

ACTIVATION OF FLY ASH BINDER IN POPBETON WITHOUT HEATING

Rostislav Šulc¹, Pavel Svoboda²

In this paper some production processes and possibilities of alkaline activation of fly ash are examined. This fly ash is used as a binder in new type of concrete without cement binder, called POPbeton. Program was focused on „cold way“ preparation of POPbeton without necessity of heating. In this program same types of so called „intenzifikator“ were used. These „intenzifikátor“ causes hardening of POPbeton mixture. Samples of cold way prepared POPbeton were explored with electron microscope and they were compared with POPbeton samples prepared with heating. This technology is following step to use waste materials such as fly ash and slag.

Úvod

Od roku 2003, kdy byla navázána úzká spolupráce mezi Ústavem skla a silikátů VŠCHT a Katedrou technologie staveb ČVUT FSv v Praze probíhá výzkum využití úletových popílků z velkých topenišť na základě výzkumu geopolymerní reakce, který již několik let probíhal v Ústavu skla a silikátů. Cílem této spolupráce je aplikace získaných výsledků výzkumu do

¹ŠULC, Rostislav, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K122 – Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, rostislav.sulc@fsv.cvut.cz

²SVOBODA Pavel, Doc. Ing., CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K122 – Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, svobodap@fsv.cvut.cz

praktického užití ve stavební praxi. Postupně byla ověřena možnost aktivace popílků jak z černého uhlí, tak z uhlí hnědého. Problémem pro širší využití aktivovaného popílku jako pojiva v POPbetonu[®] však zůstávala nutnost temperování čerstvé betonové směsi. Takto připravovaný typ POPbetonu[®] byl vhodný pouze pro použití na prefabrikáty menších rozměrů např. zámkové dlažby apod. Proto bylo nutné vyvinout novou technologii přípravy POPbetonu[®], která by odbourala nutnost temperování. Za tímto účelem byl hledán tzv. „regulátor tuhnutí“. Tato látka má za účel nastartovat celý proces geopolymerní reakce bez nutnosti dodávat energii ve formě tepla.

Tato technologie je ovšem časově náročnější na dosažení výsledních pevností POPbetonu[®]. Opět byla zkoumána možnost aktivace popílku z černého i hnědého uhlí. Byly provedeny kontrolní zkoušky přísad a příměsí běžných pro klasický cementový beton. V žádném případě se však nepodařilo zkrátit dobu dosažení konečných pevností, ačkoliv některé zejména alkalicky aktivní příměsi prokázaly pozitivní vliv na výsledné pevnosti POPbetonu[®].

Aktivace popílku temperováním

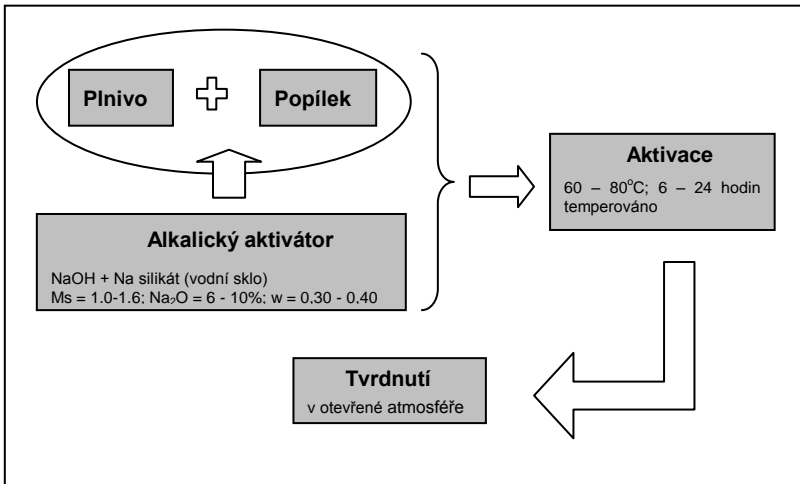
Vstupními materiály pro POPbeton[®] aktivovaný temperováním byly:

