



Omezení vzniku křemičito-alkalické reakce kameniva v betonu



Ačkoliv je beton obecně pokládán za velmi trvanlivý a odolný stavební materiál, není tomu vždy tak. Z praxe je známa řada poruch staveb z betonu, způsobených korozí betonu. Příčin je celá řada: počínaje působením „hladových“ nebo chemicky agresivních vod přes poruchy způsobené střídavým zmrazáním a rozmrazáním betonového díla nasycením vodou a konče nastartováním chemické reakce mezi alkalicky reagujícím roztokem v pórech ztvrdlé cementové matrice a reaktivním SiO_2 obsaženým v kamenivu. Právě tato křemičito-alkalická reakce (dále AKR) působí řadu problémů zejména v dopravním stavitelství.

Příklady poruch betonových staveb v důsledku AKR

- § První známý případ byl popsán v roce 1922 na přehradě Buck Hydroelectric Plant v New River ve Virginii
- § 20. léta minulého století, přehrada Grand Coulee na řece Kolumbii na severozápadě Spojených států
- § 1. polovina 20. století, východní Slovensko – použití andezitu jako kameniva je spojeno s nastartováním AKR
- § V ČR je asi nejznámější případ dálnice D11, kdy bylo nutno provést rekonstrukci velkého úseku vozovky v důsledku rozrušení produkty křemičito-alkalické reakce
- § Poškození vzniklá v důsledku této reakce byla popsána na mnoha aplikacích betonu – jsou to vodní díla, povrchy komunikací, letištní plochy, mosty, tunely, železniční pražce, základy budov, různé prefabrikáty a betonové výrobky

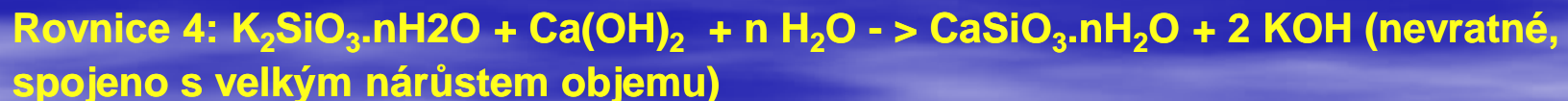
Příčiny vzniku AKR

AKR má několik fází

1. Rozpouštění alkalických síranů během hydratace
2. Při reakci cementu s vodou reagují hlavní slínkové fáze, např. alit, na C-S-H fáze a portlandit, např. podle následující rovnice:



Současně přecházejí alkalické sulfáty do roztoku a reagují s vznikajícím portlanditem, vzniklé alkalické hydroxidy napadají zrna reaktivního kameniva



3. Celý sled chemických reakcí se může za vhodných podmínek opakovat a je nevratný, v zrnech kameniva a v cementové matici dochází tak ke vzniku tahových napětí, které vedou až k rozrušení struktury betonu

Cíl prací našeho ústavu

- § Nutnost řešení problematiky AKR v reálných podmínkách v ČR
- § Cementy v ČR mají vesměs obsah $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$ vyšší než je „bezpečná“ hodnota 0,6 % hm.
- § Kamenivo na většině těžných lokalit obsahuje aktivní SiO_2 . Výjimkou jsou např. žuly, čedič, znělec, hadec. S ohledem na dopravní vzdálenosti se použití bezpečného kameniva může dosti prodražit
- § Naše práce se zaměřují na výběr takových přísad do cementu nebo betonu, které by dokázaly eliminovat start a průběh AKR
- § Snížení obsahu alkálií v cementech pomocí vhodných přísad
- § Použití jemně semletých přísad s vysokým obsahem aktivního SiO_2 , který je schopen reagovat ve fázi tuhnutí a snižuje alkalitu kapaliny v pórech cementové matrice a váže se se vznikajícím portlanditem

Na základě těchto faktů byl zvolen postup zkoušení cementů CEM I ze všech cementáren v ČR a vybraných přísad s požadovanými vlastnostmi. Hlavní pozornost je věnována materiálům snadno dostupným, relativně levným a vyskytujícím se v dostatečném množství v ČR bez nutnosti dovozu. Jsou to vápence z ložisek využívaných cementárnami, vysokopecní struska a materiály přírodní i umělé s pucolánovými vlastnostmi. Rozsah prováděných zkoušek přesahuje možnosti dané pro tuto přednášku, proto je zde omezen na jeden základní cement a to CEM I 52,5R z Čížkovic a jeho směsi s přísadami.



