

AKTIVACE POPÍLKU V POPBETONU BEZ TEMPEROVÁNÍ

ACTIVATION OF FLY-ASH IN POPBETON WITHOUT HEATING

Ing. Rostislav Šulc¹

Abstract

This paper describes the problem of a „cold“ activation of fly-ash concrete called POPbeton. POPbeton is a special sort of concrete without cement, in which is fly-ash used as a binder. In these days many research teams all around the world activate fly-ash by heating. We used special adulterants to activate fly-ash without heating. This paper shows the influence of quantity of fly-ash, and the influence of water-fly ash ratio to a compressive strength. There are some comparisons with fly-ash which was activated by heating.

1. 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 alkalické aktivace, který již několik let probíhal v Ústavu skla a silikátů. Cílem této spolupráce je aplikace získaných výsledků výzkumu do praktického užití ve stavební praxi. V příspěvku jsou předloženy některé výsledky výzkumu POPbetonu připravovaném takzvanou studenou aktivací. Zejména je zaměřen na ověření vlivu množství popílku ve směsi a ověření vlivu vodního součinitele.

2.1. POPbeton

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 odpadní materiály jako je například struska, metakaolin, drobný skleněný opad nebo jako materiál sloužící k solidifikaci některých nebezpečných odpadních materiálů. 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. Program 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. 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. Proběhlé ověřovací zkoušky na černouhelných popílcích prokázaly vyšší reaktivitu popílku a tím i lepší výsledné vlastnosti POPbetonu, které byly srovnatelné nebo lepší než výsledky dosažené v zahraničí. Vzhledem k množství produkováných typů popílků v Čechách však zůstává prioritou pro POPbeton

¹ Ing. Rostislav Šulc, rostislav.sulc@fsv.cvut.cz, školitel Doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc., svoboda@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

popílek hnědouhelný, případně směs obou popílků, která bude složením odpovídat poměru produkce obou druhů popílků

Hlavní výhodou tohoto materiálu je tedy snižování ekologické zátěže životního prostředí tím, že dochází k využívání odpadních materiálů. S tím souvisí i příznivá cena vstupních materiálů, která je výhodnější než u tradičních betonových pojiv. Nevýhodou zůstává nutnost temperování popílku spolu s alkalickými aktivátory, tak aby došlo k samotné aktivaci popílku. Proto byl výzkum po ověření základních vlastností POPbetonu aktivovaného temperováním zaměřen na možnost aktivace popílku bez nutnosti následného temperování.

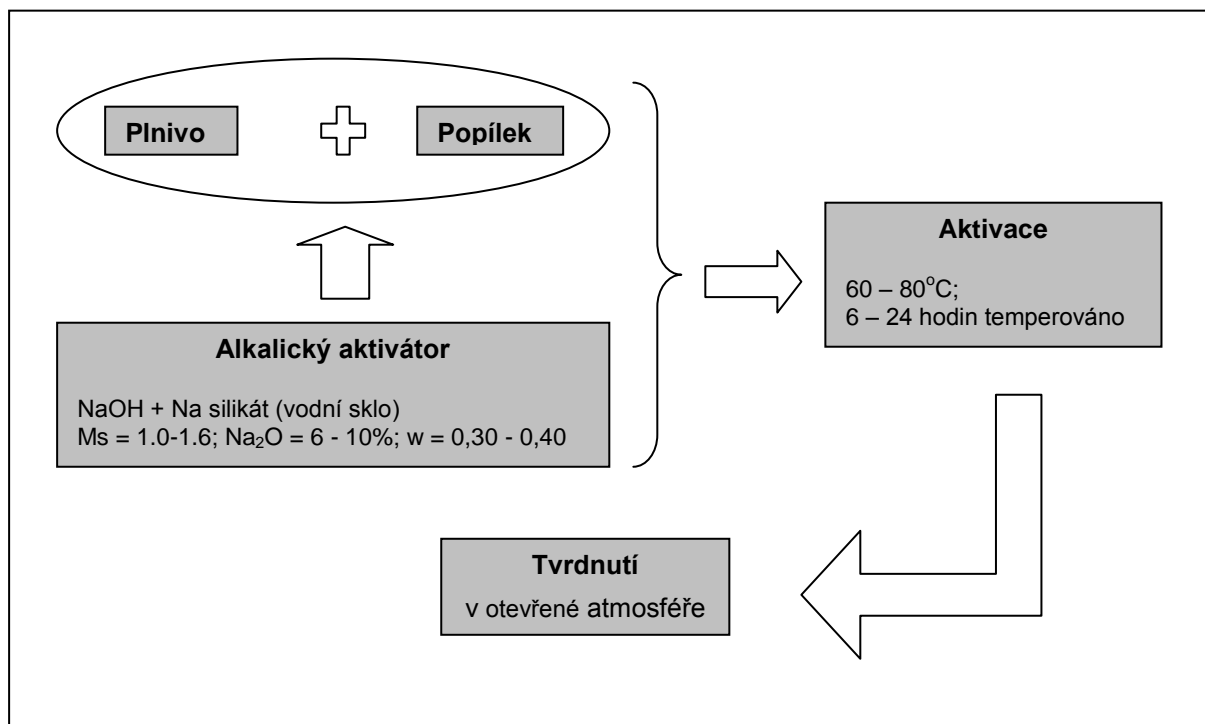
2.2. Příprava POPbetonu v temperované variantě

