

SILNIČNÍ OBZOR



2019

ISSN 0322-7154 47 320



Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek - část I.



Ing. Jiří Hlavatý, Ph.D.
Ředitelství silnic a dálnic 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

Cementobetonové kryty (CBK) vozovek jsou spolehlivým technickým a historicky ověřeným řešením pro vysoce zatížené silnice a dálnice. Nejen odolnost proti tvorbě trvalých deformací (vyjetým kolejm), ale i životnost CBK a jejich údržba hrají klíčovou roli při posouzení ekonomické výhodnosti, plánování oprav, uzavírek, spotřeby a recyklace materiálů. Monitoring výskytu povrchových trhlin prováděný ŘSD ČR ukazuje na jejich rozvoj po 10-15 letech provozu a potřebu jejich minimalizace s cílem prodloužit trvanlivost vozovky. Klíčovou vlastností dlouho sloužících úseků CBK bez poruch se ukazuje použití pojiv s pomalým náběhem pevnosti, které umožňuje minimalizovat riziko vzniku mikrotrhlin již v počátečním stadiu. Článek je rozdělen do dvou částí, tato první část shrnuje závěry diagnostiky vozovek s CBK a analýzu příčin jejich nižší trvanlivosti. Druhá část bude zveřejněna v příštím čísle časopisu Silniční obzor.

[Klíčová slova: cementobetonové kryty, trhliny, diagnostika, příčiny trhlin]

For high-loaded roads and motorways concrete pavements appear a reliable and historically proved pavement construction technology. Not only resistance to permanent deformations (rutting), but also lifespan and maintenance play a key role in assessing economic benefits, planning repairs, closures, consumption and recycling of materials. Surface cracks monitoring as carried out by the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic shows their development after 10-15 years of age and the need for their mitigation in order to extend their service lives. A key feature of long-serving concrete pavements sections is the use of slow-hardening binders to minimize the microcracks appearance at an early stage risks. In the first part of the article findings of diagnostics and analysis causes of a lower durability are shown.

[Keywords: concrete road pavement, cracks, diagnostics, causes]

1. ÚVOD

Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) se v poslední době intenzivně zabývá sledováním stavu CBK na dálnicích a vyhodnocením jejich zbytkové životnosti. Snahou je analyzovat současný stav a hledat opatření k prodloužení jejich životnosti. V roce 2015 vznikla na ŘSD pracovní skupina pro ověření životnosti CBK, která monitoruje stav a vývoj poruch, navrhuje metody ošetřování, porovnává poznatky se zahraničím, navrhuje provádění diagnostiky vybraných úseků a doporučuje technologické změny ve výstavbě CBK [1].

Historicky první zdokumentovaný CBK ve světě existuje z roku 1891, kdy stavebník G. Bartholomew v Bellefontaine, Ohio, musel složit kauci 5 000 \$ na prokázání jeho životnosti alespoň 5 let. Většina tohoto krytu s malými opravami existuje dodnes. Na výrobu CBK se v historii používaly betony z různých cementů (belitické, alitické, s různou reaktivitou a jemností mletí), s minerálními příměsmi (vysokopecní struska, úletový popílek), třídou betonu ležící v rozmezí obvykle C20/25-C35/45 a různými způsoby ošetřování [2-6]. Tyto historické zkušenosti poskytují cenné informace o chování a poruchách CBK a nabízí široké pole pro volbu materiálů s prodlouženou trvanlivostí. Mezi velmocí provozující nepřekryté CBK patří nyní USA s 95 800 km, Německo s 4 700 km a Rakousko s 1 300 km těchto vozovek [7-8].

Návrhové období CBK se standardně pohybuje mezi 20–40 lety, a to v závislosti na podmínkách a zkušenostech jednotlivých zemí: Rakousko uvádí 30 let, Německo 30 let, Švýcarsko >20 let, Francie 30 let, Holandsko 30-40 let, Česko 25 let [9-10]. Životnost CBK se očekává minimálně v délce návrhového období za předpokladu běžné údržby a oprav. Český ka-

talog poruch vozovek s CBK uvádí 62 typů poruch [11], kde rozpad betonu patří mezi nejhorší poruchy bez možnosti trvanlivé opravy. Projevem rozpadání betonu jsou obvykle dobře viditelné a postupující trhliny.

