

BETON BEZ CEMENTU S NÁZVEM POPBETON

***Pavel Svoboda², Josef Doležal², František Škvára¹, Lubomír Kopecký¹,
Martin Lucuk², Kamil Dvořáček², Lenka Myšková¹, Simona
Pawlasová¹, Martin Beksa², Rostislav Šulc²***

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 praktického užití ve stavební praxi.

Vliv přísad a příměsí v POPbetonu na jeho hodnoty zejména fyzikálně mechanických a chemických vlastností.

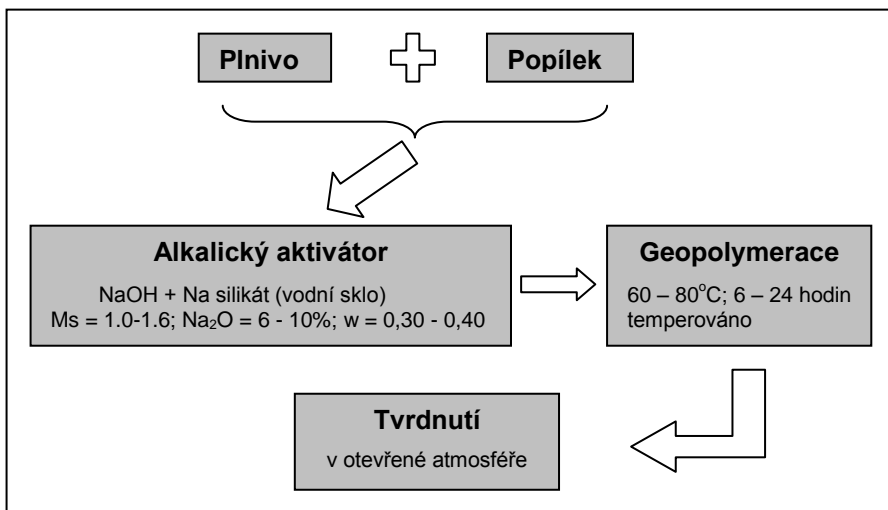
Pracovníci obou fakult se zabývají aktivováním samotného popílku pomocí geopolymerní reakce jako samostatného pojiva, které ve spojení se složeným kamenivem tvoří po ztvrdnutí stavební hmotu, která s ohledem na popílkové pojivo byla nazvána POPbeton. Pod stávajícím vžitým názvem popílkový beton se skrývá cementový beton s příměsí popílku jako jemné inertní složky doplňující plnivo. V příspěvku jsou předloženy rozhodující výsledky tohoto výzkumu a praktického užití s přihlédnutím k fyzikálně mechanickým vlastnostem POPbetonu s použitím jiného pojivového systému než cementového.

¹ ŠKVÁRA František, Doc.RNDr.,DrSc., frantisek.skvara@vscht.cz, KOPECKÝ Lubomír, MYŠKOVÁ Lenka, PAWLASOVÁ Simona, Ing.,VŠCHT, Ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha 6

² SVOBODA Pavel, Doc. Ing.,CSc., pavel.svoboda@fsv.cvut.cz, DOLEŽAL Josef, LUCUK Martin, Ing., DVOŘÁČEK Kamil, Ing., ŠULC Rostislav, Ing., BEKSA Martin, Ing., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

V průběhu řady zkoušek se ukázalo, že geopolymerní reakcí aktivovaný popílek je schopen vytvořit ve směsi přírodního, případně i umělého kameniva tedy vesměs inertního plniva s absencí hydratujících složek pojivo s dokonalou přilnavostí, jakou vykazuje běžně známý portlandský cement. Pro tento účel byl v první fázi celý program výzkumu zaměřen zejména na plnivo kterým bylo přírodní těžené i drcené kamenivo. Byla optimalizována křivka zrnitosti podobného složení, jaké se používá při výrobě cementového betonu. Dále byla provedena optimalizace množství úletového popílku ve směsi a optimalizace poměrů aktivátorů geopolymerní reakce. Princip geopolymerní aktivace je uveden na obr. 1.