- těžené kamenivo 0-4 mm, lokalita Dobříň
- drcené kamenivo 4-8 mm, lokalita Zbraslav
- drcené kamenivo 8-16 mm, lokalita Zbraslav
- hnědouhelný nebo černouhelný popílek, lokalita Opatovice, Dětmarovice, Freiberg
- vodní sklo (Na silikát)
- hydroxid sodný (Na(OH))

Tab. 1 – Složení temperovaných sérií

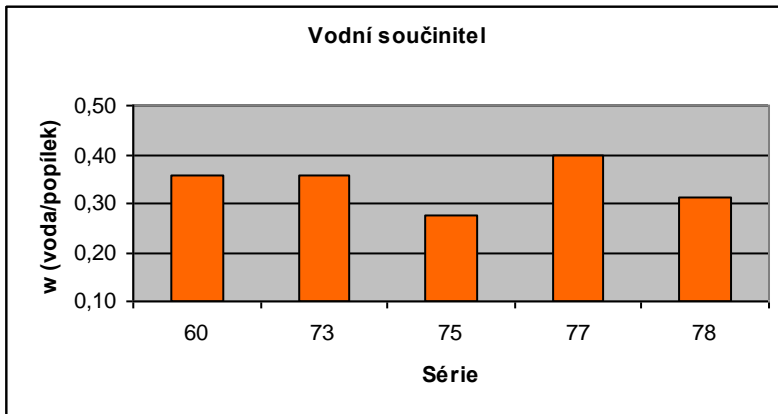
60	Opatovice – hnědouhelný
73	Freiberg - EFA fuller – černouhelný
75	Dětmarovice – černouhelný
77	Chvaletice - hnědouhelný
78	Freiberg - EFA fuller - černouhelný

Schéma míchání směsi je na obr. 1. S ohledem na různé vlastnosti a různé rozdělení částic jednotlivých druhů popílků bylo nutné přidávat různé množství záměsové vody tak, aby směs byla stejně zpracovatelná.



Obr. 1 – Schéma míchání POPbetonu[®] - temperováno

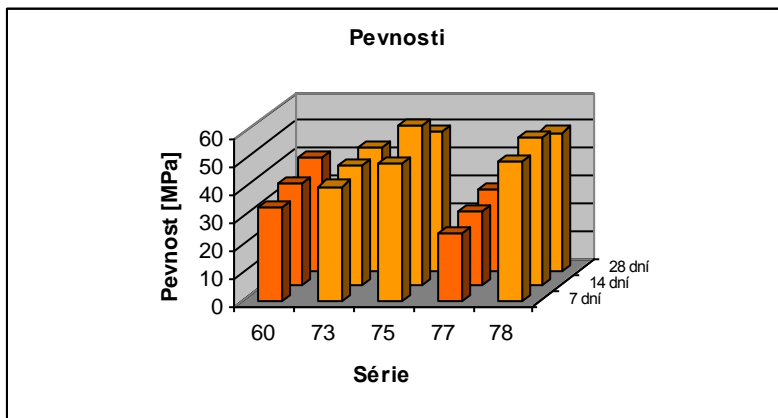
Byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech 100 x 100 x 100 mm na kterých byla zkoumána pevnost po 7, 14 a 28 dnech. Dále byla orientačně zkoumána pevnost z dlouhodobého hlediska.



