

ZVÝŠENÍ TRVANLIVOSTI CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ OMEZENÍM Vlivu ALKALICKO-KŘEMIČITÉ REAKCE

Tomáš Táborský, Kateřina Jiroušková

Současné hodnocení odolnosti betonu vůči alkalicko-křemičité reakci (ASR) se zaměřuje na reaktivnost kameniva a alkalický ekvivalent v cementu. Při stanovení obsahu jednotlivých alkálií se nicméně prokazuje, že podstatně větší vliv než ionty K^+ mají ionty Na^+ , tedy že při výpočtu alkalického ekvivalentu (ekv. Na_2O) ionty K^+ zkreslují výsledek. Navrhovaná metoda umožňuje dle modelového grafu určit rizikovost určitého cementu pro vznik ASR na základě individuálního vlivu jednotlivých alkalických iontů.

INCREASE OF THE DURABILITY OF CONCRETE ROADS BY LIMITING THE EFFECT OF ALKALI-SILICA REACTION

Current evaluation of resistance against alkali-silica reaction (ASR) is focused on aggregate reactivity and sodium oxide equivalent in cement. When determining the content of alkalis by type (Na^+ and K^+), it is proven that Na^+ ions have a significantly greater influence than K^+ ions. A new method based on a model graph enables the risk of the specified cement for the formation of ASR to be determined according to the individual influence of each alkalis.

V současnosti se odolnost betonu vůči alkalicko-křemičité reakci (ASR) zaměřuje na reaktivnost kameniva a alkalický ekvivalent v cementu. Otázka reaktivnosti kameniva není vždy jednoznačná. Jsou známy případy, kdy se příznaky alkalické rozpínivosti objevily i přesto, že bylo kamenivo vyhodnoceno jako nereaktivní. Podobně ani požadavek na alkalický ekvivalent v použitém cementu není dostatečnou zárukou, že ke vzniku ASR nedojde.

Ve všech slíncích, a tím i v cemen-tech, vyráběných v ČR je několikanásobně vyšší obsah iontů K^+ (0,6 až 0,9 hm. %) oproti obsahu iontů Na^+ (0,1 až 0,2 hm. %). Je to dáno obsahem alkálií v surovinové základně, neboť spalování alternativních paliv obsah alkálií ve slínku významně neovlivňuje.

Při stanovení obsahu jednotlivých alkálií se projevuje podstatně větší vliv iontů Na^+ než iontů K^+ , tzn. že při výpočtu alkalického ekvivalentu (ekv. Na_2O) ionty K^+ zkreslují výsledek. Je proto potřeba se zaměřit na obsah iontů Na^+ , které hrají při vzniku ASR dominantní roli. Alkalický ekvivalent zavádí limitovaný obsah alkálií bez zohlednění rozdílného chování sodíku a draslíku a jejich původu. Toto rozdílné chování je proto vhodné hodnotit odděleně.

V případě dodávání alkálií ve velkém měřítku zvenčí je pro vznik ASR v betonu význam obsahu alkálií v ce-

mentu méně důležitý. Na tomto místě je důležité zmínit schopnost některých složek cementu naopak zvyšovat chemickou odolnost betonu a omezovat vznik ASR snižováním celkové alkality betonu. Proto je nezbytné nejen sledovat a snižovat obsah alkálií v cementu, ale zároveň pomocí vhodných složek nebo přísad do cementu omezit možnost aktivace chemické reakce mezi alkáliemi (ze všech možných zdrojů) a aktivním SiO_2 obsaženým v kamenivu.

Je zjevné, že se účinky jednotlivých alkálií liší a že je potřeba zabývat se jejich rozdílným chováním při ASR. V rámci řešení projektu Zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů (CBK) pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko-křemičité reakce (ASR) se Výzkumný ústav maltovin Praha (VUMO) ve spolupráci s VÚT v Brně zaměřil na:

