

# MOŽNOSTI VÝROBY SMĚSNÝCH CEMENTŮ NA BÁZI FLUIDNÍCH POPÍLKŮ ■ POSSIBILITIES OF FBC ASHES BASED COMPOSITE CEMENTS PRODUCTION

Marcela Fridrichová, Jan Gemrich,  
Karel Dvořák, Dominik Gazdič,  
Karel Kalivoda

V práci je dlouhodobě sledována možnost využití fluidních popílků pro výrobu směsných cementů. Příprava byla provedena společným mletím slínku s fluidním popínkem v dávce 0 až 30 %. Sledovány byly normou předepsané vlastnosti a dlouhodobé pevnosti cementových malt.

■ The work focuses on long-term monitoring possibilities of using FBC ash for blended cements manufacturing. Preparation was performed by milling clinker together with FBC ash in an amount of 0 up to 30 %. The standard prescribed characteristics and long-term strength properties of cement mortars were investigated.

Chemicko-mineralogické složení fluidních popílků se vzhledem k použité technologii spalování zcela zásadně odlišuje od skladby klasických popílků vysokoteplotních. Zatímco hlavními fázemi vysokoteplotních popílků jsou amorfní oxid křemičitý, křemen, cristobalit, tridymit a mullit, obsahují fluidní popílků amorfní hlinitokřemičitou fázi, křemen, anhydrit, volné vápno, event. též působením vlhkosti sekundárně vzniklý hydroxid a karbonát vápenatý.

Vlivem popsání složení dochází u samotných fluidních popílků po rozmíchání s vodou k hydratačnímu procesu, doprovázenému i určitým zpevněním, kterým však je tvorba ettringitu event. sádrovce. Díky povaze těchto poměrně termodynamicky nestabilních hydratačních zplodin je využití fluidních popílků pro přípravu stavebních hmot stále považováno za diskutabilní. To zohledňuje i norma ČSN EN 197-1, která uvádí maximální množství přípustných síranů  $\leq 3,5$  % hmotnostních pro CEM I a II, resp.  $\leq 4$  % hmotnostních pro CEM III, IV a V.

Na druhou stranu však platí, že fluidní popílků mají svým chemickým složením velmi blízko k portlandským cementům, a proto by mohly být k jejich přípravě s úspěchem použity. Je však třeba se podrobně věnovat studiu procesu hydratace této směsné maltoviny nejen z krátkodobého, ale i dlouhodobého hlediska, a na základě dosažených výsledků optimalizovat směšovací poměry portlandského slínku a fluidního popílků.

V rámci výzkumného zadání byl proto sledován vliv fluidního popílků na vlastnosti z něj připraveného směsného cementu. První, v příspěvku uvedená část, se zabývá sledováním technologických vlastností směsných cementů na bázi fluidních popílků.

## TECHNICKÝ PRŮZKUM FLUIDNÍCH POPÍLKŮ A VLASTNOSTI POUŽITÝCH SUROVIN

Technický průzkum byl realizován po dobu čtyř let pro tři významné zdroje fluidních popílků z elektráren Ledvice, Tisová a Hodonín.

Výsledky průzkumu lze shrnout tak, že z hlediska odběrového místa, tj. lože – filtr, si byly svým chemismem nejbližší popílků hodonínské a naopak podstatné rozdíly byly shledány u popílků z lokality Ledvice. Z hlediska poměru CaO a SO<sub>3</sub>, který souvisí s kvantifikací desulfatačního činidla, bylo nejvyšší předávkování vápencem stanoveno u popílků z elektrárny Tisová. Sledováno z pohledu časové rovnoměrnosti, byl chemismus všech popílků poměrně vyvážený. Pokud byly v chemických analýzách jednotlivých vzorků pozorovány zvýšené odchylky od průměrných hodnot, byly tyto zpravidla pouze stochastického rázu. Během průzkumu byl mimo uvedené zaznamenán pravidelně meziročně se zvyšující obsah CaO v popílcích z elektrárny Hodonín, který byl způsoben narůstajícím podílem spalované biomasy.

Co do granulometrie se maximální velikost zrn popílků ložového pohybovala kolem hodnoty 2 mm a střední velikost zrna činila přibližně 0,25 mm. Rozdíly v granulometrii mezi ložovými popílců v jednotlivých letech byly nepodstatné. Popílek filtrový se svojí granulometrií zcela zásadně odlišoval od popílků ložového. Maximální velikost zrn se

v tomto případě pohybovala v rozmezí od 0,125 do 0,25 mm, střední velikost zrna činila cca 0,05 až 0,06 mm. Stejně jako v případě ložového popílků byly rozdíly v granulometrii v jednotlivých sledovaných letech nepodstatné.