V první fázi výzkumu bylo nutné ověřit použití alkalicky aktivovaného popílku jako pojiva v betonové směsi. Dále bylo nutné ověřit rozhodující faktory pro složení optimální směsi v tomto pořadí.

- Vyhledat optimální množství samotného popílku v betonové směsi.
- V souvislosti s množstvím popílku bylo potřeba vyhledat optimální složení křivky zrnitosti pro použité kamenivo.
- Dále musel být stanoven správný poměr alkalických aktivátorů v betonové směsi.
- Nalézt správné množství alkalických aktivátorů na množství popílkového pojiva v betonové směsi.

Další a možná vůbec nejdůležitější částí bylo sestavení technologického postupu míchání POPbetonu. Bylo nutné se soustředit zejména na omezení vlivu volné vody ve směsi, neboť jak se ukázalo vysoký vodní součinitel výrazně zhoršoval výsledné vlastnosti směsi. Nakonec byl postup míchání upraven tak, jak ukazuje schéma na obrázku 1.

Obr. 1 – Schéma míchání POPbetonu



Podle tohoto schématu bylo při temperované variantě dosaženo nejlepších hodnot pevností na zkušebních tělesech, což byly kostky 100x100x100 mm, které byly zkoušeny destruktivní tlakovou zkouškou. Tento způsob výroby POPbetonu však není možné uplatnit pro výrobu bez nutnosti aktivace temperováním. Bylo nutné hledat příslušnou látku, která nastartuje alkalickou aktivaci bez nutnosti dodání energie ve formě tepla. POPbeton vyráběný za pomoci temperování má svoje omezení z hlediska použití a výroby. Právě nutnost dodávání tepla předurčuje tento materiál k výrobě prefabrikátů a spíše menších výrobků typu zámkové dlažby atd.