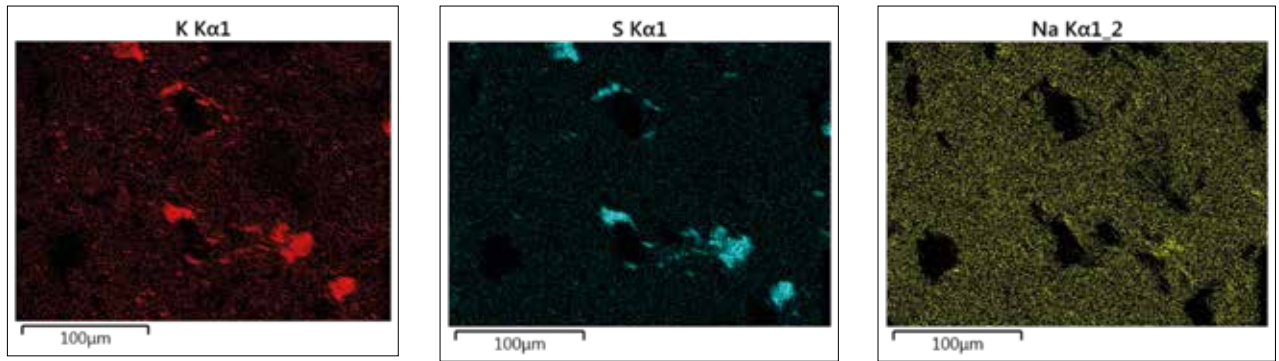
- zjištění rozdílné aktivity jednotlivých alkálií:
 - alkálie, které vstupují do betonu spolu s cementem,
 - alkálie, které působí zvenčí (prostředky zimní údržby),
- nalezení vhodných způsobů odhadu chování daného cementu s daným typem kameniva,
- určení možností eliminace rizik vzniku ASR úpravou složení slínku a použitím vhodných složek cementu bránících nastartování ASR.

Zjištění rozdílů v aktivitě alkálií podle druhu (Na^+ , K^+) a podle jejich způsobu vazby v portlandském slínku

Pro vznik ASR je důležité to, jak rychle přechází jednotlivé alkálie do pórových roztoků betonu, čímž jsou k dispozici pro reakci s reaktivními křemičitany na povrchu kameniva. Způsob vazby alkálií ve slínku ovlivňuje rychlost přecházení iontů Na^+ a K^+ do roztoku v průběhu hydratace cementu a z toho plyne, že jednotlivé alkálie mohou do reakcí vstupovat v jiné fázi tvrdnutí betonu.

Pomocí mappingu na elektronovém mikroskopu bylo potvrzeno, že se draslík ve slínku vyskytuje převážně jako minerál arkanit (síran draselný). Draslík se vyskytuje společně se sírou, většinou v okolí uzavřených pórů – obr. 1a a 1b). Oproti tomu sodík je rozptýlen rovnoměrně po celé hmotě slínku – obr. 1c). Z toho plyne, že sodík vstupuje do krystalové mřížky slínkových minerálů, většinou trikalciumaluminátu, který krystaluje v ortorhombické soustavě namísto v soustavě kubické.

Na jaké další slínkové minerály, kromě arkanitu, jsou alkálie vázány, ale není zřejmé. Proto byly laboratorně připraveny surovinové směsi z čistých chemikálií, do nichž byly přidávány alkálie ve formě uhličitánů sodných a draselných a síranů



1 Rozložení výskytu: a) sodíku, b) draslíku, c) síry 1 Distribution of: a) sodium, b) potassium, c) sulphur

sodných a draselných. Množství bylo spočítáno tak, aby podíl alkálií ve slínku odpovídal obsahu 1,2 % ekv. Na_2O (tato hodnota vychází z normy ČSN 72 117 Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi). Z takto připravených surovinových směsí byly v laboratorní peci vypáleny slínky. Všechny surovinové směsi měly stejné moduly a stupeň sycení. Slínky byly kvantitativně a kvalitativně analyzovány na elektronovém mikroskopu a bylo potvrzeno, že alkálie přednostně vstupují do slínkových fází dle následujícího pořadí $\text{C}_3\text{A} > \text{C}_4\text{AF} > \text{C}_2\text{S} > \text{C}_3\text{S}$.

Přítomnost alkálií ve slínkových fázích byla zjišťována na laboratorně připravených slínkách pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu s elektrodynamickou sondou. V tab. 1 jsou uvedené koncentrace alkálií zjištěných v jednotlivých slínkových minerálech.

Pro ověření rychlosti přecházení alkálií do roztoku byl pomocí výluho-

vé zkoušky simulován hydratační proces během tvrdnutí betonu. Byly připraveny cementové suspenze a v nich byl v daných intervalech stanoven podíl rozpuštěných alkálií přešlých do roztoku.