CBK jsou obecně vystaveny náročnému klimatickému prostředí s cyklickými vlivy mrazu, vlhkosti, teplot, chemických rozmrazovacích látek, zatížení dopravou atd. Jedná se o spolupůsobení mnoha fyzikálně-chemických mechanismů a jsou stanovena základní smluvní kritéria pro požadované vlastnosti materiálů a konstrukcí v dané zemi (například typ a třída cementu, tlaková 28denní pevnost betonu, tah za ohybu, míra provzdušnění, reaktivnost kameniva, tloušťky vrstev, kotvení, doba řezání spár, limitní teploty vzduchu při betonáži). Beton však má vykazovat další žádané vlastnosti, které se standardně neměří a nekontrolují, zejména:

- nízké autogenní smrštění,
- vyšší dotvarování,
- odolnost betonu a pojiv proti vzniku a šíření trhlin během tvrdnutí,
- vyšší duktilita (nižší křehkost) betonů.

Trendy posledních desetiletí diktované požadavky na rychlost výstavby vedou ke zvyšování pevností betonů a zejména aplikací cementů s vyšší rychlostí hydratace a rychlejším nárůstem počátečních pevností, které mají negativní dopad na výše zmíněné další požadované vlastnosti [4]. Volba typu cementu a složení betonu jsou tak nakonec kompromisy mezi požadovanými vlastnostmi; betony nízkých pevností se budou více rozdrobovat účinky mrazu a chemických rozmrazovacích látek, naopak betony vysokých pevností a betony s rychlým náběhem pevností budou trpět na křehké chování

se vznikem mikrotrhlin během hydratace a jejich spojováním do viditelných trhlin během provozu. Prodloužení životnosti lze dosáhnout tím, že se vhodným návrhem receptury pro CBK vybalancují uvedené protichůdné požadavky (normové i nenormové) s cílem dosažení co nejlepších užžitných vlastností.

2. DIAGNOSTIKA – HODNOCENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU CBK

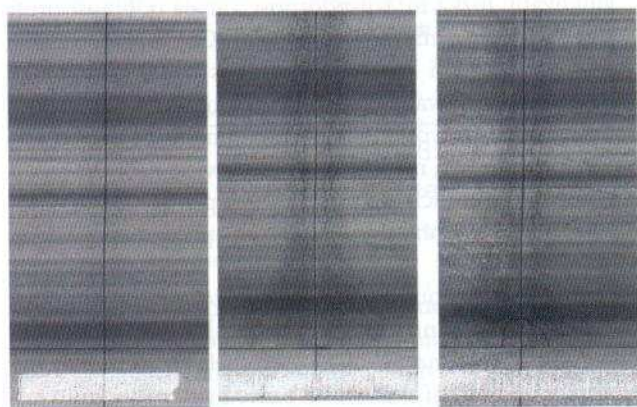
Příkazem generálního ředitele ŘSD ČR 26/2015 vznikla pracovní skupina pro ověření životnosti CBK tvořená zaměstnanci ŘSD ČR, externími pracovníky a přizvanými poradci. Velkým tématem je vznik povrchových trhlin CBK, které mohou mít různé příčiny, např. alkalicko-křemičitou reakci, siraňovou korozi, bobtnání jílovitých částic, smršštění pojiv.

Pro účely mapování stavu povrchových trhlin byla proto zavedena metodika pro vyhodnocování pomocí LCMS (laser crack measurement system) s inspirací v Německu. Celková délka pasportovaných úseků s CBK činí 876,97 pruhokilometrů; monitorují se CBK na Pražském okruhu mezi napojeními D1 a D6, D1 Vyškov-Říkovice, D5 Sulkov-Rozvadov, přibližně polovina délky D11, D35 a D1 na úseku Olomouc-Ostava a další kratší úseky dálnic. Měřicí vozidlo snímá dvoumetrové snímky, které jsou dále strojově vyhodnocovány na stav povrchových trhlin. Pro vyhodnocení se používá stupnice:

- 0 - úsek bez viditelných trhlin,
- 1 - patrné vlasové trhlinky,
- 2 - trhliny do šíře cca 0,4 mm stále bez rozpadu betonu,
- 3 - viditelný rozpad betonu, zejména na spárách.