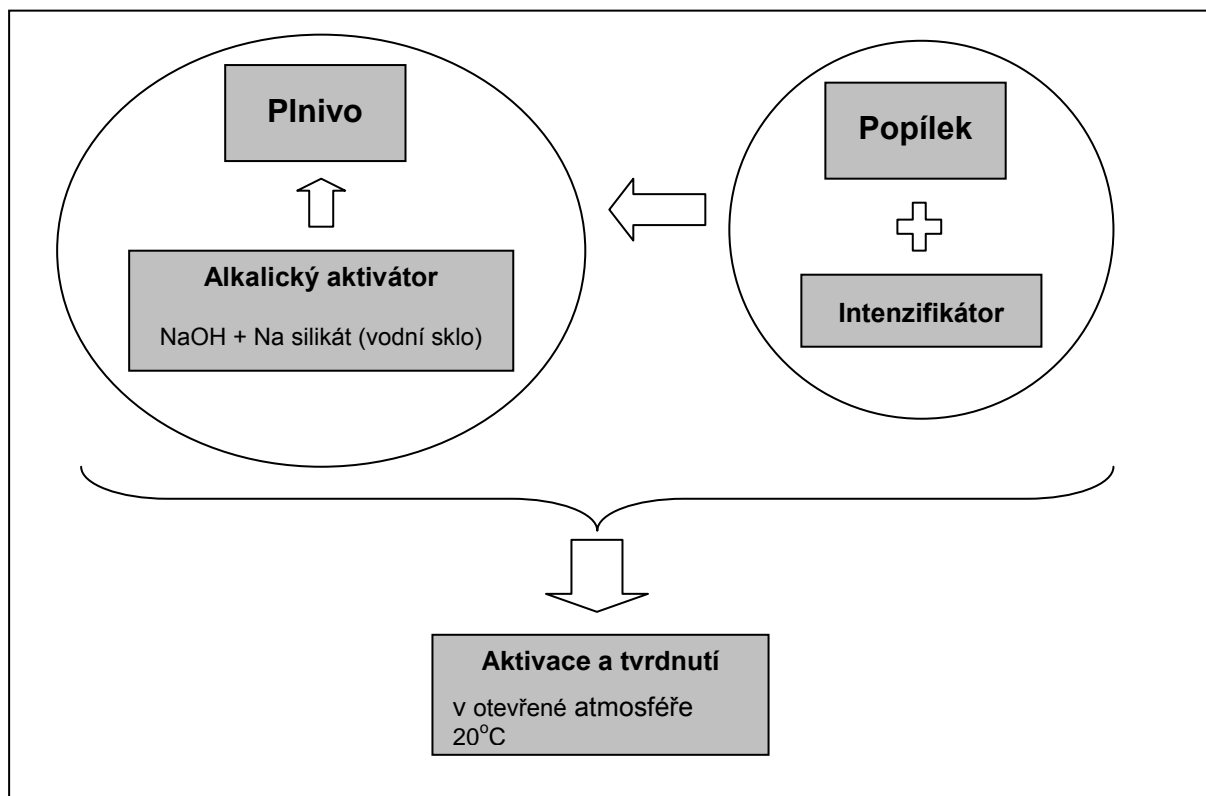
2.3. Příprava POPbetonu ve „studené“ variantě

Základním úkolem bylo nalézt takový způsob přípravy POPbetonu, aby bylo možné vynechat proces aktivace temperováním. Odpadl by tak nejvíce limitující faktor možného budoucího využití této nové stavební hmoty. Nakonec se povedlo najít vhodnou látku, která ve formě příměsi byla schopná nastartovat alkalickou aktivaci za běžných laboratorních podmínek. Tyto látky byly souhrně označeny jako intenzifikátory. Kvůli zvýšenému počtu látek vstupujících do reakce bylo opět potřeba pozměnit následující.

- Nalézt správné množství intenzifikátoru ve vztahu k popílku a ve vztahu k množství alkalických aktivátorů.
- Upravit množství alkalických aktivátorů na množství popílkového pojiva v betonové směsi.
- Vyhledat optimální množství samotného popílku v betonové směsi.
- Upravit zavedený postup míchání směsi vzhledem k nutnosti dodání intenzifikátoru.

Upravený postup míchání je schématicky naznačen na obrázku 2.

