

POPÍLKOVÝ BETON

*Pavel Svoboda, Josef Doležal, Kamil Dvořáček,
Martin Lucuk, Milan Žamberský¹, František Škvára²*

1. Úvod

Na základě několikaletého výzkumu který realizovala VŠCHT katedra skla na silikátů, v oblasti aktivace uhelných úletových popílků z velkých topenišť na bázi geopolymerní reakce, byly dosaženy velice zajímavé výsledky v oblasti fyzikálně mechanických vlastností takto aktivovaných popílků, zejména pokud se týká pevnostních charakteristik a odolnosti proti různým vlivům. V tomto smyslu byla v závěru roku 2003 po vzájemné dohodě navázána úzká spolupráce s ČVUT fakultou stavební, katedrou technologie staveb, jejímž cílem bylo rozvinout možnosti využití aktivovaných popílků ve stavební praxi.

Z obou jmenovaných fakult byla vytvořena skupina odborných pracovníků, pověřených zkoumáním využitelnosti aktivovaných popílků jako pojiva do složené směsi přírodního těženého i drceného kameniva s cílem vytvořit beton s pojivem aktivovaného úletového popílku a s absencí hydratujících složek. Pro tento účel byl celý program výzkumu zaměřen zejména na kamenivo podobného složení, které se používá při výrobě cementového betonu a s ohledem na hlavní složku pojiva byl pro rozlišení použit název POPbeton.

¹ SVOBODA Pavel, doc., Ing., CSc., pavel.svoboda@fsv.cvut.cz, DOLEŽAL Josef, Ing., DVOŘÁČEK Kamil, Ing., LUCUK Martin, Ing., ŽAMBERSKÝ, Milan, Ing.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, kat. technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

² ŠKVÁRA František, doc. RNDr., DrSc., VŠCHT, Technická 4, 160 00 Praha 6

Ukázalo se, že geopolymerní reakcí aktivovaný popílek je schopen vytvořit ve směsi kameniva určité složené zrnitosti podobné pojivo, jakým je běžně známý portlandský cement. Aktivace popílku se uskutečňovala dávkou vodního skla a hydroxidu sodného v příslušném poměrném zastoupení. Tato skutečnost byla hlavním programem zkoumání vytvořené skupiny.

2. Experimentální řešení

V návaznosti na výsledky výzkumu geopolymerních reakcí samotného popílku byl program zaměřen na orientační zkoušky a vyhledávání optimálních vazeb mezi složeným kamenivem a množstvím aktivovaného popílku. V tomto smyslu bylo uskutečněno množství různých směsí kameniva s popílkem o různých vzájemných poměrech, při různém množství aktivátorů geopolymerní reakce a rozdílných teplotních režimech při temperování.

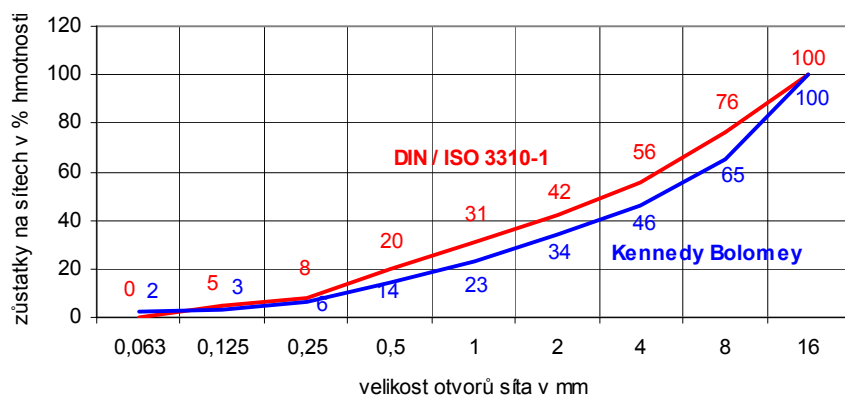
Používané kamenivo bylo složeno z drobného těžného kameniva frakce 0 – 4 mm z lokality Dobříň, drceného lomového kameniva frakce 4 – 8 mm z lokality Zbraslav a třetí frakci tvořilo drcené lomové kamenivo frakce 8 – 16 mm rovněž z lokality Zbraslav.

Pro zajištění nejvyšší dosažitelné objemové hmotnosti složeného kameniva s uvedených zrnitostních frakcí, byly porovnány dvě vzorové křivky zrnitosti a to DIN/ISO 3310-1 a kombinovaný výpočet dle metod Kennedyho a Bolomeye s převažujícím vlivem drcených frakcí. Porovnání obou zrnitostních křivek je uvedeno v následující tabulce.