V grafu na obr. 2 je zaznamenána kinetika vyluhování alkálií ze slíneků připravených s dotovanými alkáliemi ve formě uhličitánů, tj. Na_2CO_3 a K_2CO_3 . Předpoklad je, že uhličitany během výpalu odtěkají a alkálie se zabudují do mřížky slínkových minerálů. Na grafu lze pozorovat, že:

- sodík (modrá křivka) se začne rozpuštět až po jedné hodině, ve stejnou dobu se začíná rozpadat primární ettringit a začíná hydratace trikalciumpuluminátu C_3A . Z tab. 1 lze navíc vyčíst, že nejvíce sodíku je přítomno v mřížce C_3A (5,96 % Na),
- draslík (zelená křivka), který se oproti sodíku rozpouští okamžitě, a to ve formě arkanitu, se ve slínku

objevil jak samotný, tak i ve formě arkanitu, přičemž do mřížky C_3A se zabudoval jen v polovičním množství (3,08 % K – tab. 1), více draslíku bylo také nalezeno v mezerině hmotě, která je vůči rozpouštění inertní.

V grafu na obr. 3 je zaznamenána kinetika vyluhování alkálií připravených ze slíneků s dotovanými alkáliemi ve formě síranů, tj. Na_2SO_4 a K_2SO_4 , neboť se předpokládá, že alkálie se ve slínku budou vyskytovat jako sírany. Na tomto grafu lze pozorovat, že:

- draselné ionty (fialová křivka) v přítomnosti síry zůstávají převážně ve formě arkanitu, do roztoku přechází okamžitě z 80 %,
- sodík se se sírou vyvázal ze 40 % (oranžová křivka), do roztoku následně přechází sodíkové ionty vázané v C_3A , do belitu přešlo 1,3 % sodíku (draslíku pouze 0,48 %). Belit se rozpouští nejpomaleji,

Tab. 1 Koncentrace alkálií v jednotlivých slínkových minerálech, slínek připravených s dotovanými alkáliemi do surovinové směsi

Tab. 1 Concentration of alkalis in clinker minerals, the clinker was prepared with the alkali added to the mix of the raw materials

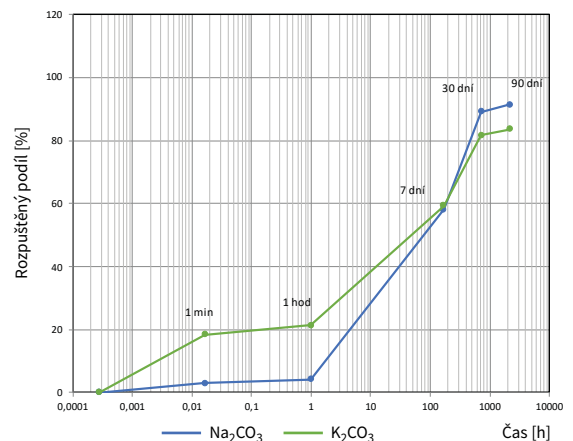
	+ Na_2CO_3 [hm. % Na_2O]	+ K_2CO_3 [hm. % K_2O]	+ Na_2SO_4 [hm. % Na_2O]	+ K_2SO_4 [hm. % K_2O]
alit	0,25	0,03	0,19	0,01
belit	1,43	1,16	1,30	0,48
C_3A	5,96	3,08	0,89	0,39
C_4AF (mezerní hmota)	0,51	1,37	0,24	0,03

Tab. 2 Klasifikace kameniva do betonu z hlediska rizika reakce s alkáliemi (zkouška podle TP 137)

Tab. 2 Classification of aggregate for concrete from the point of view of its reactivity with alkalis (test according to TP 137)

Riziko reakce s alkáliemi	Rozpínavost vzorků
nízké	$\leq 0,1$ % délky
střední	0,1 až 0,2 % délky
vysoké	$> 0,2$ % délky

Slínek $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times \text{K}_2\text{CO}_3$



2 Porovnání kinetiky vyluhování slíneků připravených s dotovanými alkáliemi ve formě Na_2CO_3 a K_2CO_3

2 Comparison of the leaching kinetics of clinkers prepared with added alkali in the form of Na_2CO_3 and K_2CO_3

bude tedy mít podíl na dlouhodobém rozpouštění.

