

OVĚŘOVACÍ PRŮZKUM VLIVU PŘÍRAD A PŘÍMĚSÍ NA BETON BEZ CEMENTU S NÁZVEM POPBETON®

Rostislav Šulc, Pavel Svoboda

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

V příspěvku jsou předloženy rozhodující výsledky ověřovacího průzkumu vlivu tradičních přísad a příměsí cementového betonu. Úkolem bylo ověřit vliv (zejména s přihlédnutím k fyzikálně mechanickým vlastnostem) a funkčnost těchto přísad a příměsí v novém bezcementovém betonu nazvaném POPbeton.

Úletový popílek jako nový druh pojiva v betonu

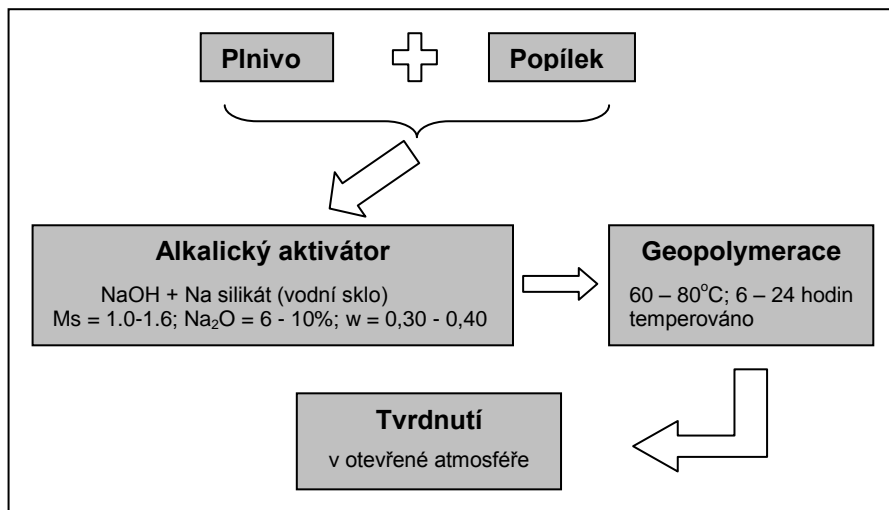
POPbeton je nový druh bezcementového betonu, založený na principu alkalické aktivace elektrárenských úletových popílků, ať už hnědouhelných nebo černouhelných. Výzkum alkalicky aktivovaných popílků probíhá od roku 2003, kdy byla navázána úzká spolupráce mezi Ústavem skla a silikátů VŠCHT a katedrou technologie staveb ČVUT FSv v Praze. Výzkum využití úletových popílků z velkých topenišť navazuje na program Ústavu skla a silikátů, který se zabývá již mnoho let výzkumem geopolymerní reakce. Cílem této spolupráce je aplikace získaných výsledků výzkumu do praktického užití ve stavební praxi.

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 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



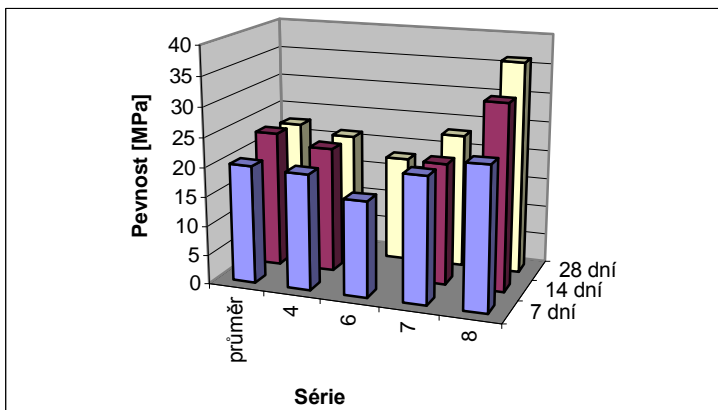
Rovněž byla pro srovnání využita řada aktivních příměsí až do 20% z hmotnosti popílku, jako je mletý vápenec, mletá struska, portlandský cement, bentonit, metakaolin, mikrosilika a pod. V tab. 1 jsou seřazeny příměsí a jejich množství v závislosti na množství popílku z fáze, kdy byla optimalizováno množství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