Obr. 1 ukazuje charakteristický stav povrchu CBK pro stupně 1, 2 a 3. Stupně stavu trhlin slouží pro stanovení vhodných zásahů, například impregnace povrchu CBK, obnova těsnění spár, diagnostika výskytu rozpínavých reakcí či překrytí CBK mikrokobercem. Detailní postupy jsou popsány v metodice „Metodika údržby cementobetonového krytu s cílem prodloužení jeho životnosti“ vydané ŘSD ČR v roce 2017. Stupně stavu trhlin a doprovodné fotografie jsou ukládány do systému CleveRA, který umožňuje vizualizaci, průměrování na 10 a 50metrové úseky, či vyhodnocování progresu poškození jednotlivých úseků.

Celková aktuální statistika výskytu trhlin na sledovaných úsecích vozovek je uvedena na obr. 2. Největší zhoršení stavu



Obr. 1 Charakteristický stav povrchových trhlin pro stupně 1, 2 a 3 (číslováno zleva doprava)



Obr. 2 Celkové vyhodnocení sledovaných úseků CBK

povrchových trhlin se odehrává mezi 10-15 lety stáří vozovky, kdy již uplynula záruční doba a náklady, spojené s opravami jdou k tíži vlastníka vozovky. Navrhovaná opatření k prodloužení životnosti se tak projeví nejpravděpodobněji až po 10-15 letech a jejich efekt lze odvozovat pouze nepřímou ze zrychlených testů, historických zkušeností, pohledem do mikrostruktur materiálů, korelací s krátkodobými testy či extrapolací různými modely.

3 ŽIVOTNOST CBK A ZMĚNY V TECHNOLOGII PROVÁDĚNÍ

Při stavbě CBK se používají cementy a technologie poplatné své době. Například v roce 1920 obsahovaly portlandské cementy okolo 20 % C₃S, jemnost mletí byla okolo 220 m²/kg a vodní součinitel betonů byl v rozmezí 0,56-0,90 [4]. Od roku cca 1970 používáme v Česku na CBK výhradně portlandské cementy s obsahem C₃S 59 až 70 %, s jemností mletí 280-330 m²/kg a pro přípravu betonu pak vodní součinitel běžně 0,40-0,46 [5].

Jako úspěšná referenční stavba z hlediska trvanlivosti materiálu může posloužit původní dálnice D1, která byla v úseku Praha-Brno postupně otevřena v letech 1971-1980. Použila se zde technologie jednovrstvého CBK tloušťky 240 mm, jenž byl uložen na asfaltové mezivrstvě tloušťky 40 mm, ta pak spočívala na podkladní vrstvě zeminy stabilizované cementem o mocnosti 240 mm, viz obr. 3. CBK se na většině úseků vyměňuje po více než 40 letech provozu, dávno za jeho původní návrhovou životností.

Hlavním neduhem staré D1 (i ostatních CBK té doby) byla absence kluzných trnů v příčných spárách CBK, což díky zvyšující se intenzitě dopravy postupně vedlo k vytvoření schůdků na spárách vysokých až 30 mm [12]. Z pohledu betonu jako materiálu však většina úseků fungovala bez výskytu většího rozpadu betonu. Mezi další úspěšné CBK z hlediska trvanlivosti patří:

- dálnice A11 Berlín-Štětín, křížení Uckermark, 4 km, provoz 1936-2013, 77 let,
- silnice A18 Berlín-Wroclav, otevřena 1938, před rekonstrukcí, 81 let,
- dálnice A1 Vídeň-Salzburg v Rakousku, 1961-2003, 42 let [10],
- dálnice ve státu Washington, USA, kde ve stáří 40 let je bez větších oprav 75 % z 3 700 pruhokm CBK, 21 % je zbroušeno a 4 % již překryto asfaltovou vrstvou [3].