Bylo konstatováno, že v meziročním srovnání je rovnoměrnost sledovaných vlastností poměrně dobrá a v chemickém složení by přibližně mohla odpovídat rozdílům v chemismu přírodních surovin, např. břidlic, zemín apod.

Výběr zdroje fluidních popílků byl na základě výsledků provedeného průzkumu proveden přednostně s ohledem na nejkratší dopravní vzdálenost vůči zvolené cementárně. Konkrétně byl použit portlandský slínek z cementárny Mokrá, ložový a filtrový fluidní popílek z elektrárny Hodonín, referenční vysokoteplotní popílek Dětmárovice a energosádrovec Chvaletice. Chemické složení vstupních surovin je uvedeno v tab. 1.

## PŘÍPRAVA SMĚSNÝCH CEMENTŮ

Úvodem experimentálních prací byl navržen způsob laboratorní přípravy směsných cementů. Ze tří potenciálních možností, tj. vzájemné homogenizace portlandského cementu s fluidním popínkem, společného mletí vstupních komponent a odděleného mletí slínku a fluidního popílků, byla s přihlédnutím k podmínkám praxe zvolena alternativa společného mletí na danou hodnotu měrného povrchu.

Mlecí proces v laboratorním kulo- vém mlýně probíhal tak, že nejprve byl po dobu dvaceti minut předemlet samotný slínek, ke kterému byl dále nadávkován sádrovec v množství 5 % hm. a příslušný popílek. Podíl popílků činil vždy 0; 15 a 30 % z celkové hmotnosti vzorku. Poté byla směs v kulo- vém mlýně rozdružena na požadované měrné povrchy 370 a 420 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>.

Tab. 1 Chemické složení vstupních surovin ■ Tab. 1 Chemical composition of raw materials

Složka	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Dětmárovice	50,43	25,54	7,95	4,79	2,79	2,96	0,56	0,73
Hodonín lože	30,4	13,9	3,59	32,9	1,99	1,02	0,26	13,4
Hodonín filtr	31,6	17	6,64	29,4	3,72	1,17	0,33	7,84
Slínek Mokrá	21,56	4,95	3,68	65,91	1,02	0,82	0,28	0,55
Energosádrovec Chvaletice	0,67	0,24	0,08	31,92	0,01	0,04	0,01	45,41

Připravené cementy byly podrobeny normovým zkouškám technologických vlastností, tj. stanovení jemnosti mletí, tuhnutí (normální konzistence, počátek a doba tuhnutí), objemové stálosti, stanovení pevnosti v tlaku a tahu za ohybu po době hydratace 1 až 180 dní ve vodním uložení.

### VLASTNOSTI SMĚSNÝCH CEMENTŮ

Technologické vlastnosti vzorků jednotlivých cementů jsou uvedeny v tabulkách 2 až 4. V grafech na obr. 1 až 3 jsou uvedeny pevnosti cementů sledované po dobu 180 dnů.

#### Průběh mletí

Při mletí cementů s vysokoteplotním popílkem Dětmárovice na konstantní měrný povrch 370, resp. 420 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup> vykázal nejkratší mlecí čas vzorek referenčního jednosložkového cementu. Zároveň však bylo pozorováno, že se zvyšující se dávkou popílku se potřebná mlecí doba poněkud zkracovala. Důvod lze spatřovat v tom, že jemnozrný popílek na straně jedné vykazuje určitou tlumicí kapacitu při mlecím procesu, a proto se směsný cement domíká pomaleji. Na straně druhé však jemnozrnost popílku přispívá k tomu, že při jeho zvyšujícím se podílu ve směsném cementu se rozdužuje jen menší podíl slinku, a tudíž mlecí čas klesá. Kritický, resp. nejdelší mlecí čas byl proto potřebný pro semletí vzorku cementu s 20 % popílku Dětmárovice, který ještě obsahoval poměrně vysoký podíl slinku a zároveň kritický obsah popílku. Ten byl na jedné straně natolik vysoký, že bránil dostatečně rychlému rozdužení slinku, avšak na druhé straně ještě natolik nízký, že svojí jemnozrností nepřispíval ke zvýšení měrného povrchu.