S přihlédnutím k charakteristice POPbetonu, byla zvolena alternativa kombinace Kennedyho a Bolomeye, které lépe vyhovují pomalé viskozitě aktivovaného popílku. Zrnitostní křivky jednotlivých frakcí použitého kameniva jsou znázorněny v následujícím grafu.

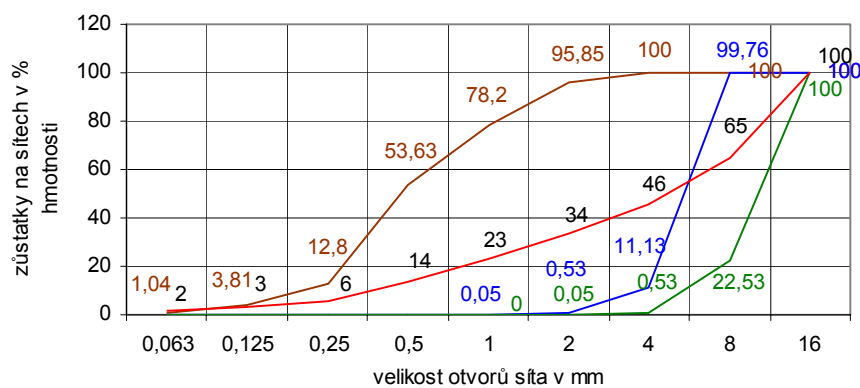
Průběh výsledného zrnitostního složení v porovnání s uvedenou křivkou je v následujících diagramech.

Vzorová křivka zrnitosti podle DIN / ISO 3310-1 a kombinovaného výpočtu Kennedy - Bolomey pro plastifikované betony 0/16 mm



Takto složené kamenivo tvořilo základní neměnný etalon pro variace množství aktivovaného popílku.

Křivky zrnitosti kameniva frakce 0/4 mm, frakce 4/8 mm, frakce 8/16 mm pro POPbeton ve vztahu k ideální křivce.

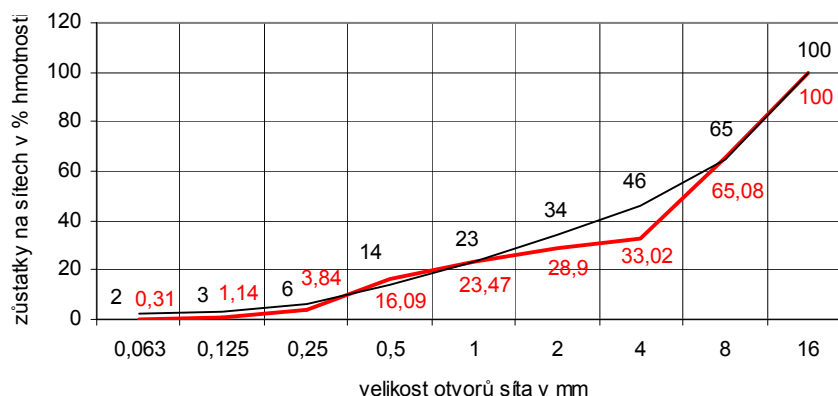


V průběhu ověřovacích a kontrolních zkoušek bylo zhotoveno téměř 40 sérií v různých poměrech dávkování popílku, s různou dobou temperování

i různou teplotou apod. Celkem bylo uskutečněno přes 240 pevnostních zkoušek a více jak 900 různých souvisejících stanovení.

Aktivace popílkového pojiva se uskutečňuje určitou poměrnou dávkou vodního skla a hydroxidu sodného s následným ohřevem na danou teplotu v určitém časovém horizontu. U obou aktivátorů v roztocích byla předem zjištěna jejich koncentrace a dávkování se uskutečňovalo přepočtem na množství sušiny. Tak bylo možné rozlišit skutečný vodní součinitel součtem vody v obou roztocích a vodou přidávanou na nezbytnou celkovou konzistenci POPbetonu.

**Složená křivka zrnitosti kameniva 0/4 30%, 4/8 25 % 8/16
45% v porovnání se vzorovou křivkou.**



Z hlediska zpracování se aktivovaný popílek projevuje poměrně velmi pomalou viskozitou a při zpracování vyžaduje delší dobu než je běžná u cementového betonu a to bez ohledu na technologii zpracování, jako je vibrace, dusání, nebo i lití. Reologické vlastnosti čerstvé popílkové kompozice jsou v porovnání s čerstvým cementovým betonem až pětikrát pomalejší při všech typech zpracování. Statická i dynamická viskozita je relativně velice pomalá.