Obr. 3 Původní CBK na dálnici D1 km 34-41 (Ostředek-Šternov), uvedení do provozu 1977, demolice a foto 2017

Tyto příklady demonstrují, že CBK při použití správných materiálů a technologií může snadno dosáhnout životnosti přes 40 let.

S otevřením hranic po roce 1990 nastalo přejímání zkušeností sousedních vyspělých států s výstavbou CBK, zejména Německa a Rakouska, došlo též k privatizaci cementáren a stavebních podniků, k nárůstu dopravního zatížení, a dále k celé řadě dalších změn od normových předpisů až po technologie, jež ovlivňují životnost CBK. Jsou to například:

- nasazení dvouvrstvé technologie betonáže od roku 1995,
- osazování desek kluznými trny a kotvami,
- změna materiálu pro ošetřování čerstvého povrchu betonu proti odparu vody,
- zavedení povrchu s obnaženým kamenivem,
- zvýšení množství cementu v horní vrstvě CBK pro povrchy s obnaženým kamenivem z 350-360 na 400-430 kg/m³,
- upuštění od impregnace povrchu CBK lněnou fermeží,
- zvýšená rychlost výstavby a penalizace za nedodržení termínů. S tím obecně souvisí nevhodná, avšak z hlediska úspory času vynucená pokládka betonu i během horkých letních dnů,
- přechod na suchou technologii výroby cementu, změna mletí cementu, vyšší míra používání alternativních paliv při jejich výrobě.

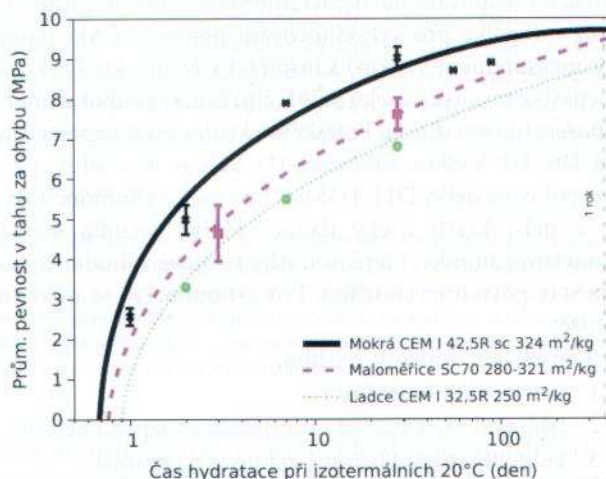
Vliv těchto změn na životnost CBK lze obtížně samostatně kvantifikovat, lze však porovnávat změny na referenčních stavbách, kde známe jejich dlouhodobé chování. Je tak možné porovnat například nárůsty pevností cementů na normových maltách, kde jsou zkoušky prováděny stále stejným způsobem.

Změny v nárůstu pevností cementů lze demonstrovat na úseku D1 Ostředek-Šternov, který byl poprvé otevřen v roce 1977 a modernizován jako úsek 04 v letech 2017-2018. Použité cementy byly nejdříve SC70 Maloměřice a následně Mokrý CEM I 42,5 R sc. Protože změřená data pevností cementů jsou diskrétní, lze provést jejich interpolaci a extrapolaci pomocí stupně hydratace α . Stupeň hydratace byl určen přímo z izotermální kalorimetrie na cementu z Mokré, v případě maloměřického cementu SC70 se použila hydratace podobného

hrubšího cementu s jemností mletí 250 m²/kg (Ladce CEM I 32,5 R). Výsledný empirický vztah určuje vývoj pevnosti v závislosti na α [13]:

$$f_t(\alpha) = f_t(1) \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{0t}}{1 - \alpha_{0t}} \right)^b \quad (1)$$

kde parametry jsou zkalibrovány jako $\alpha_{0t} \in \langle 0,12; 0,20 \rangle$, $b=0,6$, $f_t(1) \in \langle 10,8; 11,5 \rangle$. Obr. 4 ukazuje, že současný cement CEM I 42,5 R sc Mokrý má podstatně rychlejší náběhy pevnosti; 2 dny odpovídají tehdejšímu 3 dnům, 7 dní tehdejšímu 28 dnům. Rychlejší nárůsty pevnosti mají svoje opodstatnění při výrobě prefabrikovaných a předpínaných konstrukcí, pro CBK jsou nevhodné díky vytváření mikrotrhlin, nižšímu dotvarování a nižší odolnosti ke vzniku trhlin.