Potřebný mlecí čas vzorků s ložovým popílkem Hodonín byl pravidelně pro všechny koncentrace i oba měrné povrchy kratší než vzorků s vysokoteplotním popílkem Dětmárovice. Zároveň bylo patrné, že úměrně koncentraci tohoto popílku potřebná doba mletí klesá. Popsané chování při mletí směsných cementů s ložovým popílkem lze vysvětlit tím, že tento poměrně hrubozrný materiál nevykazuje příliš vysokou tlumicí kapacitu mlecího procesu, tudíž je slinek relativně dobře semílán, navíc dle všeho má ložový popílek poměrně dobrou melitelnost.

U vzorků s filtrovým popílkem Hodonín mlecí čas, potřebný pro dosažení daného měrného povrchu, se vzrůstají-

Tab. 2 Technologické vlastnosti cementů s popílkem Dětmárovice ■ Tab. 2 Technological properties of cement with Detmarovice fly ash

Sledovaná vlastnost	Obsah popílku [%]					
	0	15	30	0	15	30
Mlecí čas [h:m]	1:30	2:05	1:55	2:56	3:00	3:00
Jemnost						
Měrný povrch [m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	370	370	370	420	420	420
Zbytek na síti - 0,09 mm	0,86	1	0,5	0,6	0,3	0,13
Tuhnutí						
Normální konzistence [%]	31	30	29	30	28	29
Počátek tuhnutí [h:m]	3:10	2:42	3:32	3:32	2:40	3:08
Doba tuhnutí [h:m]	4:55	5:29	5:42	4:27	5:20	4:58
Pevnosti [N.mm <sup>-2</sup> ]						
1 den	16,1	8,3	3,2	16,7	9,8	3,9
7 dní	51,2	38,1	34,2	52,8	44,6	35,6
28 dní	65,9	57,1	57,1	67,1	63,1	54,3
90 dní	70	68,3	65,7	73,2	69,2	67,3
180 dní	80,1	79,6	76,3	80,2	79,7	74,9
Objemová stálost [%]						
7 dní	-0,44	-0,2	-0,13	-0,44	-0,12	-0,25
28 dní	-0,56	-0,27	-0,2	-0,56	-0,37	-0,38

Tab. 3 Technologické vlastnosti cementů s fluidním popílkem Hodonín – lože

■ Tab. 3 Technological properties of cement with FBC – Hodonín ash – bed

Sledovaná vlastnost	Obsah popílku [%]					
	0	15	30	0	15	30
Mlecí čas [h:m]	1:30	1:37	0:53	2:56	2:25	1:11
Jemnost [%]						
Měrný povrch [m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	370	370	370	420	420	420
Zbytek na síti - 0,09 mm	0,86	4,6	8,8	0,6	1,2	7,5
Tuhnutí						
Normální konzistence w [-]	0,31	0,31	0,33	0,3	0,3	0,32
Počátek tuhnutí [h:m]	3:10	2:09	2:46	3:32	2:19	3:28
Doba tuhnutí [h:m]	4:55	5:01	5:06	4:27	4:54	5:20
Pevnosti [N.mm <sup>-2</sup> ]						
1 den	16,1	7,3	3,1	16,7	10	3,48
7 dní	51,2	38,5	24,4	52,8	45	29,6
28 dní	65,9	62,7	37,8	67,1	65,3	47,7
90 dní	70	70,9	65,6	73,2	73,8	69,6
180 dní	80,1	80,3	76,4	80,2	79,6	73,9
Objemová stálost [%]						
7 dní	-0,44	-0,13	-0	-0,44	-0,13	-0
28 dní	-0,56	-0,19	-0,06	-0,56	-0,2	-0,19

