

VLIV KONCENTRACE AKTIVÁTORŮ NA PRŮBĚH AKTIVACE ÚLETOVÝCH POPÍLKŮ

EFFECT OF ACTIVATORS CONCENTRATION ON THE PROCESS OF FLY-ASH ALKALI ACTIVATION

Rostislav Šulc*, Pavel Svoboda**

Since 2003 has been proceeding research work of fly-ash alkali activation. This work is provided by Department of Construction Technology, Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague and Department of Glass and Ceramics ICT Prague. Very important part in activation process of fly ash grains is quantity of alkali activator and water. Water is used for preparation of activators solution, its volume and its quantity is deciding for workability of mixture. To achievement optimum results was necessary to search quantity of activators and their concentration in activators solution that allows required workability. Of course it is necessary to keep mechanical and physical properties of fly ash binder. Quantity of water in activators solution may be various, but quantity of alkali activators is the same. This paper describes problems with different water ratio in fly ash concrete mixtures especially with reference to concentration of alkali activator solution.

Úvod

POPbeton je nový typ bezcementového betonu, kde je jako pojivu použit výhradně úletový popílek. Jelikož se pod stávajícím vžitým názvem popílkový beton skrývá cementový beton s příměsí popílku jako jemné inertní složky doplňující plnivo, byl tento nový typ betonu nazván právě POPbeton. POPbeton má ambice stát se novým stavebním materiálem využívajícím některé další odpadní materiály jako je například struska, metakaolin, drobný skleněný opad nebo jako materiál sloužící k solidifikaci některých nebezpečných odpadních materiálů.

Celý program je zaměřen zejména na využití hnědouhelných popílků, kterých je v naší republice produkováno mnohonásobně více než popílků černouhelných. Jak prokázaly zkoušky, aktivovaný hnědouhelný popílek je méně reaktivní a výsledná směs má horší vlastnosti než směs, kde je použit výhradně černouhelný popílek.

Popis měřeného materiálu

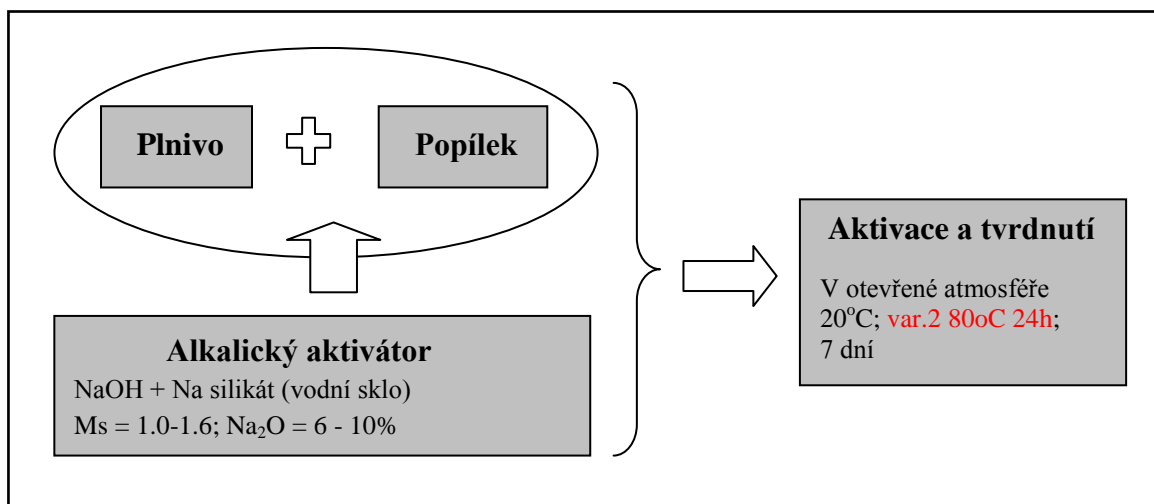
Úletový popílek je aktivován pomocí roztoku křemičitanu sodného (příp. sodno-draselného) – vodní sklo a silné zásady - hydroxidu sodného příp. hydroxidu draselného. Pro ověření vlivu množství vody v aktivačním roztoku bylo použito sodné vodní sklo a hydroxid sodný. Proces výroby POPbetonu je složitější z hlediska technologické přípravy. Bylo nejprve nutné upravit výrobní postup tak, jak je vidět na obr. 1.

