vliv tepelného toku slunce, vliv proudění vzduchu, vliv záření povrchu a vliv teploty vzduchu. Z pohledu vývoje teplot je nejzajímavější období po betonáží, kdy hydratační teplo

přispívá k ohřívání betonu. Spodní vrstva CBK byla v místě čidel položena 9. 8. 2018 v 6.37, v 7.03 došlo k pokládce horní vrstvy přes čidla. Obr. 6 ukazuje validaci uvedeného modelu vedení tepla s naměřenými hodnotami. Hodnota hydratačního tepla z rovnice (1) byla dosazena z měření izotermálním kalorimetrem na stejném pojivu. Simulace zároveň ukázaly, že použití pouze CEM I 42,5R sc Mokrý za stejných podmínek letní betonáže by vedlo ke zvýšení maximální teploty o dalších 5 °C.

V průběhu 9 měsíců monitoringu byl změřen maximální rozdíl mezi horním a dolním čidlem 8 °C, které dává lineární extrapolací max. 12 °C přes celý CBK tloušťky 290 mm. Tato hodnota je nižší než požaduje TP 170 v rovnici B.4.11, kde vychází pro tuto tloušťku rozdíl 15,8 °C [18].

Měření relativních deformací strunovými tenzometry na vybraných místech desky CBK lze za předpokladu rovinnosti průřezu přepočítat na křivost desky. Obr. 7 ukazuje celkovou křivost bez odečtené teplotní deformace v šesti měřicích lokalitách na desce (K1, K2, K3 měří křivost v podélném směru uprostřed rozpětí desky, K4 a K5 podélnou křivost na krajích desky a K6 příčnou křivost ve středu desky). Pouze místa K4 a K5 ukazují záporné křivosti desky, což jsou okraje desky u příčných spar. Tato malá křivost vznikla během prvního měsíce, patrně v důsledku svislé nesymetrie příčné spáry díky prořezu, kdy smrštění betonu od vysychání zůstává prakticky nulové a teplotní ohřátí vnáší malé excentrické tlakové předpětí. Ostatní monitorovaná místa desky vykazují ustálenou křivost desky do 100  $\mu\text{e}/\text{m}$ , která vzniká nejspíše vysycháním povrchu. Dvojnásobnou integrací této křivosti po délce desky lze vypočítat zvednutí příčné hrany desky o 0,31 mm, což ne-

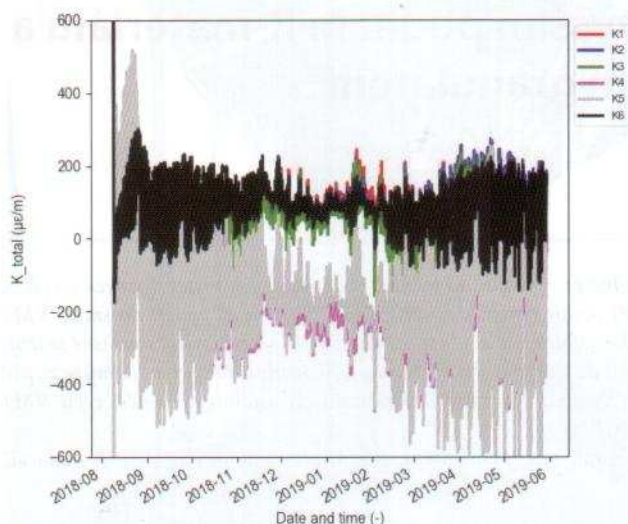


**Obr. 6** Validace vypočtených teplot v průběhu 4 dní po betonáží CBK s příměsí vysokopepnicí strusky. Body značí změřená data ve 4 výškových úrovních, čáry jsou simulace.

hraje zásadní roli. Z křivosti je také patrná fluktuace teplot, kdy zimní měsíce ukazují malé změny teplot v průběhu střídání režimu den/noc. Křivosti středu desky ve všech směrech vykazují ustálenou hodnotu, deska si tak udržuje svůj rovinný tvar.

Pro výpočet napětí desek CBK se nyní testuje sdružený 3D termo-hygro-mechanický model, který uvažuje dotvarování, autogenní smrštění, smrštění při vysychání a možné tahové porušení se vznikem trhlin. Dále se zohledňuje kontaktní působení desky s podložím. Předběžné výsledky ukazují na velký vliv zatížení fluktuující teplotou na deformace a napětí desky.