Tab. 4 Technologické vlastnosti cementů s fluidním popílkem Hodonín – filtr

■ Tab. 4 Technological properties of cement with FBC – Hodonín ash – filter

Sledovaná vlastnost	Obsah popílku [%]					
	0	15	30	0	15	30
Mlecí čas [h:m]	1:30	0:58	0:31	2:56	1:30	0:49
Jemnost [%]						
Měrný povrch [m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	370	370	370	420	420	420
Zbytek na síti 0,09 mm	0,86	5,6	11,5	0,6	2,4	11
Tuhnutí						
Normální konzistence w [-]	0,31	0,32	0,4	0,3	0,32	0,39
Počátek tuhnutí [h:m]	3:10	3:06	3:15	3:32	2:18	2:43
Doba tuhnutí [h:m]	4:55	7:30	7:01	4:27	7:50	6:45
Pevnosti v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]						
1 den	16,1	6,4	1,9	16,7	8,7	2,4
7 dní	51,2	37,7	18,1	52,8	42,1	22,9
28 dní	65,9	52,4	25,5	67,1	55,7	36,4
90 dní	70	63,4	42	73,2	68,3	44,6
180 dní	80,1	66,7	44,9	80,2	70	54,7
Objemová stálost [%]						
7 dní	-0,44	-0,2	0	-0,44	-0,63	-0,06
28 dní	-0,56	-0,33	-0,13	-0,56	-0,63	-0,13

cí dávkou filtrového popílku výrazně klesal. Důvodem byla vysoká jemnost filtrového popílku, která však v konečném důsledku vedla k nedostatečnému rozdužení slinkových zrn. O zhoršeném rozdužování svědčily i vysoké hodnoty stanovených zbytků na sítích, které navíc prokazatelně stoupaly se zvyšujícím se podílem popílku v cementu.

### Konzistence a tuhnutí cementů

Množství záměsové vody, potřebné k přípravě kaše normální konzistence, bylo u všech vzorků cementů s vysokoteplotním popílkem Dětmárovice bez ohledu na dávku popílku či stupeň rozdužení přibližně stejné. Z dosažených výsledků nelze proto učinit objektivní vyhodnocení vlivu popílku na množství potřebné záměsové vody s tím, že pozorované rozdíly byly vyvolány spíše jen subjektivitou měření. Co se týče průběhu tuhnutí, lze i přes určité zatížení chybou měření pozorovat, že se zvyšující se koncentrací popílku Dětmárovice a zároveň při nižším stupni rozdužení cementu se prodlužují jak počátek, tak i doba tuhnutí.

U všech vzorků s ložovým popílkem Hodonín byl vodní součinitel, nutný pro přípravu kaše normální konzistence, přibližně stejný. Tato skutečnost potvrzuje, že v raném stadiu hydratace je složení hydratačních produktů portlandského cementu i ložového popílku v podstatě obdobné, neboť vede jen ke tvorbě ettringitu. Další důvod přibližně stejných vodních součinitelů je fyzikálně mechanické povahy, a spočívá v tom, že ložové popílky nemají, na rozdíl od filtrových, vysokou jemnost. Průběh tuhnutí cementů s ložovým popílkem nevykázal pravidelnou ani jednoznačně hodnověrnou závislost na koncentraci popílku ani na velikosti měrného povrchu. Jelikož je tuhnutí cementu z větší části spojeno s tvorbou ettringitu, a tento minerál vzniká jak při hydrataci portlandského slinku, tak i ložového popílku, je velmi pravděpodobné, že v rozmezí zkoušeného dávkování nevyvolá přítomnost popílku žádnou mimořádnou změnu.

Vysoká jemnost filtrového popílku Hodonín vyvolala u této řady směsných cementů podstatné zvýšení vodního součinitele. Vliv stupně rozdužení se vzhledem k vysoké jemnosti tohoto popílku prakticky neprojevil. Počátek tuhnutí byl u směsných cementů s filtrovým popílkem přibližně stejný jako u všech ostatních vzorků, neboť souvisí převážně jen s tvorbou ettringitu. Doba tuhnutí byla ve srovnání s ostatními

skupinami cementů zhruba o 2 h delší. Pravděpodobným důvodem je jednak určitá tixotropie vzorků, způsobená jejich vysokou jemností, a dále již i nižší hydraulická systém, daná zhoršeným rozdužením slinkových zrn.

### Pevnosti normových malt

Z vyhodnocení výsledků pevnostních zkoušek cementů s vysokoteplotním popílkem Dětmárovice je zřejmé, že se vzrůstající koncentrací popílku docházelo k určitému poklesu pevností. Zároveň je patrné, že pevnosti vzorků rozdužených na měrný povrch  $420 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  byly vyšší než u vzorků semletých na měrný povrch  $370 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Pevnosti cementů s fluidním popílkem ložovým, a to zejména počáteční, se s dávkou popílku nad cca 25 % poměrně výrazně snižovaly. S dobou uložení se však kinetika procesu zpevňování cementů s tímto popílkem zvyšovala, takže od 56. dne hydratace vykázaly tyto vzorky prakticky pravidelně vyšší pevnosti než odpovídající vzorky s referenčním popílkem Dětmárovice. Zároveň se s dobou uložení směsné cementy s nižší koncentrací ložového popílku co do pevností postupně vyrovnávaly i referenčnímu cementu jedno složkovému.