Obr.1: Schéma geopolymrace popílkového betonu



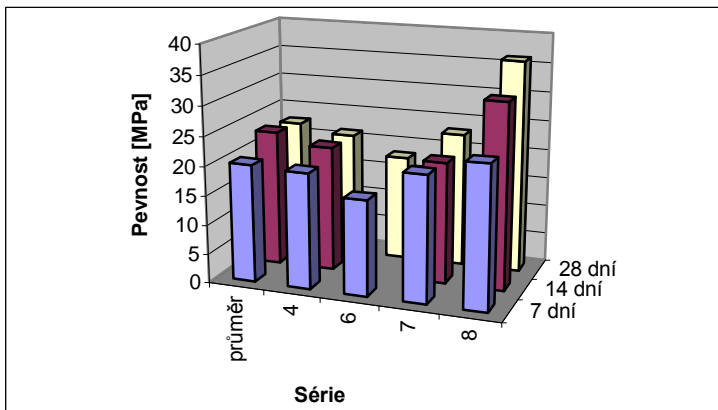
Rovněž byla pro srovnání využita řada aktivních příměsí až do 20% z hmotnosti popílku, jako je mletý vápenec, mletá struska, portlandský cement, bentonit, metakaolin, mikrosilika a pod. V tab. 1 jsou seřazeny příměši a jejich množství v závislosti na množství popílku z fáze, kdy byla optimalizováno množství popílku a poměr aktivátorů.

Tab.1: Příměši v první fázi optimalizace složení

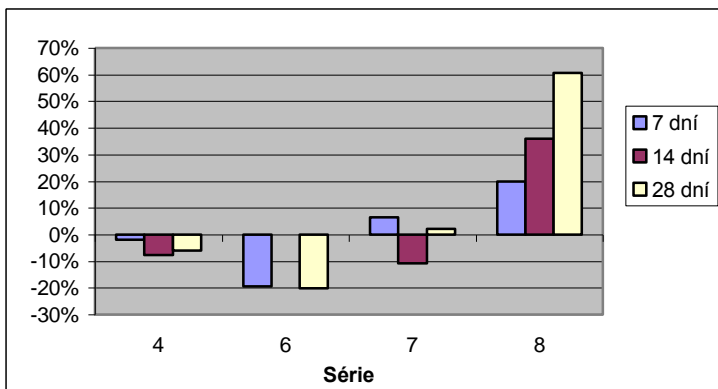
Série	Přísada	Množství z hmotnosti popílku
4	vzdušné vápno (vápenný hydrát)	20%
6	mikrosilika	10%
7	mletý vápenec - Čertovy schody	20%
8	cement CEM II/B 37,5	20%

V grafu 1 jsou znázorněny pevnosti v tlaku, zkušební destruktivně na krychlích 100 x 100 x 100 mm po 7, 14 a 28 dnech, porovnané s průměrnými hodnotami dosahovanými na vzorcích bez přísad a příměsí. V grafu 2 je možné sledovat procentuální zlepšení či zhoršení pevností oproti průměru na vzorcích bez přísad a příměsí.

Graf 1: Pevnosti POPbetonu



Graf 2: Zlepšení/zhoršení pevností



Lze konstatovat, že mikrosilika pevnostní charakteristiky výrazně zhoršuje a naproti tomu cement vytvářející v POPbetonu klasický beton pevnosti zlepšil.

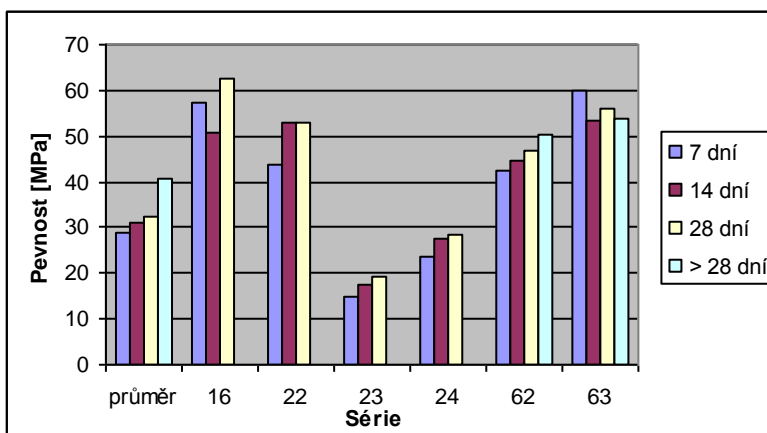
V tab.2 jsou opět seřazeny příměsí a jejich množství v závislosti na množství popílku tentokrát z fáze, kdy byla optimalizován poměr aktivátorů a popílku a zároveň byla optimalizována křivka zrnitosti plniva.