Tab.1: Příměsí v první fázi optimalizace složení

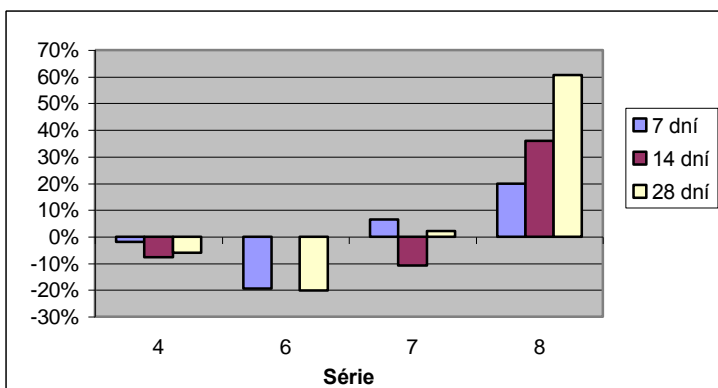
Série	Přísada	Množství z hmotnosti popílku
4	vzdušné vápno (vápenný hydrát)	20%
6	mikrosilika	10%
7	mletý vápenec - Čertovy schody	20%
8	cement CEM II/B 37,5	20%

V grafu 1 jsou znázorněny pevnosti v tlaku, zkušene 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 příměsi 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.

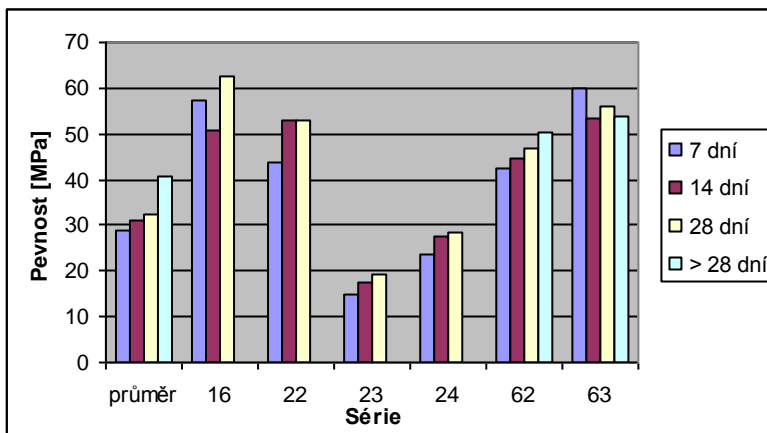
Tab.2: Příměsi ve druhé fázi optimalizace složení

Série	Přísada	Množství z hmotnosti popílku
16	vysokopecní struska Štramberk	20%
22	vysokopecní struska Štramberk	20%

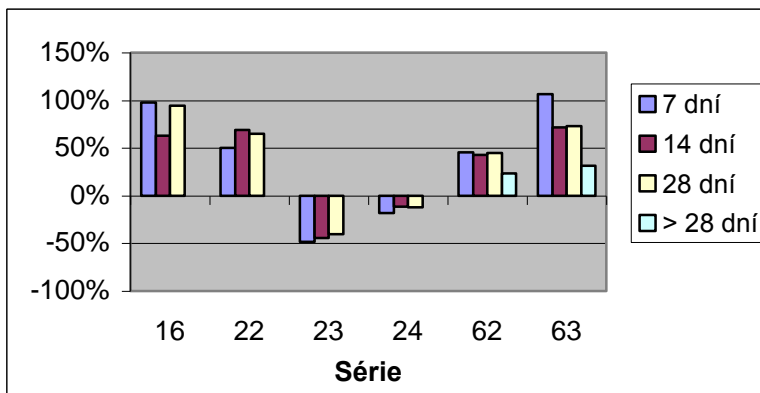
23	bentonit lokalita Obrnice	20%
24	vápenec lokalita Čertovy Schody	20%
62	mletý vápenec D 5	10%
63	vysokopecní struska	10%