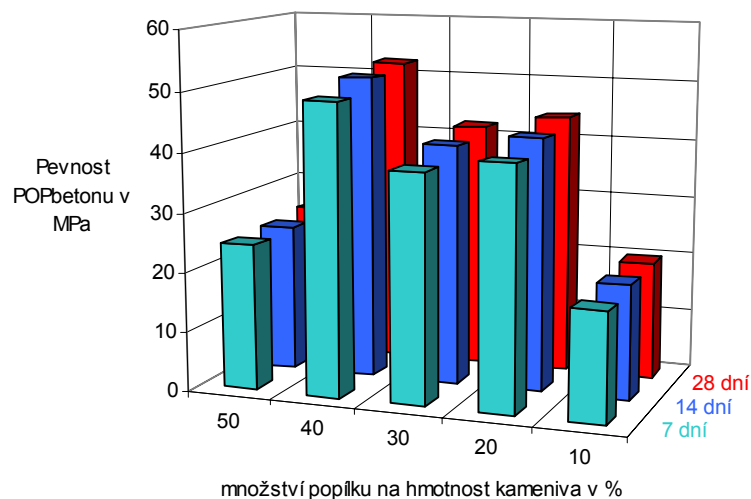
Bylo prokázáno, že aktivovaný popílek jako pojivo, ve vhodném složení s běžným kamenivem složené zrnitosti používaném v betonovém stavitelství vykazuje pevnosti srovnatelné s běžným cementovým betonem s tím, že po ukončeném temperování nejsou pevnosti ještě konečné, a dochází dále k jejich mírnému nárůstu. V průměru po 7 dnech 92%, po 14 dnech 97%, po 28 dnech 100%.

V průběhu orientačních zkoušek byla sledována jak doba temperování, tak i teplota pro aktivaci polymerní reakce. V současné fázi zkoumání je třeba konstatovat, že optimální výsledky byly dosaženy při temperování vzorků na teplotu 80° C po dobu 24 hodin.

Kromě samotného aktivovaného popílku byly zkoušeny orientačně další příměsi v množství až 20% z hmotnosti popílku. Jako nejlepší příměs se projevila další odpadní surovina, kterou je mletá struska. Zatímco aktivovaný popílek ve složeném kamenivu vykázal po temperování pevnosti 53,- MPa, s příměsí 20% strusky na hmotnost dávkovaného popílku se zvýšila pevnost na 62,- MPa.

Vodní součinitel vyjadřovaný poměrem vody ku popílku tvoří veškerá voda v kompozici ku hmotnosti popílku. To je voda obsažená v roztocích a voda přidávaná pro případné zlepšení konzistence. Velikost tohoto vodního součinitele má přímou vazbu na výslednou pevnost, podobně jako je tomu u cementového betonu. Zvýšení vodního součinitele při nadměrném množství popílku částečně zlepšuje konzistenci kompozice, avšak na druhé straně dochází k segregaci hrubého kameniva a to i v těch případech, kdy má kompozice litý charakter a není vibrovaná.

Vliv množství popílku na výslednou pevnost POPbetonu



Pozn: nízká pevnost při dávce 50% popílku z hmotnosti kameniva byla způsobena nesprávným poměrem aktivátorů.

3. Závěr a výhled dalších prací

Na základě dosud uskutečněných zkoušek a jejich výsledků, je program dalšího sledování rozdělen do několika dílčích částí a to:

- sledování využitelnosti POPbetonu v běžné stavební výrobě
- sledování využitelnosti POPbetonu ve stavební prefabrikaci
- návrh postupu a způsobu míchání jednotlivých komponentů
- stanovení optimálního způsobu zpracování čerstvého POPbetonu
- hledání způsobu jak snížit energetickou náročnost temperování
- zkoumání všech dosažitelných typů chemické odolnosti
- zjišťování odolnosti proti účinkům střídavého mrazu a tání i proti účinkům rozmrazovacích látek
- výzkum odolnosti POPbetonu při vysokých teplotách
- návrh složení POPbetonové kompozice odolné proti žáru

S tímto uvedeným programem souvisí celá řada dalších ověřovacích zkoušek a stanovení, které jsou předmětem dalšího zkoumání. Kromě již uvedených rámcových bodů výzkumu se jedná o řadu společných jmenovatelů které mají, nebo mohou mít vliv na výsledný efekt charakteristických vlastností POPbetonu, jako je např. rozdílnost různých lokalit a producentů popílku.