Výsledky mappingu

Ukazuje se, že draslík je v cementech přítomen především ve své rozpustné formě jako síran, takže během procesu tuhnutí dojde ihned k jeho rozpouštění a následnému zreagování. Oproti tomu sodík je zabudovaný do krystalové mřížky a uvolňuje se postupně ve fázi, kdy už je proces tuhnutí ukončen, čímž může docházet k porušování struktury ztvrdlého betonu. Z uvedeného plyne, že sodík je v procesu vzniku ASR mnohem nebezpečnější.

Přítomnost síranových iontů v procesu výpalu slínku má velký význam. Bez přítomnosti síranů jsou alkálie, pokud nevytěkají při výpalu, vázány ve slínkových minerálech a nevyskytují se jako dobře rozpustné alkalické sírany.

Stanovení vlivu alkálií působících na CBK zvnějšku a zjištění rozdílu reakce Na⁺ a K⁺ iontů

Klíčové informace o vlivu alkálií působících zvnějšku a zjištění rozdílu reakce Na⁺ a K⁺ iontů byly získány pomocí modifikované dilatometrické zkoušky ASTM C-1260-14.

Tato metoda umožňuje zjistit během 16 dní ASR kameniva s alkáliemi na zkušebních maltových trámečcích o rozměrech 250 × 250 × 285 mm. Trámečky se umístí do 1N roztoku NaOH

na dobu 14 dní a po celou dobu se udržuje teplota 80 °C.

Za účelem zjištění rozdílného chování alkálií dodaných zvenčí, tzn. že chování není ovlivněno způsobem jejich vazby, byla metoda modifikována a trámečky byly ukládány jak do 1N roztoku NaOH, tak roztoku KOH.

Trend rozdílného chování je patrný na výsledcích uvedených v tab. 3. Zatímco alkalická rozpínavost vzorků uložených v roztoku KOH (vnější vliv draselných iontů) nepřekročila hodnotu 0,1 % délky, vzorky uložené v roztoku NaOH (vnější vliv sodných iontů) vykazovaly alkalickou rozpínavost v závislosti na obsahu strusky.

Na stejných směsích byly současně prováděny dlouhodobé dilatometrické zkoušky podle ČSN 72 1179, kdy byly jednotlivé alkálie přidávány do záměsové vody tak, aby jejich obsah odpovídal 1,2 % ekv. Na₂O v cementu (za účelem zjištění rozdílného chování alkálií, které jsou vnášeny cementy). Zde byly rozdíly mezi účinkem Na₂O a K₂O mnohem menší.

Výsledky dilatometrických zkoušek

Z dosažených výsledků dilatometrických zkoušek je evidentní rozdíl mezi účinky sodíku a draslíku a rozdíl mezi tím, když jsou alkálie obsaženy v betonové směsi od počátku, nebo když vstupují zvenčí až do ztvrdlého betonu (a to i při vysoké koncentraci).

Lze vyvodit, že průběh ASR nezá-

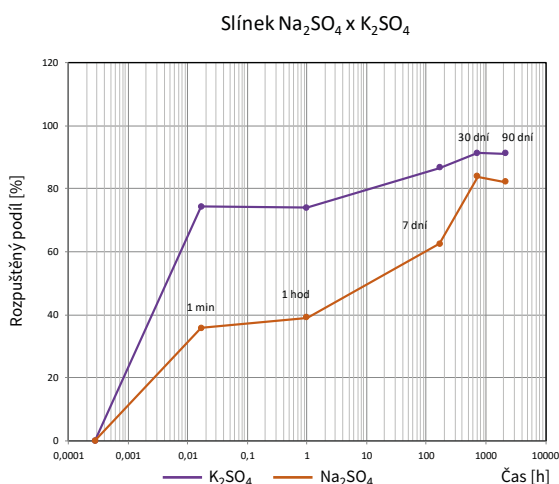
visí pouze na obsahu ekv. Na₂O, ale také na mobilitě a rychlosti difuze alkálií v pórovém roztoku (sodík má menší iontový poloměr a vyšší hustotu náboje).