Jako zkušební tělesa byly připraveny krychle 100/100/100 mm. Na krychlích byla zkoumána pevnost v tlaku a objemová hmotnost vzorku. Pro aktivaci popílku se jeví jako vhodné připravené vzorky podrobit temperování v sušárně při teplotě 80°C po dobu 24 hodin. Druhý způsob spočívá v průběhu aktivace za laboratorních podmínek (teplota 20°C). Temperované vzorky mají prakticky

* Ing. Rostislav Šulc, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K122 - Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 199 29 Praha 6 - Dejvice, rostislav.sulc@fsv.cvut.cz

** Doc. Ing. Pavel Svoboda CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K122 - Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 199 29 Praha 6 - Dejvice, svobodap@fsv.cvut.cz

okamžitě po ukončení temperování konečné pevnosti. Při postupu bez temperování je nutné použít aktivátory a intenzifikátory, které dostatečně nastartují aktivační reakci. Průběh nárstu pevností je pozvolnější a probíhá až do cca. 90-tého dne stáří vzorku.



Obr. 1 Schéma výroby POPbetonu.

Složení zkušební směsi bylo následující:

- Popílek Opatovice
- NaOH
- Sodné vodní sklo
- $Al(OH)_3$
- Pálené vápno CL-90 G
- Kamenivo 0-4 mm, lokalita Dobříň
- Kamenivo 4-8 mm, lokalita Sýkořice
- Kamenivo 8-16 mm, lokalita Sýkořice

Materiálové složení popílku a použitého vodního skla udávají tabulky 1 a 2. Pro zkušební série byl použit popílek z teplárny a elektrárny v Opatovicích.

Tab. 1 Složení popílku Opatovice

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	suma
52,85%	31,84%	0,36%	7,34%	2,12%	1,69%	1,14%	1,51%	0,41%	0,21%	99,47%

Tab. 2 Složení vodního skla

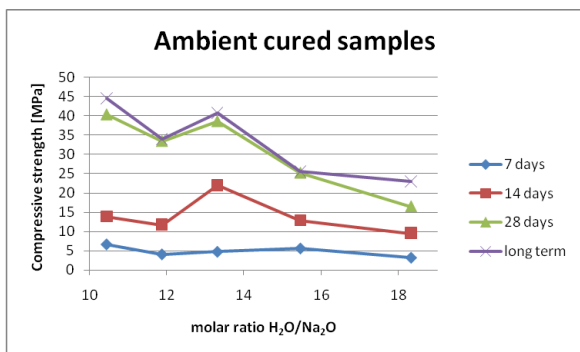
SiO ₂	Na ₂ O	H ₂ O	suma
25,73%	8,64%	65,50%	99,87%

Experiment

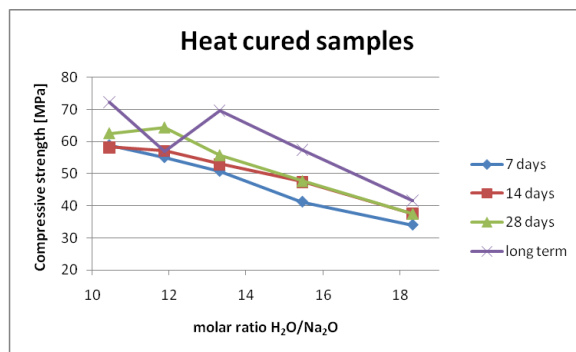
Bylo připraveno pět sérií s různým množstvím vody v aktivačním roztoku. Aktivační roztok byl přidáván ke směsi popílku, kameniva a regulátorů reakce. Směs byla zamíchána a poté uložena do forem a zpracována vibrací. Vzorky byly odformovány po 7 dnech a byly podrobeny měření a vážení. Dále na nich byla provedena destruktivní zkouška měření pevnosti v tlaku po 7, 14, 28 a 90 dnech.