Obr. 4 Nárůst pevnosti v tahu za ohybu na vybraných cementech

4 PŘÍČINY PORUCH

Katalog poruch vozovek s CBK uvádí 62 typů poruch, které mají různé příčiny [11]. Projevy těchto poruch lze nalézt na dvou úrovních:

- poruchy na úrovni konstrukce - vertikální posuny desek (schůdky), rozlomení a vystřelení desky, ulomené rohy, pumpování desky, chybné uložení kotev, trhliny prostupující celou tloušťkou desky, nefunkční těsnění spár atd.,
- poruchy na úrovni materiálu - povrchové trhliny, rozpad a odlupování betonu, jamky, alkalicko-křemičitá reakce kameniva, cyklická únava, velké autogenní smrštění, trhlínkování, nízká mrazuvzdornost a malá odolnost proti chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL) atd.

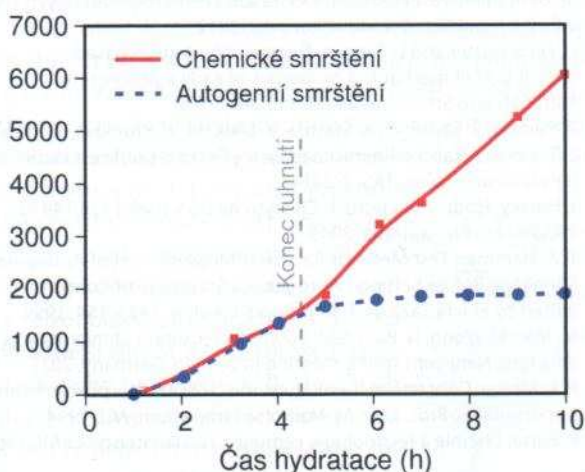
Poruchy na úrovni konstrukce se dnes podařilo do velké míry zvládnout, chování konstrukcí je poměrně dobře fyzikálně popsáno a makroskopicky prozkoumáno. Možných příčin poruch na úrovni materiálu je daleko více, neboť se jedná o kombinaci přírodních materiálů s jejich přirozenou variabilitou. Pro ilustraci je níže uvedeno několik příkladů poruch na úrovni materiálu.

Jeden názorový proud akcentoval alkalicko-křemičitou reakci (AKR) jako příčinu trhlin na CBK [14]. AKR byla skutečně diagnostikována na několika úsecích D11. Německo má s projevy AKR bohatší zkušenosti, proto bylo rozhodnuto nechat odebrat vzorky s povrchovými trhlinami ze čtyř úseků CBK a dle předpisu TP B-StB „AKR-Potenzial und Dauerhaf-

tigkeit von Beton“ je podrobit cyklickému zatěžování zmrazováním, vysušováním a saturováním po dobu 210 dní (9 cyklů). Konkrétně se jednalo o vzorky z D1 km 214, D1 km 236, D5 km 139 a D35 km 290. Závěr byl pro mnohé překvapivý – téměř na všech vzorcích se našlo malé množství AKR gelů, jejich množství bylo však natolik malé, že samo o sobě nemohlo vést k destruktivní expanzi betonu, která navíc ležela bezpečně pod limitní hodnotou expanze 0,6 mm/m v cyklických testech. Povrchové trhliny na sledovaných úsecích, odkud byly odebrány tyto vzorky, tedy nepochází primárně z AKR.

Detailnější diagnostika byla dříve provedena na D5 km 128-131 [15]. Jako hlavní příčina vzniku trhlin bylo uvedeno nevhodné kamenivo, které obsahovalo velké množství kaolínu a způsobovalo téměř vratnou fyzikální délkovou expanzi až 1,5 mm/m vlivem absorpce/desorpce vody. Dále byl nalezen ve zvýšené míře pyrit i přítomnost reaktivních křemičitých složek [15]. Pro výstavbu D5 byl použit silniční cement z Maloměřic, který dříve prokázal výbornou trvanlivost na D1 Mirošovice-Kývalka.