Výsledky uvedené v tabulce lze závěrem zobecnit tak, že zvýšení měrného povrchu pravidelně přispívá k dosažení lepších tlakových pevností vzorků. Ze srovnání směsných cementů připravených z referenčního vysokoteplotního popílku a fluidního popílku ložového vyplývá, že po poněkud nižších počátečních pevnostech se od cca dvacátého osmého dne hydratace pevnosti obou druhů směsných cementů nijak zvláště neodlišují.

Pevnosti cementů s fluidním popílkem filtrovým byly pravidelně nejnižší ze všech zkoušených souborů vzorků. Zvláště výrazný pokles byl patrný jednak v raných hydratačních stádiích, a dále při zvýšené dávce tohoto popílku. Hlavními příčinami popsaných projevů bylo především zhoršené rozdužení slinkových zrn, výrazné zvýšení vodního součinitele a zřejmě i částečně odlišná kvantifikace fázového složení popílku filtrového a ložového.

Z výsledků pevnostních zkoušek na normových maltách vyplynulo, že směsné cementy s ložovým fluidním popílkem vykázaly oproti směsným cementům s fluidním popílkem filtrovým vždy vyšší pevnosti v tlaku (obr. 1 a 2). Zároveň lze konstatovat, že s výjimkou

Obr. 1 Vývoj pevnosti v tlaku po 28 dnech

■ Fig. 1 Development of compressive strength after 28 days

Obr. 2 Vývoj dlouhodobých pevností v tlaku po 28, 90 a 180 dnech

■ Fig. 2 Development of long term compressive strengths after 28, 90 and 180 days

Obr. 3 Smrštění po 28 dnech

■ Fig. 3 Shrinkage after 28 days

vzorku s 30 % filtrového popílku semletého na měrný povrch  $370 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  vyhověly všechny zkoušené cementy na bázi fluidních popílků požadavkům normy ČSN EN 197-1 pro směsné portlandské cementy (CEM II/A, B – M 32,5 N).

### Objemová stálost cementů

Mimo výše popsané byly u všech skupin cementů realizovány též zkoušky objemové stálosti při expozici v laboratorním prostředí. Jak z tab. 2 až 4 vyplývá, vykázaly při tomto způsobu uložení určité smrštění všechny vzorky, avšak u cementů s popílkem ložovým byl tento jev nejméně výrazný. Co se týče druhu použitého popílku, byla určitá kompenzace smrštění pozorována i u vzorků s vysokoteplotním popílkem Dětmárovice, ale nebyla zdaleka tak významná jak u cementů s ložovým popílkem a u cementů s maximální dávkou popílku filtrového (obr. 3).

Kompenzace smrštění fluidními popílkem byla vedle jejich dávky do určité míry ovlivněna i množstvím záměsové vody, které bylo pravidelně nižší u skupiny cementů z popílku ložového. Proto nejvyšší míru kompenzace smrštění vykázal vzorek cementu s 30 % ložového popílku semletý na  $370 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  a nízkým vodním součinitelem  $w = 0,32$ .

K této problematice lze závěrem uvést, že schopnost kompenzace smrštění souvisí u fluidních popílků ponejvíce s tvorbou hydratačních novotvarů typu AFt fází, zde zpravidla zastoupených ettringitem.

### ZÁVĚR

Problematika přípravy a výroby směsných cementů na bázi fluidních popílků zahrnuje dva nosné okruhy, jejichž náplní je dopad použití těchto popílků na technologický proces výroby a dopad na vlastnosti směsných cementů.