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

Graf 3: Pevnosti POPbetonu



Graf 4: Zlepšení/zhoršení pevností

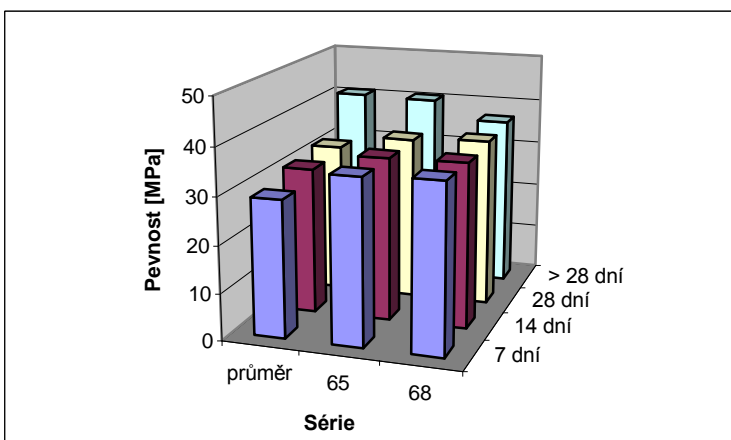


Lze konstatovat, že vysokopecní struska výrazně zlepšuje výslednou pevnost POPbetonu, obdobně se ve směsi chová i mletý vápenec, naopak

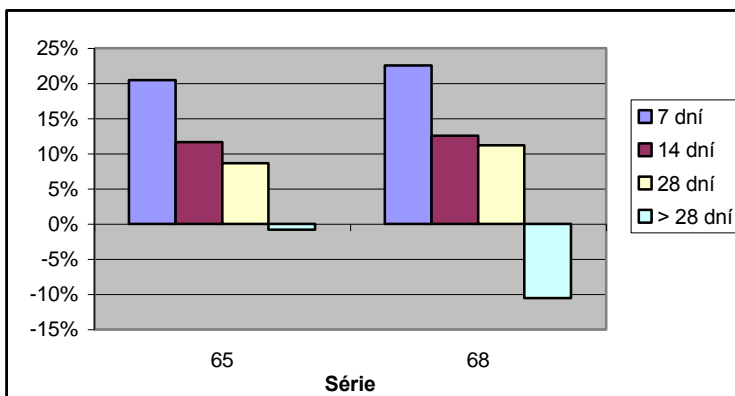
bentonit, kde se očekávalo, že jeho jílová složka bude částečně reagovat v geopolymerní reakci, tak nakonec výslednou pevnost výrazně snížil.