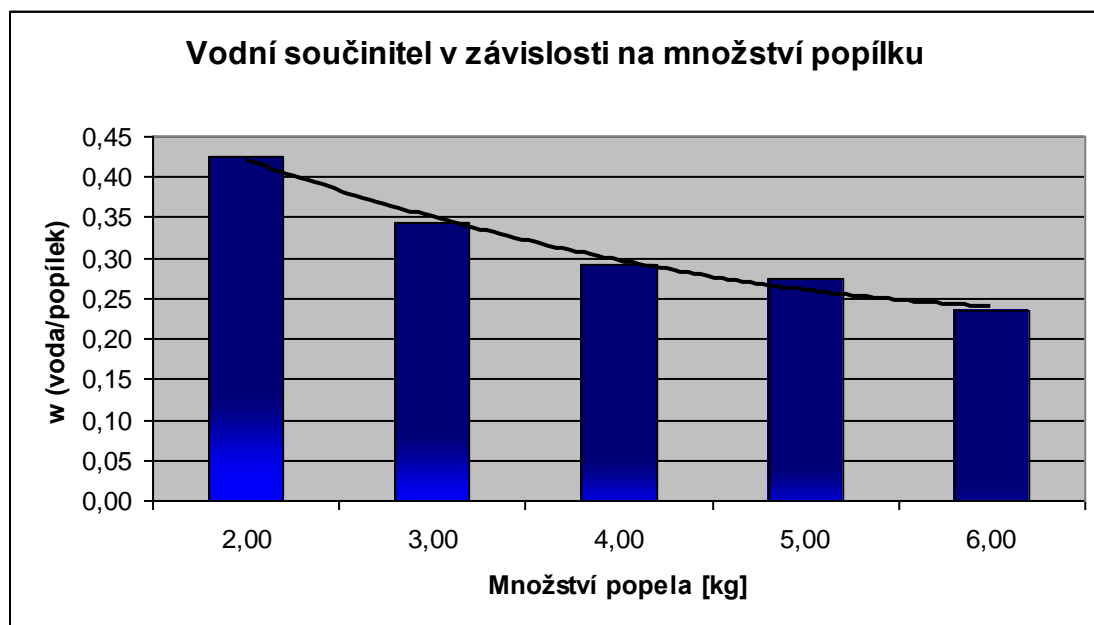
Obr. 2 – Schéma míchání POPbetonu ve „studené“ variantě



Postup míchání musel být změněn též z důvodu zachování co nejnižšího vodního součinitele, který se ukázal pro dosažení výsledných pevností jako klíčový. Pro vyhledání optimálního množství popílku pro aktivaci za studena bylo vyrobeno pět ověřovacích sérií s různým množstvím popílku na 1 m³ směsi. Vycházelo se z osvědčené hodnoty pro temperovanou verzi a to 400 kg popílku na 1 m³ směsi. Dále byly zhotoveny série s množstvím 200, 300, 500 a 600 kg na m³ směsi. Celkové množství směsi bylo redukováno na 10 litrů. Voda dodávaná do směsi byla přidávána jako volná na zvlhčení kameniva, dále v roztoku s alkalickými aktivátory a případně další v průběhu míchání, tak aby byla zaručena zpracovatelnost výsledné směsi. Poměr alkalických aktivátorů k sobě navzájem byl u všech sérií stejný. Množství alkalických aktivátorů bylo zvyšováno úměrně k množství popílku tak, aby poměr aktivátorů k množství popílku zůstal stejný. Množství intenzifikátoru se též zvyšovalo úměrně k množství aktivátorů. Zaměřili jsme se především na dosažení jisté manipulační pevnosti po 7 dnech a dále na pevnosti po 28 dnech, které jsou rozhodující u cementového betonu. Průběžně jsou sledovány i dlouhodobé pevnosti.

Následující graf ukazuje minimální (z hlediska zpracovatelnosti) dosažené vodní součinitele pro různá množství popílku.