Dále se potvrdilo, že směsné cementy mají na průběh ASR značný vliv. Složky cementu s pucolánovými nebo latentně hydraulickými vlastnostmi díky pucolánové reakci snižují celkovou alkalitu vody v pórech ztvrdlého betonu a obsah alkálií schopných vstupovat do reakce (alkálie jsou např. ve strusce přítomny ve sklovité fázi, takže se snižuje jejich dostupnost), rovněž snižují propustnost a možnost difuze v betonu. Složky směsných cementů mají vysoký obsah reaktivního SiO₂ velice jemně rozptýlený, a proto reakce ASR proběhne ještě dříve, než stihne směs ztvrdnout, a nedochází tak k expanzi a vzniku trhlin.

Nová metodika zkoušení – obsah alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem

Dosažené výsledky byly použity k vývoji nové metodiky, která vhodně doplňuje hodnocení pomocí alkalického ekvivalentu. Tato metodika zahrnuje stanovení výluhu jednotlivých sodných a draselných alkálií a rozšiřuje tak stanovení obsahu ekv. Na₂O. Cílem vytvoření nového zkušebního postupu je rychlá laboratorní kontrola cementu k vyhodnocení rizika vzniku ASR.

Poměr hlavních složek směsného



3 Porovnání kinetiky vyluhování slíneků připravených s dotovanými alkáliemi ve formě Na₂SO₄ a K₂SO₄

3 Comparison of the leaching kinetics of clinkers prepared with added alkali in the form of Na₂SO₄ and K₂SO₄

Tab. 3 Porovnání alkalické rozpínivosti v roztoku NaOH a KOH

Tab. 3 Comparison of alkali expansion in NaOH and KOH solutions

Označení cementu	Obsah strusky [% hm.]	Na ₂ O	K ₂ O	ekv. Na ₂ O	Alkalická rozpínavost [%]		Rozpínavost v KOH/NaOH [%]
					v NaOH	v KOH	
CEM I	0	0,18	0,83	0,73	0,210	0,075	280
CEM II/A-S	10	0,22	0,79	0,74	0,174	0,063	276
CEM II/A-S	20	0,25	0,75	0,74	0,140	0,069	203
CEM II/B-S	30	0,28	0,7	0,74	0,097	0,048	202

Tab. 4 Výsledky dlouhodobých dilatometrických zkoušek podle ČSN 72 1179

Tab. 4 Results of a long-term dilatometric tests according to ČSN 72 1179

Označení cementu	Obsah strusky [% hm.]	Na ₂ O	K ₂ O	ekv. Na ₂ O	Alkalická rozpínavost [%]	
					Cement dotovaný Na	Cement dotovaný K
CEM I	0	0,18	0,83	0,73	0,036	0,030
CEM II/B-S	30	0,28	0,7	0,74	0,011	0,011

cementu je úměrný obsahu a lokaci jednotlivých alkálií Na⁺ a K⁺. Vhodný poměr hlavních složek cementu pro jeho bezpečné použití v CBK s ohledem na vznik ASR se tak určí z modelového grafu (příklad na obr. 4), který je na základě výsledků dilatometrických a výluhových zkoušek vytvořen pro každý vyráběný cement. V grafu jsou znázorněny vztahy mezi alkalicitou rozpínavostí daného cementu s vybraným kamenivem, obsahem hlavní složky a obsahem alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem v čase 1 h.

Pro zjednodušení se v následujících příkladech použití předpokládá jako hlavní složka struska.