Tab.2: Příměsi ve druhé fázi optimalizace složení

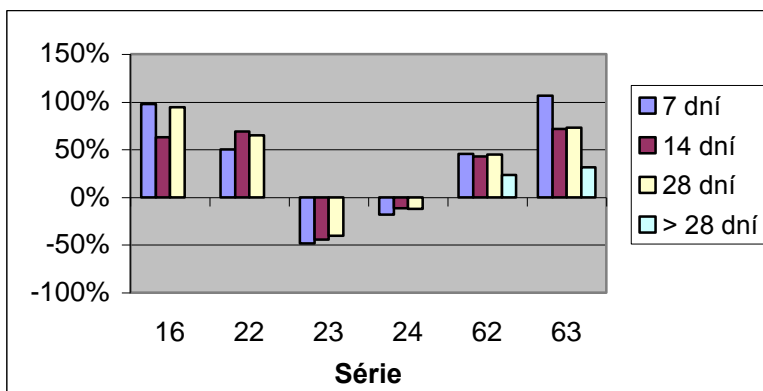
Série	Přísada	Množství z hmotnosti popílku
16	vysokopecní struska Štramberk	20%
22	vysokopecní struska Štramberk	20%
23	bentonit lokalita Obrnice	20%
24	vápenec lokalita Čertovy Schody	20%
62	mletý vápenec D 5	10%
63	vysokopecní struska	10%

V grafech 3 a 4 jsou opět znázorněny pevnosti na krychlicích a procentuální změny oproti průměru.

Graf 3: Pevnosti POPbetonu



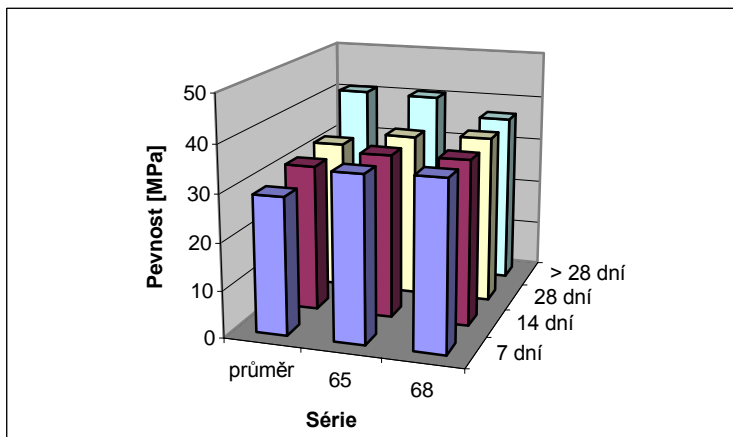
Graf 4: Zlepšení/zhoršení pevností



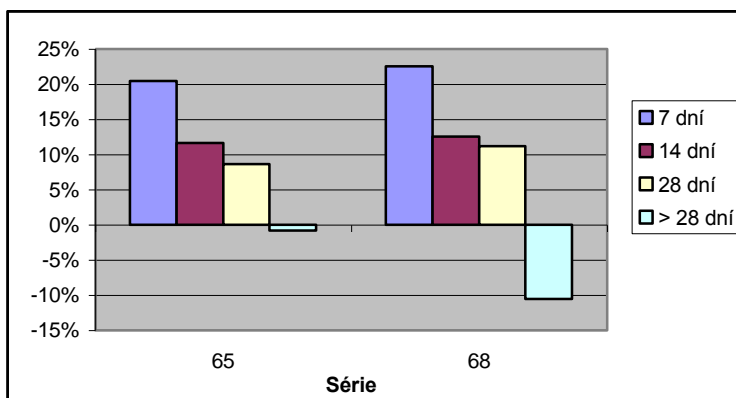
Lze konstatovat, že vysokopecní struska výrazně zlepšuje výslednou pevnost POPbetonu, obdobně se ve směsi chová i mletý vápenec, naopak bentonit, kde se očekávalo, že jeho jílová složka bude částečně reagovat v geopolymerní reakci, tak nakonec výslednou pevnost výrazně snížil.

Současně byly zkoušeny vlivy ocelových drátků, a ocelových prutů. V sérii 65 byla přidána rozptýlená výztuž Forta Ferro v množství 4% na hmotnost popílku a v sérii 68 byl ručně přidány drátky Uniwork typ EE-25 v množství 10% na hmotnost popílku. Výsledný vliv je shrnut v grafech 5 a 6.