## 7. mezinárodní konference

# FIBRE CONCRETE 2013

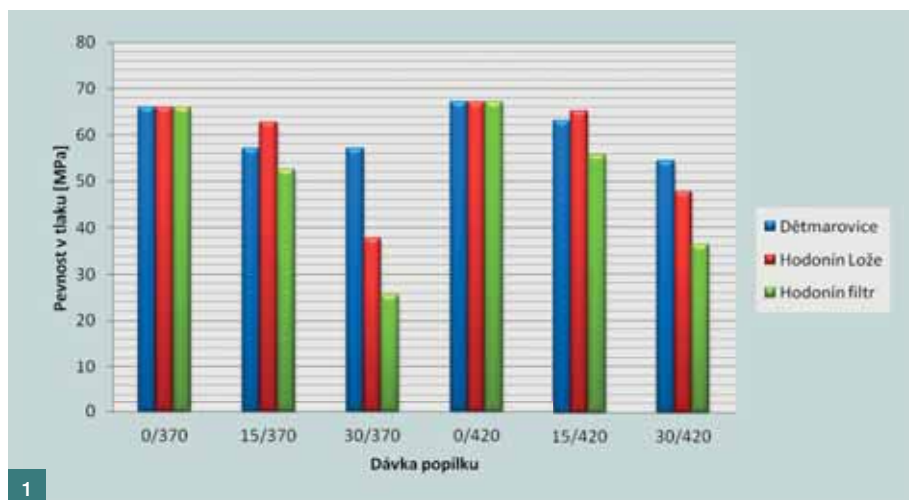
12. - 13.9. 2013  
Hotel DAP  
Praha



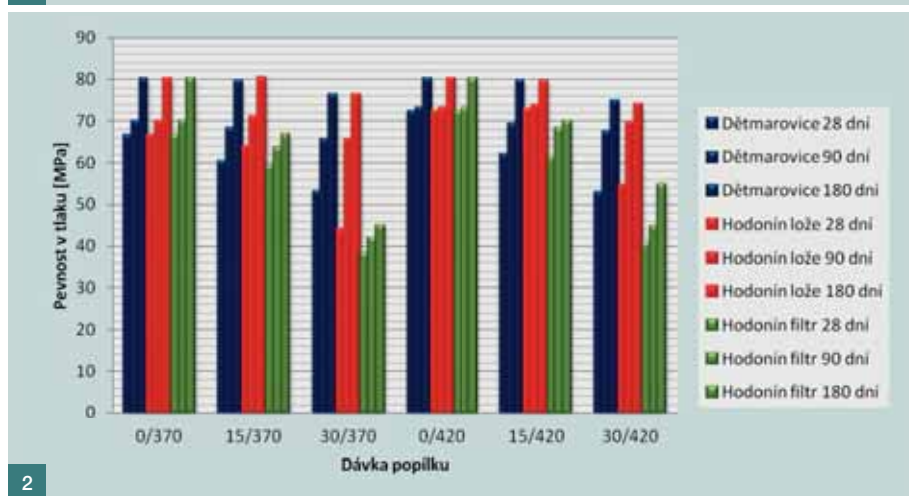
**FIBRE CONCRETE 2013** je mezinárodní konferencí zaměřenou na **VLÁKNOBETONY**.  
Prezentuje nové poznatky v oblasti výzkumu, vývoje a jejich zavádění do projekční praxe. Součástí konference jsou ukázky úspěšných aplikací vláknobetonu.  
Konference je určena širokému okruhu odborníků z oblasti výroby betonu, projektantům a ostatním podnikatelům ve stavebnictví.

#### Informace:

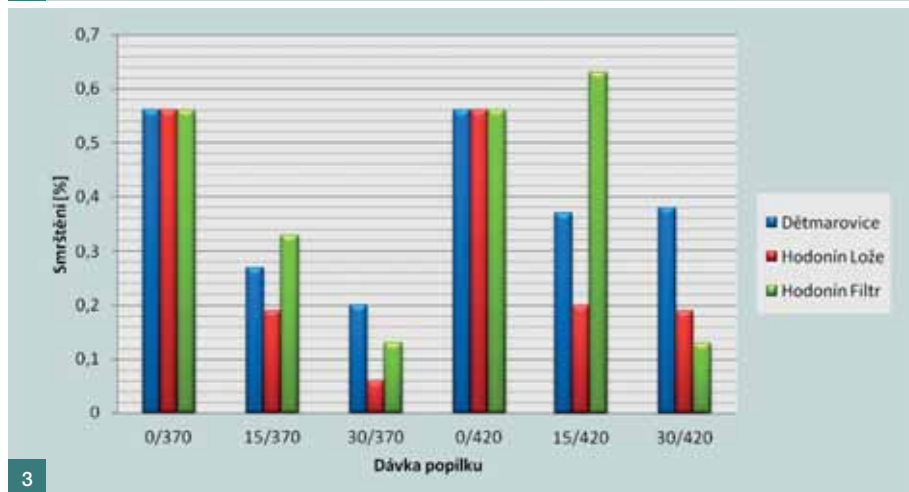
Ing. Vladimíra Vytlačilová, Ph.D.  
e-mail: fc2013@fsv.cvut.cz  
<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2013>