Určujícím faktorem pro minimální množství vody v aktivačním roztoku byla koncentrace vodního skla. Z tabulky 2 vyplývá, že 65,5% hmotnosti použitého vodního skla tvoří voda. Množství vody tedy bylo vyjádřeno poměrově jako molární poměr H_2O a Na_2O při zachování konstantního množství SiO_2 , Al_2O_3 a Na_2O ve všech zkoumaných směsích. Právě tyto tři oxidy jsou rozhodující pro tvorbu struktury alumosilikátové hmoty z úletových popílků.

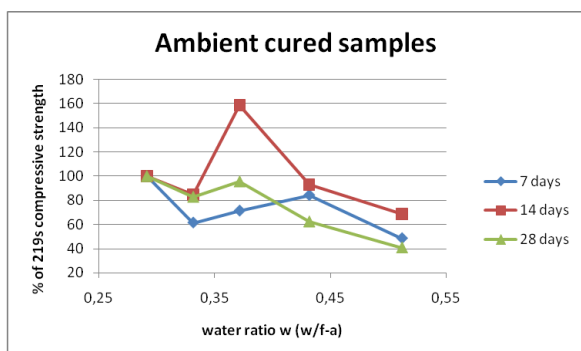
Na obrázcích 3 a 4 je vyjádřeno množství vody v závislosti na množství pojiva – úletového popílku. Vodní součinitel, vyjádřený jako pěr vody na množství popílku, se tedy pohyboval v rozmezí od 0,29 do 0,51.



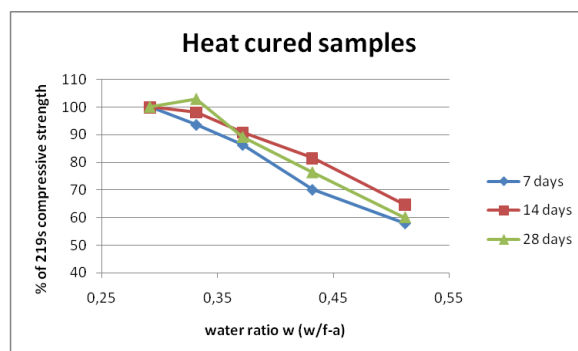
Obr. 1 Vzorky připravené bez temperování – vyjádřeno molárním poměrem.



Obr. 2 Vzorky připravené pomocí temperování – vyjádřeno molárním poměrem.



Obr. 3 % pokles/vzestup pevností u netemperovaných vzorků.



Obr. 4 pokles/vzestup pevností u temperovaných vzorků.

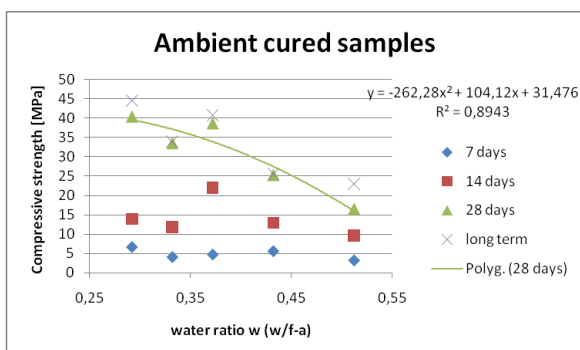
Výsledky měření

Vzorky byly v rozsahu zpracovatelnosti od těžko zpracovatelné směsi vibrační při $w=0,29$, která jevila známky „falešného“ tuhnutí již při ukládání do forem až po směs zpracovatelnou litím při $w=0,51$, bez možnosti zpracování vibrační, aby nedošlo k segregaci kameniva.