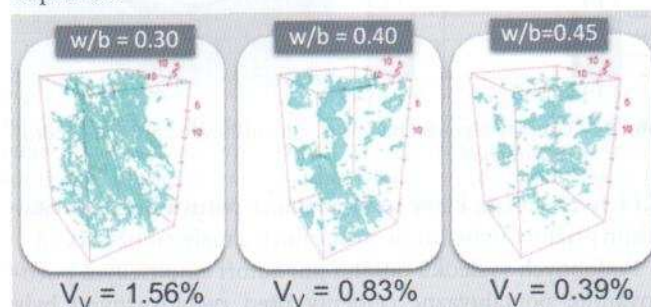
Další názorový proud poukazuje na objemové změny vlivem chemického smrštění, které při plné hydrataci dosahuje hodnot okolo 8,5 % obj., tj. 6,0 ml / 100 g cementu. Makroskopicky měřené autogenní smrštění vzniká jen jako část chemického smrštění, neboť tuhá mikrostruktura brání volnému smršťování. Příklad chemického a autogenního smrštění je uveden na obr. 5 [16]. Rozdíl po 5 hodinách po konci tuhnutí ukazuje přenesení části deformace na pevnou část mikrostruktury cementové pasty. To vytváří zejména tlakové napětí v mikrostruktuře díky povrchovému napětí vody a tvorbě menisků. Rychlost chemického smrštění tak vnáší napětí a roli hraje jeho relaxace; při rychlém autogenním smrštění dochází v mikrostruktuře namísto relaxace napětí ke vzniku okem neviditelných mikrotrhlin.



Obr. 5 Autogenní a chemické délkové smrštění cementové pasty, vodní součinitel 0,40 [16]

Na specifika rychletvrdnoucích cementů, vzniku a rozvoje mikrotrhlin je poukazováno již zhruba od roku 1950 [4]. V posledních letech jsme schopni podívat se pomocí mikrotomografu i na mikrotrhliny vznikající právě během hydratace. Obr. 6 ukazuje zvyšující se množství mikrotrhlin s klesajícím vodním součinitelem, jinými slovy s rostoucí pevností [17].

Z provedené studie dále vyplynulo, že přídavek mikrosiliky vede k delším mikrotrhlinám, naopak vysokopepční struska ke kratším [17]. Vnější vysychání vystavuje mikrostrukturu ještě větším napětím; například snížení relativní vlhkosti na 50 % vede k vyprázdnění pórů větších než ~3 nm a ke vzniku kapilárního napětí ~100 MPa dle Kelvin-Laplaceovy rovnice. Z pohledu mechaniky zatížení touto změnou vlhkosti vystavuje beton většímu namáhání než zatížení například dopravou.



Obr. 6 Mikrotrhliny v cementové maltě po 14 dnech zrání v uzavřených ampulích, CEM I 52,5 R. Rozměry mikrostruktur jsou 21x21x30 mm, součinitel voda/pojivo 0,30-0,45 [17]

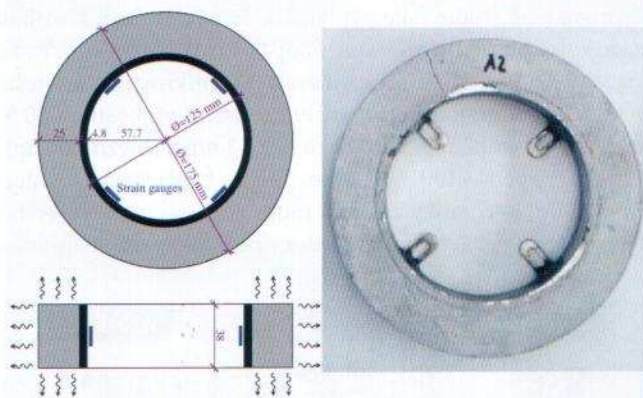
P. K. Mehta představil v roce 1994 názor, že mikrotrhliny mají tendenci růst během cyklických změn teplot či vlhkosti do viditelných trhlin, které představují vstupní bránu pro další degradační procesy, zejména pro vodu a alkálie [18]. Vznikající alkalicko-křemičité gely jsou často až následkem, nikoliv příčinou vzniku trhlin. Z původně kompaktního a pevného betonu se tak stává beton porušený viditelnými trhlinami, který se rozpadá. Z tohoto pohledu je třeba minimalizovat mikrotrhliny vznikající během hydratace i při vysychání.