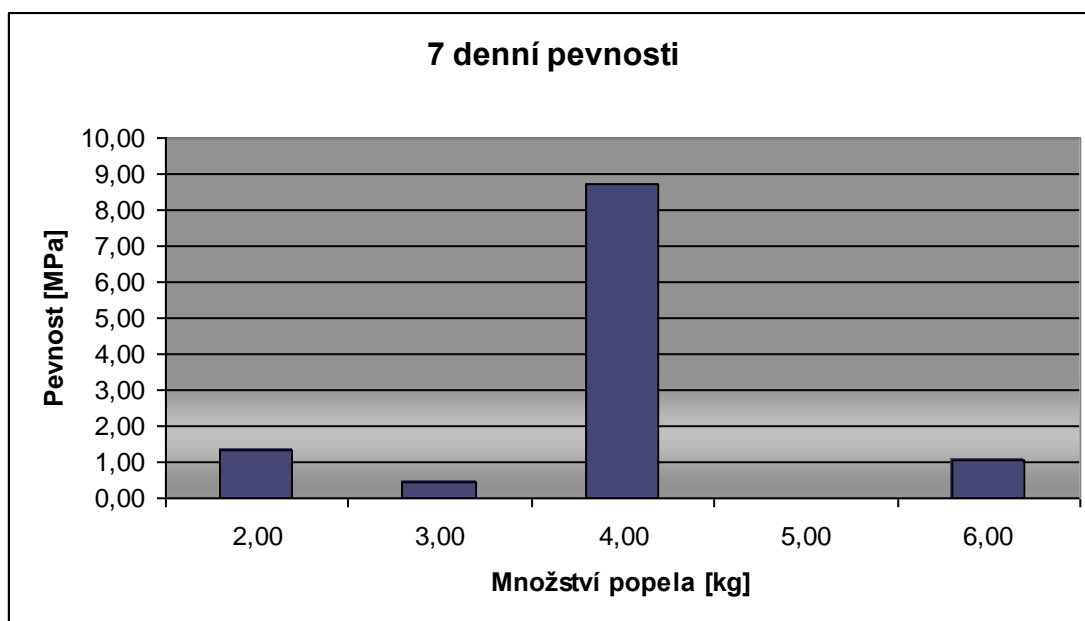
Obr. 3 – Vodní součinitel



Vzhledem k tomu, že v POPbetonu zajišťuje voda pouze transport alkalických aktivátorů k zrnům popílku, je její větší množství nežádoucí neboť díky jejímu delšímu odparu nedochází k nárůstu počátečních pevností. Je vidět, že v sérii s 5 kg na 10 litrů směsi nebyl přesně dodržen minimální nutný vodní součinitel v důsledku přílišného zvlhčení kameniva. To znemožnilo měřit tuto sérii na tlakovou pevnost po 7 dnech, neboť zkušební tělesa byla stále ještě značně plastická.

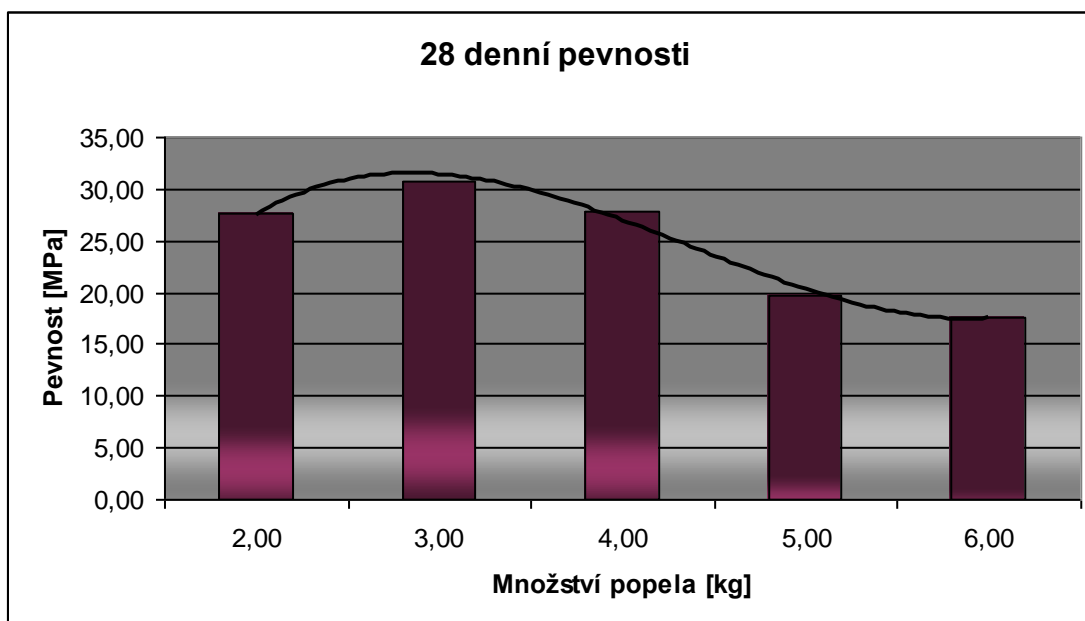
Manipulační tlakové pevnosti měřené na tělesech 100x100x100 mm při stáří 7 dní jsou v grafu na obrázku číslo 4.

Obr. 4 – Pevnosti po 7 dnech



Zřetelně se ukázalo, že jedinou vyhovující variantou je použití 400 kg popílku na m^3 směsi. Je třeba poznamenat, že u sérií s 2 a 3 kg popílku musela být dodávána další voda tak, aby směs byla zpracovatelná. Na druhou stranu u série s 6 kg popílku muselo být sníženo množství vody na zvlhčení kameniva neboť se do směsi dostávalo již příliš vody v podobě roztoku s alkalickými aktivátory. Větší vypovídající hodnotu má tak měření pevností po 28 dnech jak je zaznamenáno v grafu na obrázku 5.