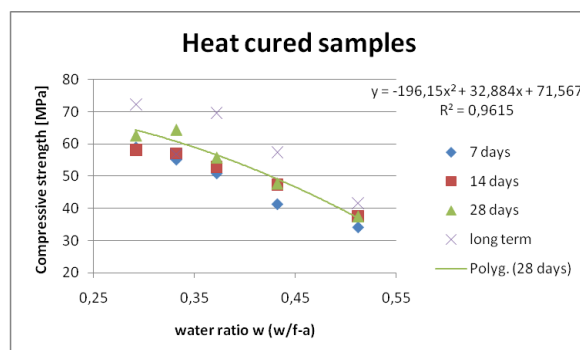
U netemperovaných vzorků se projevila postupný pokles pevností zejména od hodnoty vodního součinitele přesahující $w>0,37$. Pokles byl razantní zejména u vzorků 28 dní a 90 dní starých. Vzhledem k datům na obr. 1 se dá hovořit o pevnostech konečných. Tento pokles byl poměrně razantní a představoval asi 60% snížení pevnosti oproti vzorkům připraveným s minimálním vodním součinitelem. Na obrázku 5 byl trend proložen křivkou polynomu druhého stupně s poměrně dobrou hodnotou spolehlivosti $R^2=0,894$. Dá se tedy usuzovat, že v tomto rozmezí je možné provádět korekce hodnot jiných POPbetonových vzorků podle vztahu na obr. 5.

Pro temperované vzorky nebyl pokles pevností tak významný. Ukázalo se, že temperované vzorky jsou již po 7 dnech na hodnotách přesahujících 90% konečné pevnosti. Zrovna tak je trend poklesu obdobný pro všechny tři zkoumané časové úseky, jak ukazuje obrázek 4. Pokles pevností v měřeném rozsahu vodního součinitele se rovnal asi 40% pevnosti vzorků s nejnižším vodním

součinitelem. Trend proložený křivkou s polynomem druhého stupně vykázal vynikající shodu pro hodnotu spolehlivosti $R^2=0,962$. Opět se tedy dá předpokládat, že uvedený vztah na obrázku 6 dostatečně vystihuje vliv množství vody ve směsi na výsledné tlakové pevnosti POPbetonu připraveného temperováním.



Obr. 5 Vzorky připravené bez temperování.



Obr. 6 Vzorky připravené pomocí temperování.

Závěr

Bylo ukázáno, jak množství vody ve směsi a koncentrace roztoku aktivátorů mění výsledné vlastnosti POPbetonové hmoty. Na poměrně malém rozsahu vodního součinitele dochází k dramatickým změnám ve výsledných hodnotách. Dá se tedy očekávat, že pro dodržení deklarovaných hodnot POPbetonu je potřeba zachovat vysoké standardy pro zpracování směsi, stejně jako je tomu u směsi cementových.

Uvedené odhady pro pohyb výsledných hodnot pevností jsou částečným podkladem pro korekci a srovnání POPbetonových směsí připravených z různě koncentrovaných roztoků aktivátorů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci grantu GAČR 103/08/1639 „Mikrostruktura anorganických alumosilikátových polymerů“.

Na řešení tohoto úkolu v dalších fázích spolupracují:

Pavel Svoboda, Josef Doležal, Tomáš Strnad, Jaroslav Jeništa, Pavel Houser, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb.

František Škvára, Lenka Myšková, Lucie Alberovská, VŠCHT v Praze, Ústav skla a keramiky.

Zdeněk Bittnar, Vít Šmilauer, Jiří Němeček, Lubomír Kopecký, Tomáš Koudelka, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mechaniky.

Miroslav Vokáč, ČVUT Praha Kloknerův ústav.

Literatura

- [1] Hardjito, D.- Regan, B. V. *Development and Properties of Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete.*, Research report GCI, Australia, Perth: Curtin University of Technology, 2005
- [2] Svoboda, P.- Šulc, R.- Doležal, J.- Škvára, F.- Dvořáček, K.- Lucuk, M. *Beton bez cementu s názvem POPbeton*, X. Konference – Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, Telč: VUSTAH, 2006
- [3] Doležal J., Škvára F., Kopecký L., Pavlasová S., Lucuk M., Dvořáček K., Beksa M., Myšková L., Šulc R.: *Proc. 16th International Baustofftagung IBAUSIL 2006*, vol. 1, 1-1079, 2006