4.1 Odolnost pojiv ke vzniku trhlin

Otázka vzniku mikrotrhlin a jejich spojování do viditelných trhlin vedly k návrhu experimentů v omezeném (vázaném) smršťování. Tyto testy jsou prováděny od roku 1942 na pastách, maltách a betonech [4], později normovány např. ASTM C1581 či AASHTO T334. Testy představují reálné podmínky zatížení materiálu vysycháním během tvrdnutí. Výhodou těchto testů je snadné určení doby vzniku první viditelné trhliny. Z pohledu fyziky zahrnují tyto testy kombinaci následujících procesů během tuhnutí a tvrdnutí:

- plastické a autogenní smrštění,
- smrštění při vysychání, které je zahájeno obvykle ve stáří vzorku 24 hodin,
- nárůst tahové pevnosti, modulu pružnosti a lomové energie,
- vliv dotvarování včetně stárnutí materiálu.

V roce 1943 bylo pomocí prstenců zkoumáno 28 cementů s variabilním množstvím Na_2O eq., jemností mletí a složením slínku. Po 53 letech byl vyhodnocen stav povrchových trhlin na betonových panelech [4]. Dle očekávání bylo nejlepší výsledky dosaženo s použitím nejhruběji mletého cementu s nízkým obsahem alkálií 0,25 % Na_2O eq., který vykazoval nejdelší dobu do porušení na prstenci. Tento beton měl pomalý nárůst tlakové válcové pevnosti; 17 MPa v 7 dnech, 27 MPa ve 28 dnech a 33 MPa v 91 dnech. Nejvíce trhlin naopak vykazoval beton z cementu s vysokou jemností mletí a



Obr. 5 Geometrie použitého smršťujícího maltového prstence a porušení trhlinou

1,14 % $\text{Na}_2\text{O eq.}$, který se na prstenci porušil nejdříve. Stav trhlin příznivě ovlivňovalo hrubé mletí a malé množství C_3A .

Podobných výsledků dosáhli jiní autoři empirickým pozorováním; pomaluvazné cementy před rychlovaznými byly preferovány již v roce 1936 při výstavbě německých říšských dálnic [2]. J. Lemish v roce 1969 poznamenal na základě analýz degradace CBK ve státu Iowa, že „betony s pomalým nárůstem pevnosti vykazují dobrou funkci“ [4]. Prof. R. Bárta píše o silničních cementech v roce 1961 [19]: „Velké počáteční pevnosti však nejsou výhodné, neboť znamenají náchylnost ke vzniku trhlinek“. Zajímavostí je, že prstence se v roce 1970 používaly přímo na stavbě D1 pro ověření reaktivity cementu.