Obr. 2 – Graf vodního součinitele - temperováno

Jelikož množství vody výrazně ovlivňuje jak dobu zrání POPbetonu[®], tak celkové dosažené pevnosti dlouhodobé pevnosti, je velmi nutné udržet jeho hodnotu na nejnižší možné hranici, tak aby byla zachovány stejné zpracovatelnost betonové směsi. Černouhelný popílek se v tomto ohledu projevil jako drobnější proto, bylo použito méně záměsové vody. Výsledný

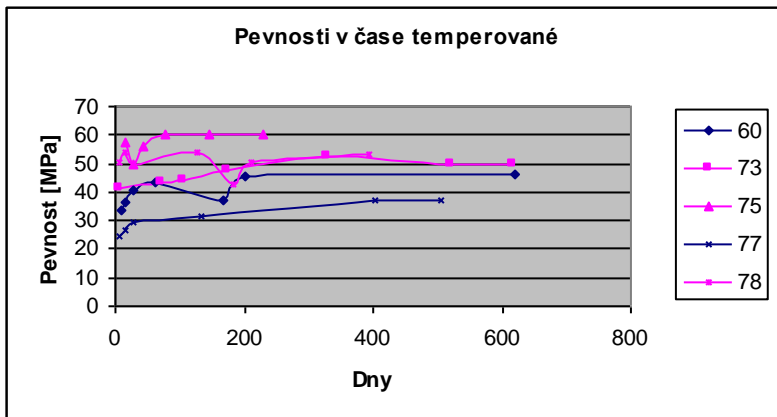
vliv množství vody je dobře vidět na sériích č. 73 a 78, které byly jinak totožné.



Obr. 3 – Graf pevností POPbetonu® - temperováno

Na výsledných pevnostech je dobře vidět rozdíl mezi pevnostmi černouhelného popílkového pojiva a hnědouhelného. Zatímco u černouhelných popílků se výsledné pevnosti pohybují okolo 50 MPa, u hnědouhelných je výsledná pevnost kolem 40 MPa. Výsledek může souviset jak s velikostí částic jednotlivých popílků, tak s různou reaktivitou jednotlivých popílků. Celý problém je teď ověřován zejména z hlediska velikosti částic a možnosti mletí jednotlivých popílků.

Na uvedených sériích byly dále orientačně sledovány hodnoty pevností v průběhu času. Ukázalo se, že u temperované varianty nedochází k výraznějším výkyvům v průběhu doby delší než jeden rok. Nárůst pevností je zhruba do 10 MPa v průběhu času a nárůst pevností probíhá do cca čtyřicátého dnu stáří těles. Obdobný postup byl zvolen pro ověření vlastností různých popílků při výrobě POPbetonu® „studenou cestou“, tedy bez nutnosti temperování.



Obr. 4 – Graf pevností POPbetonu[®] v čase - temperováno

Aktivace popílku bez temperování

Vstupními materiály pro POPbeton[®] aktivovaný bez temperování byly:

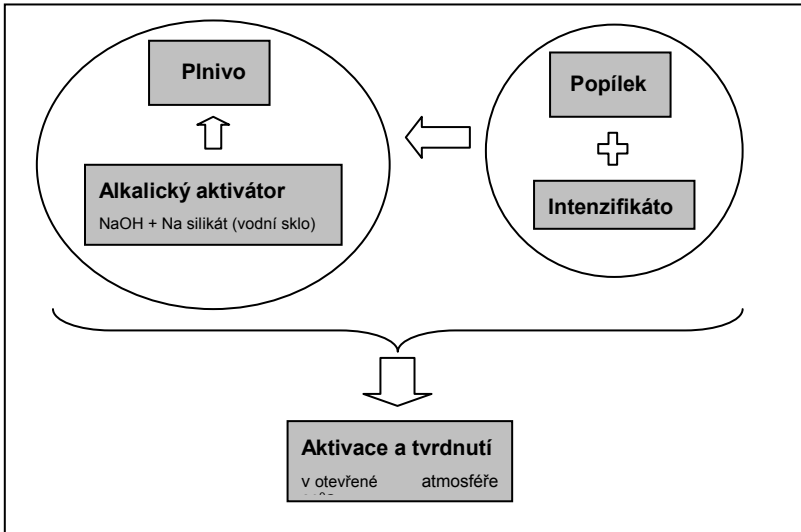
- těžené kamenivo 0-4 mm, lokalita Dobříň
- drcené kamenivo 4-8 mm, lokalita Zbraslav
- drcené kamenivo 8-16 mm, lokalita Zbraslav
- hnědouhelný nebo černouhelný popílek, lokalita Opatovice, Dětmarovice, Freiberg
- vodní sklo (Na silikát)
- hydroxid sodný (Na(OH))
- regulátor tvrdnutí