1



2



3

Co se týče prvního okruhu, může se zavedení fluidních popílků do výroby cementu promítnout jednak do technologie dopravních cest, dávkování a ukládání do zásobníku, a dále do problematiky mlecího procesu. Zatímco první otázka je záležitostí výhradně konstrukčně technologického rázu, a je v krajním případě řešitelná zavedením speciálního zařízení, je záležitost mlecího procesu již otázkou nejen technologickou, ale i fyzikálně-chemickou, neboť ovlivňuje samotné vlastnosti směšného cementu.

Mlecí proces směšných cementů může být laboratorně modelován v podstatě dvěma způsoby, a to jako mletí na konstantní mlecí čas, anebo mletí na konstantní měrný povrch. Jelikož v praxi se vychází z obdobných principů, které se navíc navzájem kombinují, lze říci, že v laboratorních podmínkách jsou oba způsoby rovnocenné, ale ani jeden z nich reálné mlecí poměry nemodeluje exaktně.

S přihlédnutím k zavedeným laboratorním zkouškám byl proto vybrán postup laboratorního mletí na konstant-

## Literatura:

- [1] *Fridrichová M., Magrla R., Stachová J., Dvořák K.*: Odzkoušení alternativních náhrad za vysokopepní strusku ve směsných portlandských cementech, In *Maltoviny 2011*, Nakladatelství VUTIUM, VUT v Brně, 2011, p. 139–142, ISBN 978-80-214-4372-3
- [2] *Fridrichová M., Dvořák K., Gazdič D., Kulíšek K.*: Cenizas volantes de lecho fluidizado como un componente base de las materias primas del cemento portland, *Cemento Hormigón*, 2011, 82(944), p. 30–41. ISSN 0008-8919
- [3] *Fridrichová M., Hájková I., Kulíšek K.*: Potenciální náhrada vysokopepní strusky ve směsných portlandských cementech. In *Maltoviny 2010*, Brno, VUT v Brně, 2010, p. 29–33. ISBN 978-80-214-4204-7
- [4] *Fridrichová M., Kalivoda K., Novák J.*: Utilization of material for substitute of blast furnace slag in portland cement, In *Ecology and new building materials and products*, 1. Telč, VÚSH Brno. 2009, p. 180–184. ISBN 978-80-254-4447-4
- [5] ČSN EN 197-1 ed.2, Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementu pro obecné použití
- [6] *Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z. S.*: Activation of Fly Ash/Cement Systems Using Calcium Sulfate Anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), *Cement and Concrete Research*, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), 2001
- [7] Chemical Comparison of Fly Ash and Portland Cement, *Headwaters Resources*, Data 2007 [online], [www.flyash.com](http://www.flyash.com)

ní měrný povrch. Podle předpokladu ovlivnil mlecí proces nejen kinetiku hydratace směsných cementů, ale především jejich fyzikálně-chemické vlastnosti. Současně bylo prokázáno, že rozdrůžovací schopnost směsných cementů na bázi popílku ložového a filtrového se významně liší.

Vliv filtrového popílku se při zvoleném mlecím režimu na konstantní měrný povrch projevil tak, že sice významně zkrátil mlecí čas, ale zároveň díky své granulometrii a morfologii vyvolal tlumicí kapacitu v semiláném systému, a tím zabránil kvalitnímu rozdrůžení slinkových zrn. Důsledkem pak bylo v první řadě výrazné zvýšení vodního součinitele, který v dalším též přispěl ke snížení vaz-

nosti zatvrdlého cementového kamene. Primárně však vaznost byla v negativním slova smyslu ovlivněna nedokonalým rozdrůžením slinkových zrn, neboť se nemohla plně uplatnit hydraulická slinku v prvních fázích hydratačního procesu, ale ani při dlouhodobém zrání. Tehdy se totiž projevil efekt topochemických hydratačních pochodů, díky nimž se špatně rozdrůžená slinková zrna časem pokryjí natolik silnou vrstvou hydratačních zplodin, že dojde k radikálnímu zpomalení transportu vody do jejich vnitřní části. Tím je ovlivněna kinetika hydratačního procesu a navíc dojde k tomu, že v pozdních hydratačních obdobích vzniká již jeden hydratační produkt typu „iner“, jehož vazné schopnosti jsou minimální.