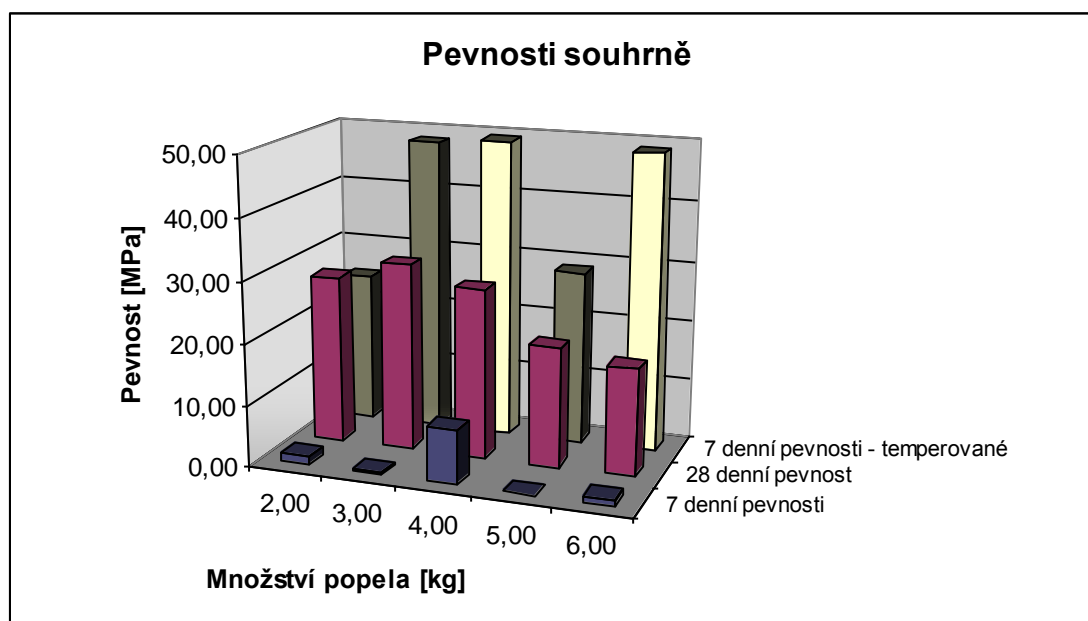
Obr. 5 – Pevnosti po 28 dnech



Ukazuje se, že optimální množství popílku bude ležet někde v okolí 300 kg popílku na $1 m^3$ směsi. Z hlediska sledování dlouhodobých pevností se ukazuje, že i po uplynutí 28 dnů dochází k dalšímu výraznému přírůstku pevnosti, kde se celková pevnost blíží pevnosti

POPbetonu připravovaném temperováním. Pro porovnání byla zhotovena i tělesa aktivovaná temperováním. Porovnání ukazuje graf na obrázku 6.

Obr. 6 – Porovnání pevností



Je vidět, že množství popílku ve směsi se více projevuje na studené přípravě než na přípravě temperováním. Z dlouhodobého hlediska se však pevnosti na obou typech vzorků velmi sblíží.

3. Závěr

Bude ještě potřeba zjemnit množství dávkování popílku a vyhotovit podrobná pozorování mezi množstvími 200 kg až 400 kg na 1m^3 směsi. Dále bude potřeba ověřit vliv množství vody ve směsi na samotný průběh alkalické aktivace. Také bude potřeba sledovat dlouhodobé pevnosti materiálu a průběžně vyhodnocovat.

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 Doležal², Kamil Dvořáček², Martin Lucuk², Lenka Myšková³, Simona Pawlasová³, Tomáš Strnad², Jaroslav Jeništa², Gabriela Tlapáková², Pavel Houser² Lubomír Kopecký²

² České vysoké učení technické, fakulta stavební, katedra technologie staveb, Thákurova 7, 199 29 Praha 6, Česká republika kontakt svobodap@fsv.cvut.cz

³ Vysoká škola chemicko technologická, ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika kontakt , Frantisek.Skvara@vscht.cz