Tab. 2 – Složení netemperovaných sérií

123	Opatovice – hnědouhelný
147	Opatovice – hnědouhelný
126	Kladno – fluidní
129	Freiberg - EFA fuller - černouhelný
146	Dětmarovice – černouhelný

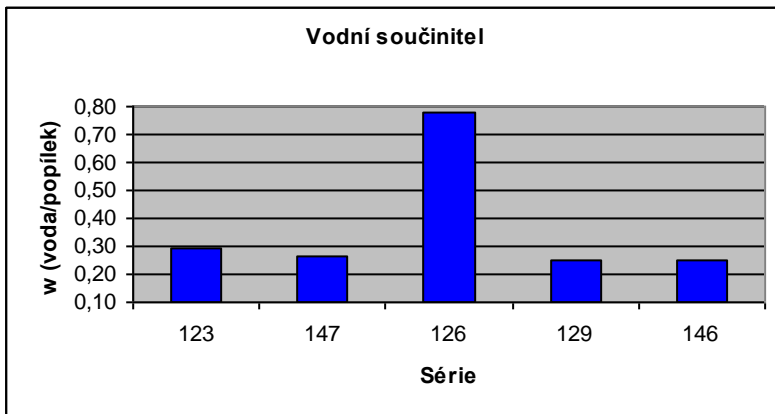
S ohledem na jinou technologii přípravy POPbetonu[®] za studena, bylo potřeba najít jiný optimalizovaný postup míchání pro tuto variantu. Postup byl tedy zaveden podle následujícího schématu. U série 147 byl postup míchání obměněn tak, že nejprve byl aktivován samotný popílek a ten byl

poté přidán ke kamenivu a celé směs byla zamíchána. Opět byla zhotovena zkušební tělesa o rozměrech 100 x 100 x 100 mm.



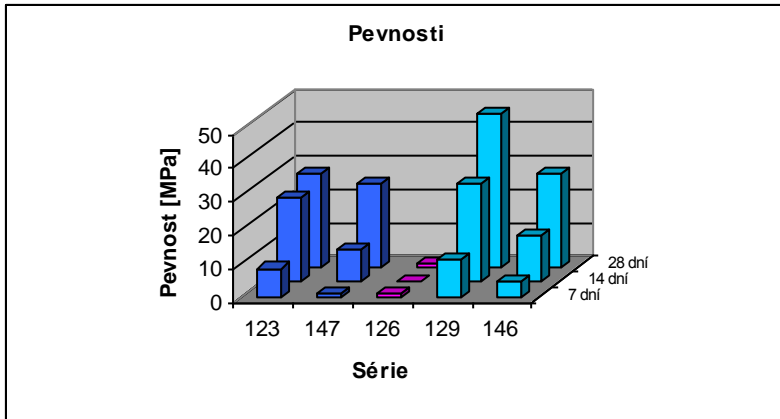
Obr. 5 – Schéma míchání POPbetonu® - za studena

Vodní součinitele byly opět voleny s ohledem na požadavek na co nejmenší množství vody v kompozici a dodržení stejné zpracovatelnosti směsi u všech sérií.