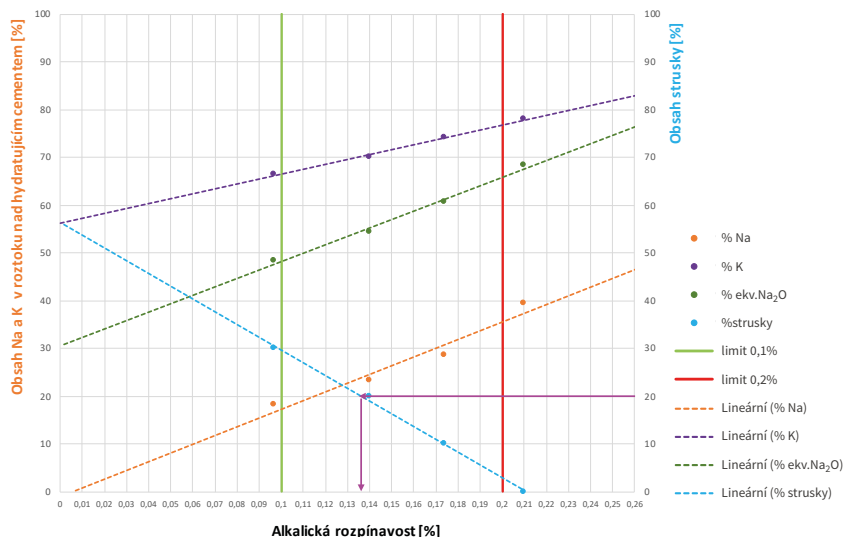
Příklady použití

Při použití této metody je vytvořen modelový graf pro určení rizikovitosti cementu ke vzniku ASR, který popisuje chování daného cementu během zrychlené dilatometrické zkoušky rozpínání podle přílohy 1 TP 137 Klasifikace kameniva do betonu z hlediska rizika reakce s alkáliemi. (V metodice se uvažuje použití kameniva droba, které je středně reaktivní a je nejčastěji používané na stavbách cementobetonových pozemních komunikací v ČR.)

Díky dosaženým výsledkům bude výrobce schopen určit chování daného cementu s kamenivem droba a obsah strusky potřebný k tomu, aby alkalicita rozpínavost byla maximálně 0,1 % (hodnoceno jako nízká rizikovitost podle TP 137 tabulky 2) nebo 0,2 % (hodnoceno jako střední rizikovitost). Chování každého cementu je specifické a nesporná výhoda této metody spočívá v tom, že jsou v grafech znázorněny vztahy, ve kterých je zohledněno jak složení konkrétního cementu, tak přítomnost daného kameniva.

Příklad 1 – z pohledu výrobce

Pro daný směsný cement se vytvoří modelový graf, na kterém bude možné odečítat vztah mezi alkalicitou rozpínavostí a obsahem strusky, kterou znázorňuje modrá křivka. Výrobce tak bude moci optimalizovat obsah strusky v cementech typu CEM II/A-S (obsah strusky 6 až 20 %) a CEM II/B-S (obsah strusky 21 až 35 %).



4 Modelový vztah mezi alkalicitou rozpínavostí, obsahem strusky a obsahem alkálií dostupných během procesu tvrdnutí

4 Model relationship between alkali expansion, slag content and alkali content (content of alkalis available during the hardening process)

Zdroje:

- [1] MODRÝ, S. *Reakce kameniva s alkáliemi v betonu, příčiny a důsledky rozpadu, diagnostika a omezení rizik*. Praha: Sekurkon, 1999.
- [2] *Zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů (CBK) pozemních komunikací omezením vlivu alkalicito-křemičité reakce (ASR). Závěrečná zpráva projektu z let 2019–2022.*

Tab. 5 Klasifikace kameniva do betonu podle TP 137 z hlediska rizika reakce s alkáliemi po šesti měsících (zkouška podle ČSN 721179)

Tab. 5 Classification of aggregates for concrete according to TP 137 from the point of view of their reaction with alkalis after 6 months (test according to ČSN 72 1179)

Riziko reakce s alkáliemi	Rozpínavost vzorků
nízké	≤ 0,070 % délky
střední	0,070 až 0,100 % délky
vyšší	> 0,100 % délky

V grafu na obr. 3 je šipkami purpurové barvy naznačený postup při odečítání. Alkalicita rozpínavost je pro tento cement s obsahem strusky 20 % přibližně 0,135 %, tzn. že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce vykazovat střední rizikovitost.

Výrobce cementu bude moci průběžně pomocí rychlé laboratorní zkoušky stanovovat obsah vyluhovaných alkálií a jednoduše tak ověřovat vlastnosti cementu ve vztahu k riziku vzniku ASR.

Příklad 2 – z pohledu odběratele

Zpracovatel nebo odběratel cementu nebude znát informaci o obsahu strusky v cementu. Pomocí modelového grafu bude moci určit vztah mezi podílem vyluhovaného sodíku a alkalicitou rozpínavostí. Provede se výluhová zkouška a stanoví se poměr vyluhovaného sodíku (příp. alkálií) např. 20 %, přičemž jde o rychlou la-

boratorní kontrolu. Na oranžové křivce se pro daný cement odečte alkalicita rozpínavost 0,115 %, tzn. že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce dle TP 137 vykazovat střední rizikovitost. Ověří se tak, zda cement odpovídá svému účelu použití a zda riziko vzniku ASR odpovídá očekávání.