Graf 5: Pevnosti POPbetonu s výztuží



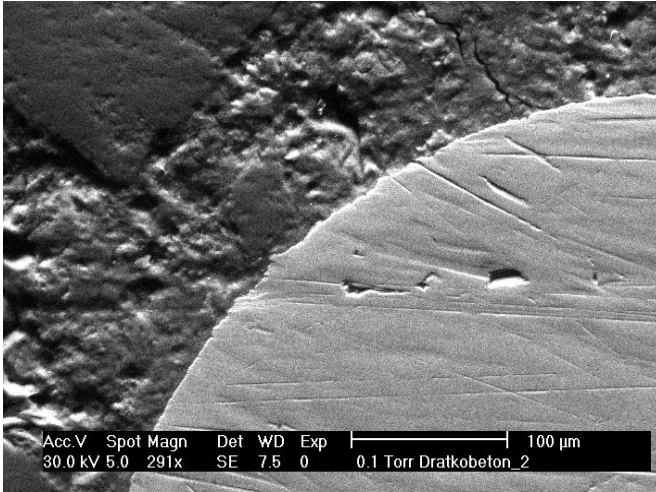
Graf 6: Zlepšení/zhoršení pevností



Zde je patrné, že drátková výztuž ovlivní příznivě zejména počáteční pevnosti POPbetonu.

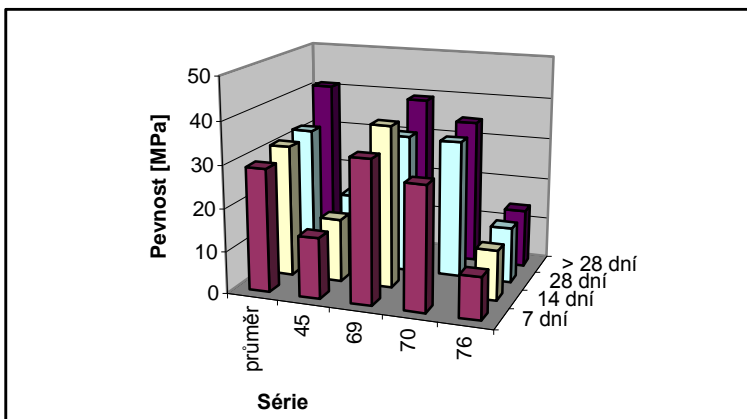
O tom jak dokonale POPbetonová směs přilne ke kovové mikro-výztuži svědčí fotka pořízená elektronovým mikroskopem.

Foto 1: POPbeton s mikro-výztuží

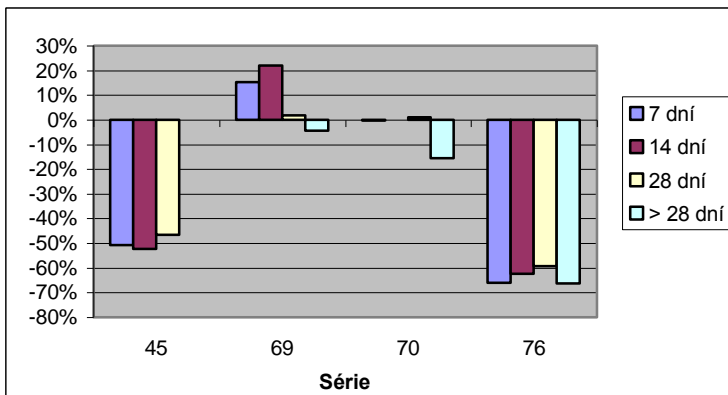


Pro lepší zpracovatelnost kompozice byly provedeny zkoušky se ztekucovadly a provzdušňovadlem. V sérii 45 byl použit ztekucovač Woerment SF na bázi sulfonát naftalenu a rhodanidu v množství 2% na popílek, v sérii 69 ztekucovač Woerment FM 794 v množství 4,2% na popílek, sérii 70 bylo použito provzdušňovadlo Woerment LP 70 v množství 12% na popílek a v sérii 76 bylo použito 10% zelené skalice z důvodů snížení výkvětů na povrchu POPbetonu. V grafech 7 a 8 jsou opět shrnuty výsledky.

Graf 5: Pevnosti POPbetonu



Graf 6: Zlepšení/zhoršení pevností



Plastifikující přísada Woerment SF se nakonec ukázala jako naprosto nevhodná, stejně tak jako použití zelené skalice. Snížení pevností bylo razantní a lze jej přičíst za následek složení obou přísad.

Uskutečněné zkoušky příměsí prokázaly ve všech případech určitý pozitivní vliv na chování čerstvého i tvrdého POPbetonu, při čemž postup výroby POPbetonu až do fáze zpracování je téměř identický s výrobou cementového betonu.