**Obr. 7** Celkové křivosti monitorované desky CBK v šesti měřících lokalitách bez odečtení vlivu teploty

## 5. ZÁVĚR

Podle zjištěných experimentálních poznatků a odborné literatury můžeme závěrem konstatovat, že zpomalení procesu hydratace v počátečních fázích zrání betonu má pozitivní vliv

## Zdroje

- [1] DIN EN 206-1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 2000
- [2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 Beton, 2001
- [3] ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2014
- [4] RVS 08.06.01: Beton und Stahlbeton. Austrian Association for Research on Road, Rail, and Transport, 2013
- [5] RVS 85.06.32: Betondecken, Deckenherstellung. Österr. Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV), Wien, 1998
- [6] NBN EN 206-1: Concrete: Specification, performance, production and conformity. Brusel, Bureau for Standardisation, 2014
- [7] NBN B 15-001: Concrete: Specification, performance, production and conformity - National supplement to NBN EN 206-1:2001. Brusel, Bureau for Standardisation, 2012
- [8] SB250: Standaardbestek 250 versie 3.1. Brusel. Agentschap wegen & verkeer, 2014
- [9] CCT Qualiroutes: Cahier des Charges Type Qualiroutes. Wallonie : Service Public de Wallonie - DGO1 - Département des Expertises techniques, 2016

## Lektorský komentář

Článek popisuje nové opatření, které zavádí Ředitelství silnic a dálnic ČR k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek. Konkrétně se jedná o použití vysokopecní strusky do betonu. Byly popsány zahraniční zkušenosti s tímto řešením, jeho přínosy a výsledky zkoušek provedených v laboratoři a na úseku vozovky na dálnici. Mimo to se provádí detailní dlouhodobý monitoring chování krytů vozovky. Pro to, aby mohlo být toto řešení běžně uplatněno v praxi, bude ještě potřeba provést úpravu některých technických norem a předpisů, ale není pochyb o tom, že to byl krok správným směrem.

na snížení rizika vzniku mikrotrhlin, jejich spojování do viditelných trhlin a tím přispívá k prodloužení trvanlivosti a životnosti vozovek s CBK. Laboratorní testování inovovaných receptur betonů pro CBK s použitím vysokopecní strusky jako příměsi potvrdilo tyto předpoklady a vykazalo pozitivní výsledky. Provozní ověření nové receptury při pokládce CBK na pilotním projektu D1 Přerov - Lipník nad Bečvou ukázalo významné zpomalení tvrdnutí betonu a neprojevil se žádné negativní efekty. V rámci výzkumného projektu byl instalován do jisté míry unikátní systém pro dlouhodobé měření teplot a deformací v CBK, který umožňuje monitoring v časovém období několika let a průběžně poskytuje velmi zajímavá termo-mechanická data o chování desek CBK před a v průběhu provozu na dálnici. Z výše uvedeného také vyplývá, že je třeba přistoupit ke změně relevantních částí používaných technických předpisů a norem, aby bylo možné nové receptury betonů s dlouhou životností pro CBK standardně používat.

## Poděkování

*Výzkumný projekt byl realizován za podpory Ředitelství silnic a dálnic ČR a je ukázkou velmi dobré spolupráce mezi objednatelem, zhotovitelem a akademickou sférou. Další poděkování patří Technologické agentuře ČR za podporu v rámci řešení projektu číslo TH03020404.*

- [10] TB 2015: Typebestek betreffende wegeniswerken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2016
- [11] R.B. Polder, T.G. Nijland, M.R. de Rooij: Experience with the durability of blast furnace slag cement concrete with high slag content (CEM III/B) in the Netherlands since the 1920's, zpráva TNO, 2013.
- [12] Pavement Tools Consortium: <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/testing/cement-tests/compressive-strength/>
- [13] R.J. Rohne: Sixty-Year Design Concrete Pavement-Performance Model Development: MnROAD Cell 53 Construction Report, 2009
- [14] Petrographic Atlas: Characterisation of Aggregates Regarding Potential Reactivity to Alkalis: RILEM TC 219-ACS Recommended Guidance AAR-1.2, I. Fernandes et al. (ed.), Springer, 2016
- [15] N. Carino: The Maturity Method: Theory and Application, Cement, Concrete and Aggregates 6(2), 61-73, 1984
- [16] Concremote: Concrete Intelligence. Real-Time. DOKA, 2017
- [17] B. Patzák. OOFEM - an object-oriented simulation tool for advanced modeling of materials and structures. Acta Polytechnica, 52(6):59-66, 2012
- [18] TP 170. Navrhování vozovek pozemních komunikací, Ministerstvo dopravy České republiky, 2006

**Ing. Josef Stryk, Ph.D., Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.**