Zdroje

- [1] J. Hlavatý: Hodnocení aktuálního stavu CBK v ČR, úvodní přednáška na konferenci Betonové vozovky 2018, Praha, 2018
- [2] Deutscher Zement-Bund, Betonstrassenbau in Deutschland, 1936
- [3] S. T. Muench, L. Pierce, J. Uhlmeyer a K. Anderson: A Brief History of Long-Life WSDOT Concrete Pavements: Washington State Department of Transportation, 2010
- [4] R. W. Burrows, The visible and invisible cracking of concrete, ACI, 1998
- [5] I. Racek: Vozovkový beton 1974-1975, závěrečná zpráva laboratoře o kontrolních zkouškách vozovkového betonu na stavbě dálnice D1 - úseku Hvězdovnice - Ostředek - Šternov, km 29,8-43,7, SSŽ n.p., 1976
- [6] R.J. Rohne: Sixty-Year Design Concrete Pavement-Performance Model Development: MnROAD Cell 53 Construction Report, Maplewood, Minnesota, 2009
- [7] P. Robl: Výhody cementobetonových vozovek, Inžinierske stavby 06/2011
- [8] FHA, US: Public road length - 2015, 2016. <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2015/hm12.cfm>
- [9] K. Pospíšil a J. Stryk: Cementobetonové kryty jako alternativa první volby dálnic, Betonové vozovky, 2007.
- [10] K. Hall, D. Dawood, V. Sunel, R. Tally a e. Al.: Long-life concrete pavements in Europe and Canada, Federal Highway Administration (FHWA), 2007
- [11] TP62. Katalog poruch vozovek s cementobetonovým krytem, Centrum dopravního výzkumu v.v.i., 2010.
- [12] M. Birnbaumová: Zkušenosti s výstavbou cementobetonových krytů v České republice, Betonové vozovky, 2012
- [13] G. De Schutter and L. Taerwe: Degree of hydration-based description of mechanical properties of early age concrete, Materials and Structures 29 (7), 335-344, 1996
- [14] Z. Pertold, Š. Šachlová, A. Šťastná, V. Bílek ml., K. Krutilová, V. Bílek st., L. Topolář: Alkalicko-křemičitá reakce v České republice a možnosti její eliminace, Beton TKS, 2/2014
- [15] J. Horský: Hodnocení poruch CB krytů na D5 v úseku 128,144 až 130,500 km Pravá strana, 2009
- [16] T. A. Hammer: Test Methods for Linear Measurement of Autogenous Shrinkage Before Setting, Autogenous Shrinkage of Concrete, edited by Ei-ichi Tazawa, E & FN Spon, London, 143 - 154, 1999.
- [17] M. Mac, H. Wong, N. Buenfeld: 3D characterisation of microcracks in concrete, Nanocem spring meeting in Leimen, Germany, 2017
- [18] P. K. Mehta: Concrete technology at the crossroads - problems and opportunities, Proc. Of V. M. Malhotra symposium, ACI, 1994
- [19] R. Bárta, Chemie a technologie cementu, Nakladatelství ČSAV, 1961

Lektorský komentář

Článek podrobně rozebírá aktuální stav a příčiny, které mohou vést k nižší životnosti cementobetonových krytů vozovek a uvádí další možnosti jak pohlídat dosažení jeho požadovaných parametrů, zejména vyšší životnost. Mimo omezení alkálií v betonu a použití nereaktivních kombinací kameniva do betonu, které ve vztahu k omezení rizika poškození betonu vlivem rozpínavých reakcí uvádí doporučení RILEM TC 219-ACS z roku 2016, jsou zde uvedeny upřesňující požadavky na použitý cement a provádění jeho zkoušek. Konkrétní opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek budou uvedeny v pokračování tohoto článku, které bude zveřejněno v příštím čísle.

Povrch CBK byl v minulosti často ošetřován proti nadměrnému odparu vody, k zamezení vzniku smršťovacích trhlin (zakrytí, vrstva písku, postřiky). Účinnost tohoto opatření je vždy menší než 100 %, u dnešních moderních postřiků a dávkování se často pohybuje okolo 50 %. Smršťující prstence tak napodobují nejhorší stav bezbariérového vysychání za konstantní teploty.

5 DÍLČÍ ZÁVĚR

Výše uvedené závěry z diagnostiky CBK a analýza příčin vedou k závěru, že jednou z významných příčin nižší trvanlivosti CBK je vznik mikrotrhlin v raném stádiu hydratace betonu způsobený rychlým nárůstem pevnosti. Je tedy potřeba zaměřit se na toto počáteční chování betonu, aby došlo k minimalizaci rizika vzniku mikrotrhlin. V pokračování článku, které bude zveřejněno v příštím čísle časopisu Silniční obzor, uvedeme návrhy opatření, která toto riziko eliminují, popíšeme pilotní projekt na D1, kde byla tato opatření realizována a unikátní monitoring CBK, který byl v rámci tohoto projektu prováděn.

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 TE01020168.

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