Volba materiálů

- § **CEMENTY**
cementy CEM I, třídy 42,5 R, případně 52,5 R
- § **PŘÍSADY**
granulovaná vysokopecní struska Třinec
černouhelný popílek Dětmorovice
hnědouhelný popílek Opatovice
spongilit Zeměchy
spongilit Nové Strašecí
metakaolin ČLUZ Nové Strašecí
mikrosilika ELKEM
čistý vápenec vlastní z každé cementárny
- § **KAMENIVO**
andezit Teplice
droba Chornice

Zkušební postupy

- § **Základní chemické a granulometrické rozbory všech použitých materiálů**
- § **Zkoušky pucolanity cementů a jejich směsí se zvolenými přísadami**
- § **Vyluhovací zkoušky na tělískách z cementových past, stanovení celkové alkality, obsahu vápníku a alkálií ve výluhu**
- § **Zrychlená zkouška reaktivnosti kameniva podle ASTM C1260-94 s CEM I a s cementy s přísadami na obou kamenivech**
- § **Zkouška reaktivnosti kameniva podle ČSN 72 1179 s CEM I a s cementy s přísadami na obou kamenivech**



Obsah aktivního SiO₂

Vzorek	jednotka	stanoveno
vysokopeční struska	% hm.	39,26
černouhelný popílek	% hm.	21,80
hnědouhelný popílek	% hm.	23,06
spongilit Zeměchy	% hm.	48,40
spongilit Nové Strašecí	% hm.	46,83
metakaolin Nové Strašecí	% hm.	39,52
mikrosilika ELKEM	% hm.	94,45
andezit Tepličky	% hm.	8,99
droba Chornice	% hm.	0,00

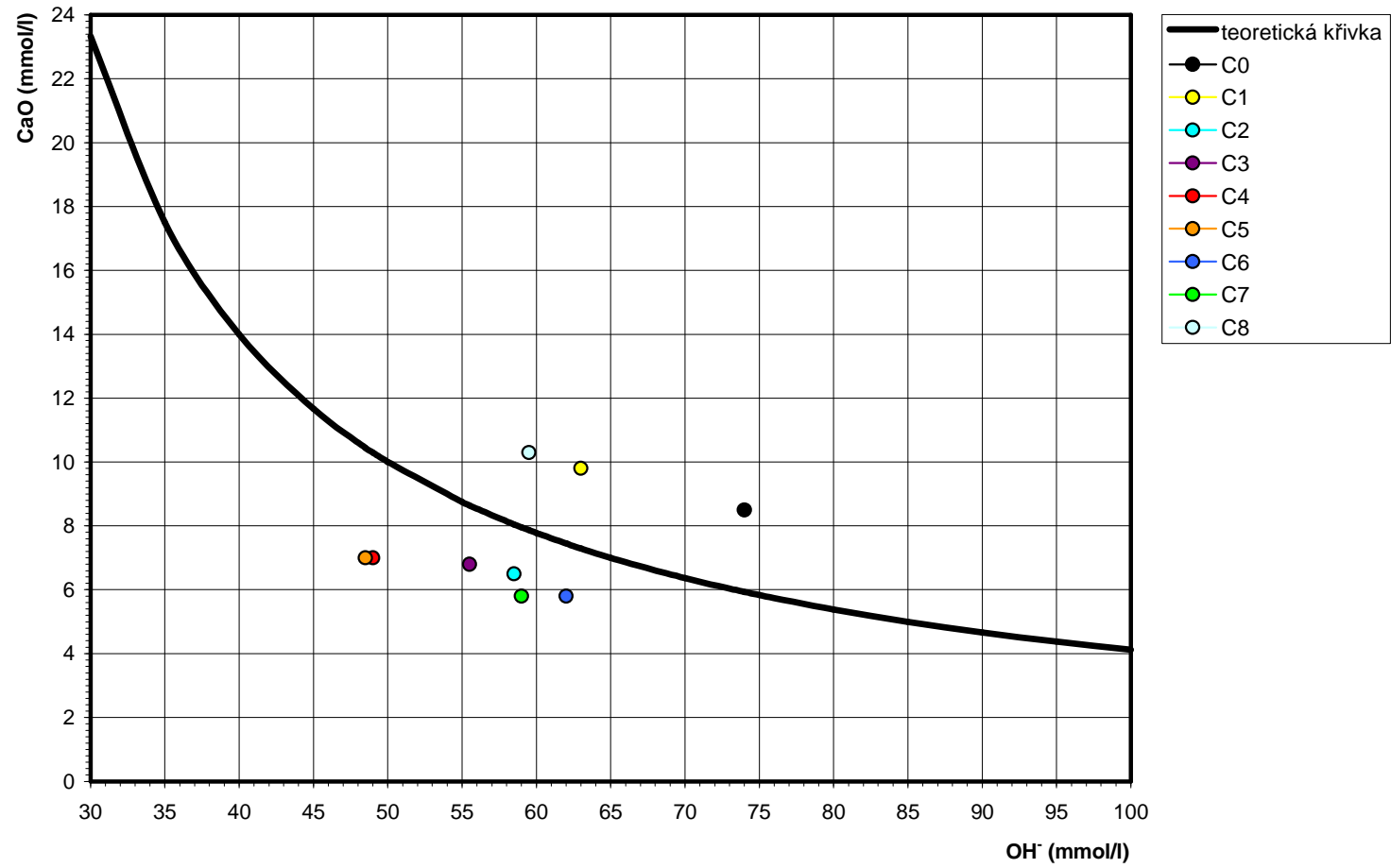


Směsi řady C – pucolanita:

cement	další složka	označení	obsah složky ve směsi (% hm.)	ČSN EN 196-5 pucolanita směsi		
				OH ⁻ (mmol/l)	CaO (mmol/l)	pucolanita
Čížkovice	-	C0	-	74,00	8,50	2
	vp. struska Třinec	C1	30	63,00	9,80	2
	popílek EDě	C2	30	58,50	6,50	1
	popílek EOp	C3	30	55,50	6,80	1
	spongilit Zeměchy	C4	30	49,00	7,00	1
	spongilit ČLUZ	C5	30	48,50	7,00	1
	metakaolinit ČLUZ	C6	10	62,00	5,80	1
	mikrosilika Elkem	C7	10	59,00	5,80	1
	vápenec	C8	30	59,50	10,30	2



pucolanita cementových směsí
řada C





STANOVENÍ ALKALICKÉ ROZPÍNAVOSTI KAMENIVA

Dilatometrická zkouška rozpínaná cementové malty podle ASTM C1260 - 94

cement: CEM I 52,5 R Čížkovice

Hornina - plnivo: andezit

koncentrace NaOH: 40 g/l

Zpracoval: Zkušebna kamene a kameniva Hořice

počáteční délka trámečku: 250 mm

zkušební termín (den)	vzorek prodloužení trámečku v % délky								
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,160	0,013	0,007	0,004	0,002	0,003	0,007	0,004	0,081
4	0,320	0,022	0,012	0,008	0,003	0,006	0,013	0,008	0,176
6	0,481	0,030	0,018	0,008	0,006	0,008	0,019	0,008	0,301
8	0,614	0,065	0,021	0,013	0,007	0,011	0,058	0,020	0,399
10	0,722	0,108	0,022	0,015	0,007	0,013	0,097	0,025	0,497
12	0,830	0,171	0,030	0,016	0,013	0,017	0,136	0,030	0,556
14	0,912	0,196	0,040	0,023	0,014	0,022	0,174	0,061	0,607
16	0,995	0,233	0,053	0,024	0,017	0,023	0,209	0,088	0,643
18	1,079	0,271	0,070	0,025	0,020	0,024	0,245	0,115	0,679
20	1,116	0,310	0,087	0,033	0,024	0,035	0,282	0,148	0,707
22	1,172	0,335	0,107	0,040	0,031	0,044	0,320	0,175	0,726
24	1,220	0,371	0,126	0,049	0,038	0,054	0,356	0,203	0,746
26	1,269	0,408	0,144	0,057	0,046	0,063	0,391	0,230	0,761
28	1,310	0,438	0,161	0,070	0,059	0,077	0,425	0,255	0,777