Obr. 6 – Graf vodního součinitele – za studena

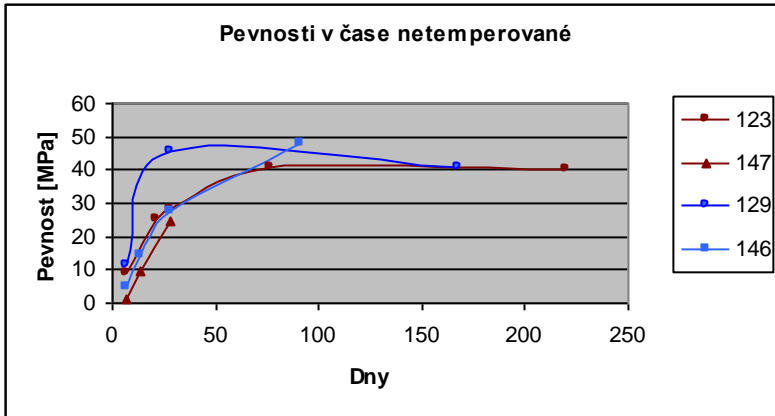
Z hlediska zpracování se fluidní popílek z Kladna projevil jako nezpracovatelný dokud nebylo přidáno velké množství záměšové vody. Zřejmě to bylo způsobeno vysokým obsahem CaO v samotném fluidním popílku. Výsledky série 126 ovšem nekorespondovaly s ostatními popílkami, proto byl fluidní popílek z dalších zkoušek vyloučen.



Obr. 7 – Graf pevností POPbetonu[®] - za studena

Pevnosti POPbetonu[®] byly opět zkoumány po 7, 14 a 28 dnech. Dále byly provedeny orientační měření pevností v čase. Všechny pevnosti vykázaly pozvolnější nárůst než tomu bylo u temperované varianty. Z hlediska srovnání s temperovanou variantou jsou výsledné pevnosti po 28 dnech o cca. 10 MPa nižší. Vzorky zhotovené z fluidního popílku (série 126) měly velmi nedobrou soudržnost a měření pevností na nich bylo skoro nemožné. Vzorky navíc v otevřené atmosféře vykazovaly velké množství výkvětů. Fluidní popílek byl tedy ze zkoušek výroby POPbetonu[®] zcela vyloučen.

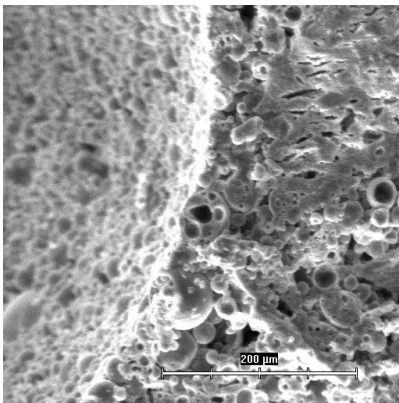
Zajímavé výsledky přineslo orientační pozorování dlouhodobých pevností těles vyrobených za studena. Nárůst pevností je v tomto případě pozvolnější a celá technologie je velmi náročná na dodržení přesného dávkování záměšové vody. Nárůst pevností probíhá až do cca stého dne stáří vzorku. Výsledné pevnosti jsou zhruba o 5 MPa nižší nežli jsou u vzorků temperovaných.



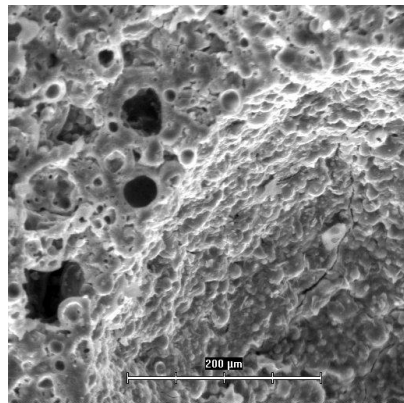
Obr. 8 – Graf pevností POPbetonu[®] v čase – za studena

Mikrostruktura

K pozorování mikrostruktury vzniklého geopolymery byla u obou variant (temperované i vyrobené „za studena“) vytvořena zkušební tělesa pouze z aktivovaného popílku. Popílkový tmel byl ponechán 28 dní k vyzrání a poté byl zkoumán na elektronovém mikroskopu. Byla zkoumána zejména struktura hmoty na lomu.