Závěr

Na základě výsledků dilatometrických zkoušek (zrychlené a dlouhodobé, kdy první zohledňuje především vliv alkálií působících zvenčí a druhá hodnotí především vliv alkálií obsažených v cementu) lze říci, že výrazně větší vliv mají alkálie vstupující zvenčí, zejména Na⁺ (rozmrazovací soli) oproti K⁺.

Používání rozmrazovacích solí se při zimní údržbě nelze vyhnout. Ani používání kameniva s minimálním či nulovým obsahem reaktivních forem SiO₂ není vzhledem k dostupnosti lokalit, kde se takové kamenivo těží,

vždy možné. Kamenivo může navíc mít i v rámci jedné lokality proměnlivé vlastnosti, což je dáno existencí mnoha forem reaktivního SiO_2 . Takže neefektivnější cestou kontroly vzniku ASR je návrh betonové směsi, který počítá s možností výskytu reaktivního kameniva.

V rámci zmiňovaného projektu bylo prokázáno, že na omezení vzniku alkalicko-křemičité reakce mají vliv především složky cementu s pucolánovými vlastnostmi, jako je struska, popílek, mikrosilika nebo přírodní pucolány. Pomocí směsných cementů lze také eliminovat nebezpečí vzniku alkalické reakce přísunem alkálií zvnějšku (posypová sůl). Jako hlavní přednosti směsných cementů lze uvést:

- podstatně snižují riziko vzniku ASR tím, že reagují s hydroxidem vápenatým (portlanditem) za vzniku převážně kalcium silikát hydrátů (CSH). Důsledkem této interakce je snížení pH,
- velmi jemně semletá struska v cementu vnáší rovnoměrně rozložený reaktivní SiO_2 , který může reagovat

s alkáliemi z cementu ještě během procesu tuhnutí, kdy tvorba alkalicko-křemičitého gelu není škodlivá, protože je cementová pasta ještě plastická,

- alkálie jsou ve strusce (jako složky cementu) vázány ve sklovité fázi, čímž se snižuje jejich dostupnost a reaktivita. Proto se použitím náhrad cementu relativně snižuje obsah alkálií přítomný v cementu,
- granulometrická návaznost mletého slínku a mleté strusky vede k hutnější struktuře, čímž se snižuje možnost vlivu alkálií působících zvenčí (rozmrazovací soli), které by se mohly dostat k reaktivním zrnům kameniva,
- po ztuhnutí je struktura cementového kamene uzavřenější a hutná a brání tak prostupu alkálií působících zvnějšku. Snižuje se také průnik vody do zatvrdlého betonu.

Pro zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko-křemičité reakce je ve srovnání s portlandským cementem CEM I vhodné použití směsných cementů s obsahem 20 až 50 %

dalších hlavních složek s pucolánovými nebo latentně hydraulickými vlastnostmi. Vhodný poměr hlavních složek cementu závisí na obsahu jednotlivých alkálií Na^+ a K^+ a lze jej stanovit s využitím nové zkušební metodiky a vyhodnocením dle příslušného modelového grafu pro daný cement.

Nová zkušební metoda doplňuje hodnocení pomocí alkalického ekvivalentu a přináší možnost kvantifikovat citlivost celého systému pro vznik ASR, čímž je možné zjistit úroveň rizika.

Článek vznikl v rámci projektu č. TH04010207 Zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů (CBK) pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko-křemičité reakce (ASR), jenž se zabýval problematikou alkalicko-křemičité reakce z pohledu vyráběných cementů. Řešiteli byli VUMO Praha a VUT v Brně.



Ing. Tomáš Táborský
taborsky@vumo.cz



Ing. Kateřina Jiroušková

oba: Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.

inzerce



Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o., Vás zve na odborný seminář

VÁPNO, CEMENT, EKOLOGIE

15.–17. 5. 2023 Kongresový hotel Jezerka na Seči

- Revize směrnice o průmyslových emisích (IED)
- Principy zavádění CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism
- Snižování rtuti a těžkých kovů v odpadních plynech
- Kamenivo z recyklovaného betonu – granulometrie, ekonomika výroby
- Principy revize Construction Product Regulation
- Aktuální novinky v oblasti legislativy odpadového hospodářství
- Presentace technologií pro úsporu energií a údržbu

www.vumo.cz