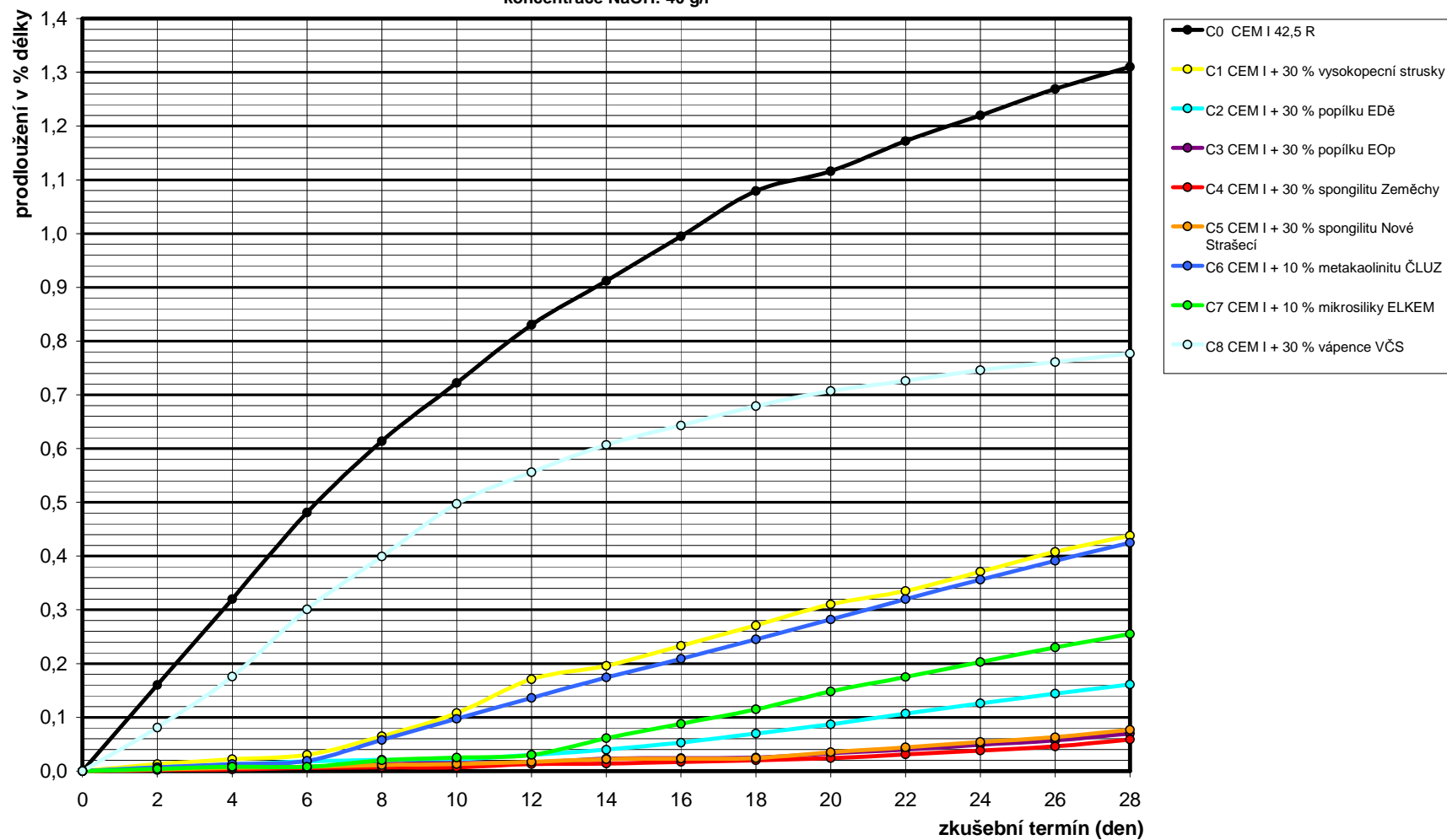
Alkalická rozpínavost kameniva

dilatometrická zkouška rozpínání cementové malty podle ASTM C 1260 - 94

cement: CEM I 52,5 R Čížkovice

kamenivo: andezit Tepličky 0 - 4 mm

koncentrace NaOH: 40 g/l



Vyluhovací zkoušky

Vyluhovací zkoušky byly provedeny na tělískách zhotovených z cementových past, cementy přitom obsahovaly přísady shodně jako při zkouškách pucolanity. Výluhy byly připraveny podle vyhlášky MŽP 294/2005 Sb. Ve výluhu se stanovovaly: pH, celková alkalita v mmol/l a obsahy iontů Na^+ , K^+ a Ca^{2+} . V době přípravy přednášky a této prezentace nebyly zkoušky ještě ukončeny, první výsledky však odpovídaly výsledkům zkoušek pucolanity a zkoušek s reaktivním kamenivem andezit.

Závěrem

- § Kromě metakaolinu a čistého vápence mají všechny zkoušené přísady více alkálií než samotný CEM I. Účinnost vápence je přitom slabá. V „ředění“ obsahu alkálií řešení nespočívá.
- § Účinné jsou látky s vysokým obsahem reaktivního SiO_2 .
- § Nejúčinnější se jeví oba spongility a hnědouhelný popílek.
- § Některé přísady mají v důsledku svého granulometrického složení i přímý těsnicí účinek (metakaolin).
- § Těsnicí účinek kromě snížení alkality a vázání iontů Na, K a Ca mají v důsledku své pucolánové aktivity všechny ostatní přísady kromě vápence.
- § Jedno „překvapující“ zjištění: v použité drobě nebyl nalezen aktivní SiO_2 . Je to ale dáno spíše tím, že metoda stanovení, používaná pro zkoušení popílků, nevystihuje všechny vlastnosti volného křemene.

Je známo, že v problematice AKR je možno se dočkat různých překvapení, nenalezení aktivního SiO_2 v drobě Chornice může být jedním z nich. Aktivní SiO_2 nebyl stanoven chemicky, může se ale projevovat optickou aktivitou při pozorování v polarizačním mikroskopu (undulózni zhášení). Proto na závěr uvádím název přednášky Prof. J. Starka na 17. Bausilu konaném ve Výmaru v září 2009, jejímž tématem byl souhrn všeho, co je dnes o AKR známo. Její název je příznačný: „70 Jahre AKR und kein Ende ist Sicht?“.

DĚKUJI ZA POZORNOST