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 výstuží



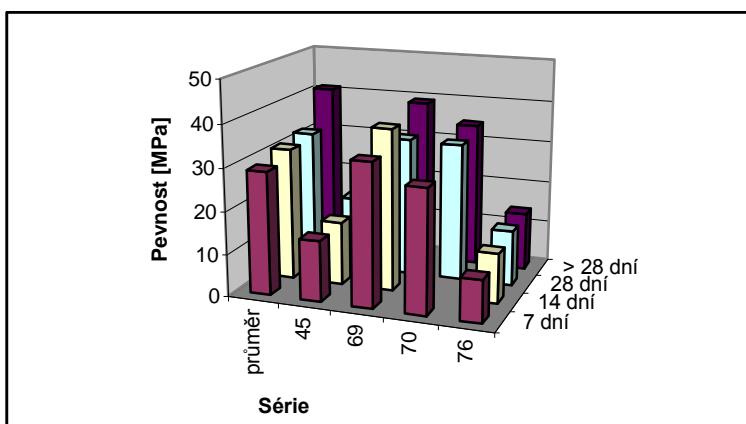
Graf 6: Zlepšení/zhoršení pevností



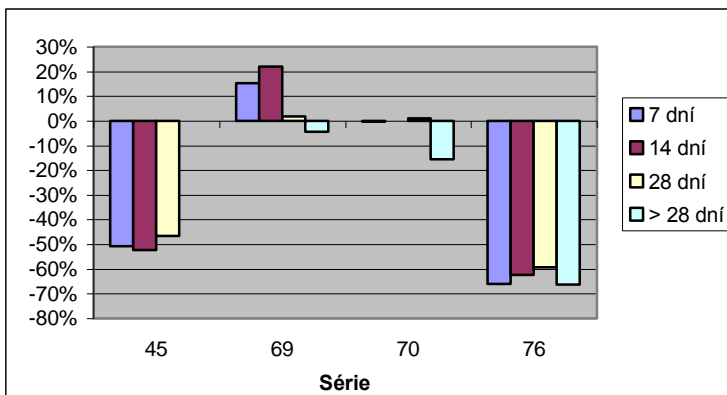
Zde je patrné, že drátková výztuž ovlivní příznivě zejména počáteční pevnosti POPbetonu.

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 výkvětu na povrchu POPbetonu. V grafech 7 a 8 jsou opět shrnuty výsledky.

Graf 7: Pevnosti POPbetonu



Graf 8: 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.

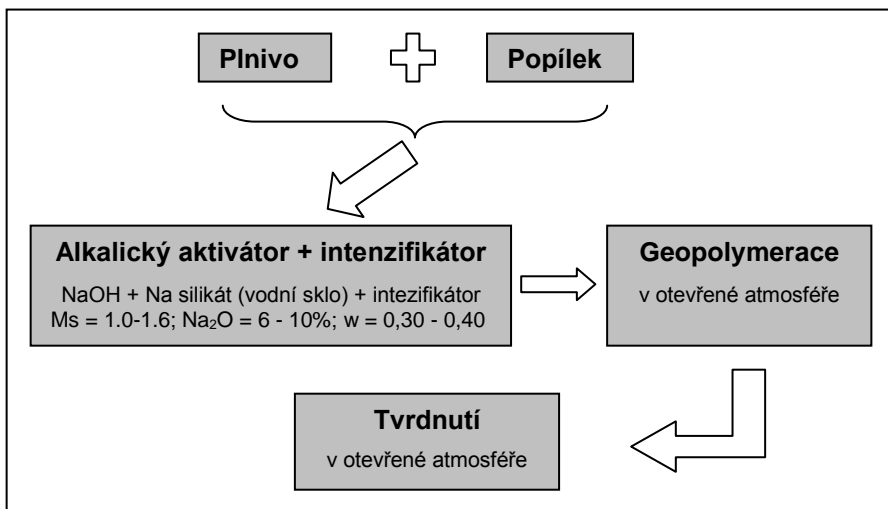
Jako vhodný iniciátor celé reakce se z počátku projevil metakaolin. Obecně je známá skutečnost, že v případě kaolinické složky ve formě metakaolinu jako určité formy hliníku (sloučenina hliníku s křemíkem) dochází ke geopolymeraci i v laboratorních podmínkách v otevřené atmosféře. Proto byl metakaolin 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 vytyčen 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 použitý intenzifikátor, pomocí kterého se daří geopolymerní reakci v popílku 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 geopolymerace 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.

Poděkování

Na řešení tohoto úkolu v jednotlivých fázích spolupracují: Josef Doležal¹, Kamil Dvořáček¹, Martin Lucuk¹, Rostislav Šulc, Lenka Myšková², Simona Pawlasová², Tomáš Strnad¹, Jaroslav Jeništa¹, Gabriela Tlapáková¹, Pavel Houser¹ Lubomír Kopecký¹

¹ České vysoké učení technické, fakulta stavební, katedra technologie staveb, Thákurova 7, 199 29 Praha 6, Česká republika kontakt svobodap@fsv.cvut.cz

² Vysoká škola chemicko technologická, ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika kontakt , Frantisek.Skvara@vscht.cz

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“.