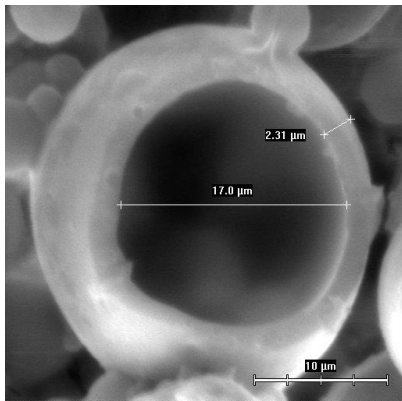


Obr. 9 – Struktura lomu a póru POPbetonu[®] – za studena

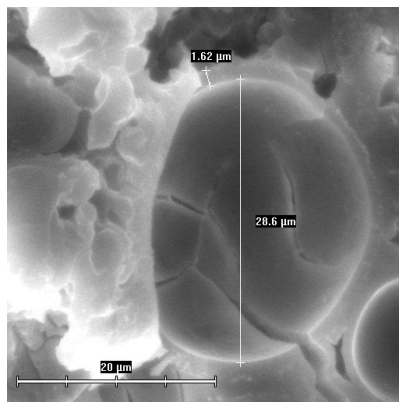


Obr. 10 – Struktura lomu a póru POPbetonu[®] – temperováno

Ze struktury lomu u temperované varianty je vidět, že hmota je více slinutá a kompaktní, avšak také více pórovitá. Struktura póru (jakési vnitřní bubliny) je již více odlišná. U temperované varianty je vnitřek póru velmi slinutý, protkaný jemnými trhlíčkami. U varianty připravené za studena je vnitřek póru tvořen jednotlivými zrníčky popílku, která jsou jasně rozeznatelná jako jakési malé kuličky. Ještě více prozrazuje obrázek zrna popílku v lomové struktuře hmoty.



Obr. 11 – Zrníčko popílku na lomu POPbetonu® – za studena



Obr. 12 – Zrníčko popílku na lomu POPbetonu® – temperováno

U temperované varianty se zdá, že je stěna zrníčka popílku více spojena s okolní slinutou hmotou. zároveň jsou dobře vidět praskliny procházející skrz celo strukturu i skrz samotné popílkové zrníčko.

Jak se ukazuje, bude potřeba celý mikroskopický průřez provádět v delší časové periodě tak, aby korespondoval s růstem pevností na kontrolních tělesech.

Závěr

Aktivace popílku za studena stále ještě má své rezervy jak odhalil mikroskopický průřez. Zároveň příliš dlouhý nárůst pevností tento druh materiálu zatím mírně znevýhodňuje v porovnání s klasickými betony. Ačkoli byly již vytvořeny první výrobky z POPbetonu® v podobě zámkové dlažby a tato byla již jako experimentální úsek položena na volném prostranství, je potřeba hledat další intenzifikátory geopolymerní reakce, které dokážou celý proces převést do průmyslové výroby.

Poděkování

Celý tento výzkum je realizován v rámci grantu GAČR 103/05/2314 „Mechanické a inženýrské vlastnosti geopolymerních materiálů na bázi alkalicky aktivovaných popílků“ a výzkumného záměru MŠM 6046137302 „Příprava a výzkum funkčních materiálů a materiálových technologií s využitím mikro a nanoskopických metod“.

Na řešení tohoto úkolu v jednotlivých dalších fázích spolupracují: Josef Doležal³, Tomáš Strnad³, Jaroslav Jeništa³, Gabriela Tlapáková³, Pavel Houser³, František Škvára⁴, Lenka Myšková⁴, Simona Pawlasová⁴

Literatura

- [1] Hardjito, D.- Regan, B. V. Development and Properties of Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete., Research report GC1, Australia, Perth: Curtin University of Technology, 2005, 103 s.
- [2] SVOBOBA, 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, 121 s.

³ ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K122 - Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 199 29 Praha 6 - Dejvice, pavel.svoboda@fsv.cvut.cz

⁴ Vysoká škola chemicko-technologická, ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha 6 - Dejvice, Frantisek.Skvara@vscht.cz