Vlivem odlišné granulometrie popílku ložového, spočívající v silném zastoupení podstatně hrubozrnějších částic, se mletí cementů s touto složkou do přídávku cca 15 % v podstatě srovnalo s mlecími poměry cementu jednosložkového. Teprve nad touto mezí se podobně jako v předešlém případě uplatnil efekt tlumicí kapacity popílku, ale na rozdíl od cementů s popínkem filtrovým se oba pozorované jevy, tj. zkrácení mlecího času a horší rozdrůžení slinkových zrn, projeví v podstatně menším rozsahu. Vzhledem k lepší kvalitě mletí u směsných cementů na bázi ložového popílku došlo i k podstatnému zlepšení sledovaných technologických vlastností. Počínaje vodním součinitelem, který u vzorku s 30% přídávkem ložového popílku byl pouze o 10 % vyšší než u vzorku referenčního jednosložkového, přes poměrně příznivé parametry tuhnutí, vykázaly tyto cementy závěrem i příznivé vazné schopnosti. Dostatečné rozdrůžení slinkových zrn v dalším zabezpečilo jak vhodnou délku tuhnutí, tak i přijatelnou výši počátečních pevností. I když hydraulická směsných cementů se stupněm sycení ložovým popínkem přirozeně klesá, docházelo při dlouhodobém zrání vzorků k patrnému dorovnávání pevností s cementem jednosložkovým. Po 180 dnech hydratace byly již poměrně velmi dobré i pevnosti cementu s 30% pří-

řídavkem ložového popílku, přičemž pozitivní vliv na pevnosti tohoto cementu vykázal vyšší stupeň rozdrůžení.

Na základě vyhodnocení všech uskutečněných experimentálních prací lze závěrem konstatovat, že při vhodně zvoleném mlecím režimu může být fluidní popílek, a to zejména ložový, jednou z nevhodnějších hledaných složek, substituujících ve výrobě směsných portlandských cementů vysokopepní strusku. Pro jednoznačné prokázání vhodnosti této potenciální substituce je v současné době dlouhodobě sledován hydratační proces směsných cementů na bázi fluidních popílků, a to s přednostní orientací na sledování kinetiky tvorby a termodynamické stability ettringitu, event. thaumasitu jako další potenciální hydratační zplodiny ze skupiny Aft fází.

Prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.  
Fakulta stavební VUT v Brně  
Veveří 95, 602 00 Brno  
e-mail: [fridrichova.m@fce.vutbr.cz](mailto:fridrichova.m@fce.vutbr.cz)  
tel.: 541 147 501



Ing. Jan Gemrich  
Výzkumný ústav maltovin  
Praha, s. r. o.  
Na Cikánc 2  
153 00 Praha 5–Radotín  
e-mail: [gemrich@vumo.cz](mailto:gemrich@vumo.cz)  
tel.: 257 911 775



Ing. Karel Dvořák, Ph.D.  
e-mail: [dvorak.k@fce.vutbr.cz](mailto:dvorak.k@fce.vutbr.cz)  
tel.: 541 147 467



Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.  
e-mail: [gazdic.d@fce.vutbr.cz](mailto:gazdic.d@fce.vutbr.cz)  
tel.: 541 147 511



oba: Fakulta stavební VUT v Brně  
Veveří 95, 602 00 Brno

Ing. Karel Kalivoda  
Technický a zkušební ústav  
stavební, s. p., pobočka Brno

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

## LETNÍ SOUTĚŽ: VYFOŤ BETON KOLEM NÁS A VYHRAJ

Zúčastněte se letní amatérské fotografické soutěže. Úkolem je zaslat fotografii s tématem „Beton kolem nás“ s krátkým popisem do 30. září 2013 na e-mail: [soutez@cmcem.cz](mailto:soutez@cmcem.cz) s uvedením jména a e-mailové adresy autora. Fotografie může zaslat každá osoba starší patnácti let, která vlastní její autorská práva. Jeden účastník může do soutěže přihlásit nejvýše pět fotografií. Zasláné fotografie budou průběžně zveřejňovány na facebookovém profilu [www.facebook.com/HeidelbergCementCR](http://www.facebook.com/HeidelbergCementCR). Zveřejnění výsledků soutěže se uskuteční 8. října na stránce společnosti a na Facebooku. Tři autoři budou oceněni hodnotnými cenami.