Studená syntéza POPbetonu

Úvodní postup výroby spočíval po zpracování do forem v urychlení geopolymerní reakce následným temperováním teplotou až 80°C.

Tento způsob výroby POPbetonu přes řadu výhod zejména v získání výrazné pevnosti téměř bezprostředně po temperování se ukázal pro běžné stavební využívání zejména „In Situ“ jako nevhodný a proto byly zahájeny intenzivní práce na způsobu výroby a zpracování POPbetonu s vyřazením energeticky i technologicky náročného způsobu temperování.

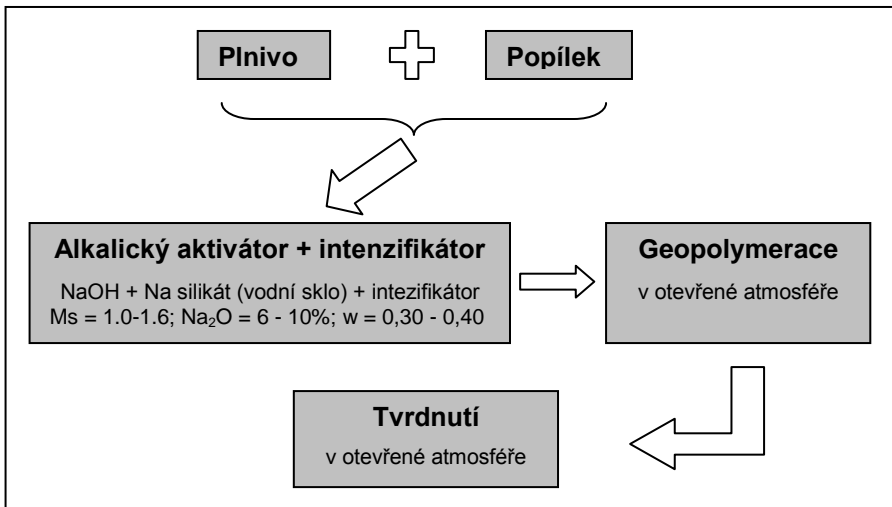
Jako vhodný iniciátor celé reakce se z počátku projevil metakaolin. Obecně je známá skutečnost, že v případě kaolinické složky ve formě metakaolinu jako určité formy hliníku (sloučenina hliníku s křemíkem) dochází ke geopolymeraci i v laboratorních podmínkách v otevřené atmosféře. Proto byl metakaolin přidán v práškové formě do kompozice POPbetonu což mělo za následek určitý úspěch v počátečních pevnostech, avšak ukázalo se, že v tomto případě se dostává popílek téměř do pozice plniva podobně jako kamenivo. Aktivita popílku se sice projevuje, avšak z hlediska použití popílku jako pojiva je v tomto případě minimální.

Cílem výše uvedené výzkumné skupiny však je pozvednout úletový popílek z velkých spaloven uhlí na aktivní pojivovou složku v obecné úrovni betonového stavitelství a tím byl vytýčen úkol vyřadit metakaolin z celého procesu jako finančně nákladnou a výrobně energeticky náročnou složku.

Aby došlo k urychlenému nastartování geopolymerní reakce popílkového pojiva bez temperování byl částečně změněn poměr plniva ku pojivu a poměr aktivátorů a navíc byl použit intenzifikátor, pomocí kterého se daří geopolymerní reakci v popílků nastartovat.

Tento nový technologický postup byl identický s předchozím, avšak změnou vzájemného poměru složek a použitím intenzifikátoru odpadlo temperování a postup „studené syntézy“ tedy spočívá v následujících uvedených krocích dle schématu na obr. 2.

Obr.2: Schéma geopolymrace popílkového betonu



Závěr

Dalším bodem vyhledávacích zkoušek bude ověření vhodnosti použití některých přísad a příměsí, používaných v běžném cementovém betonu, a použitých v geopolymerním betonu připravovaném ohřevem.

Zatím se u geopolymerních betonů se ukázalo, že většina z přísad a příměsí nemá výrazný vliv na výslednou pevnost po 28 dnech. Mnoho přísad a příměsí dokonce prokázalo negativní vliv na geopolymerní beton.

Další pokusy se zaměří zejména na příměsí dopomáhající k aktivaci geopolymerní reakce za studena a dále na přísady a příměsí vedoucí k omezení tvorby výkvětů.

Výzkum obou pracovišť je prováděn v rámci úkolu č.103/05/2314 grantového systému GA ČR s názvem: „Mechanické a inženýrské vlastnosti geopolymerních materiálů na bázi alkalicky aktivovaných popílků“.