

UMĚLÉ SPÉKANÉ POPÍLKOVÉ KAMENIVO PRO VÝROBU LEHKÝCH BETONŮ ■ SINTERED ARTIFICIAL AGGREGATE FOR PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Vít Černý, Magdaléna Kociánová

Popílky patří mezi jednu z nejvíce používaných druhotných surovin pro nové stavební materiály. Jednou z oblastí použití popílku je jeho přímé využití ve formě příměsi do betonu nebo pro výrobu umělého kameniva na bázi spékacích popílků. Z umělého popílkového kameniva lze vyrobit lehké betony různých pevnostních tříd. Při správném sestavení směsi je možné vyrobit i vysokopevnostní lehké betony dosahující pevnostních tříd LC 50/55. Článek se věnuje výběru vhodných popílků pro výrobu umělého spékacího kameniva, které může být využito u vysokopevnostních betonů, a ověření schopnosti dosáhnout parametrů pevnostní třídy LC 50/55. ■ Ashes belong to one of the most used secondary raw materials for new construction materials. One of the areas of use ash is its direct use as admixture in concrete and for the production of artificial aggregates based on sintered ash. It is possible to produce lightweight concrete of different strength classes from the sintered artificial aggregate. With proper preparation of the mixture, it is possible to produce also high-strength lightweight concrete reaching strength classes LC 50/55. This article deals with selection of suitable ashes for artificial sintered aggregate for high-strength concrete and with capabilities to achieve the parameters of strength class LC 50/55.

Výroba elektřiny ze spalování tuhých paliv je v současné době stále jedním z hlavních zdrojů energie. V průběhu procesu výroby elektrické energie dochází ke vzniku vedlejších energetických produktů, které jsou často vysoce kvalitní a mohou být považovány za alternativní zdroje. Vzhledem k produkci velkého množství tohoto materiálu je na snaze hledat jejich potenciální využití. V dnešní době se nejvíce uplatňuje ve formě stavebních materiálů. Jedním z vhodných způsobů jak využít jeho potenciál je jeho přímé použití ve formě příměsi nebo jako umělé kamenivo pro výrobu betonu.

V tuzemsku bylo v 80. letech 20. století umělé kamenivo (Agloporit) vyráběno samovypalem ve velkokapacitním závodě Dětmorovice u Ostravy pomocí technologie Corson. K zastavení výroby vedly nejen technologické a ekonomické vlivy, ale i obecné vlivy organizačního a koncepčního charakteru. Popílek produkovaný v elektrárně

Dětmorovice měl kvalitativní znaky velmi vhodné pro výrobu popílkového porobetonu a pro využití popílku ve velkých ústředních betonárnách jako částečná náhrada cementu.

V rámci výzkumu, za účelem obnovit výrobu umělého spékacího kameniva v ČR, byly v roce 2007 vyrobeny zkušební vzorky betonů s umělým kamenivem na bázi vysokoteplotních popílků z elektrárny Dětmorovice (černouhelný), teplárny Otrokovice (hnědouhelný) a doplňkově fluidního hnědouhelného popílku z elektrárny Hodonín. Stejně jako v předchozích pracích prof. Ing. Jiřího Adámka, CSc., [1 a 2] směs byla navržena se zaměřením na velmi kvalitní pojivovou maltu. To v praxi znamená použití vyššího podílu přírodního kameniva 0-4 mm a použití umělého kameniva frakcí 4-8 mm a 8-16 mm. S kvalitním kamenivem na bázi popílku z elektrárny Dětmorovice (odolnost proti drcení frakce 8-16 mm = 4,5 MPa) tak bylo dosaženo krychelných pevností betonu až 54,7 MPa.

Předložená část experimentálních prací si kládla za cíl ověřit tuzemské vysokoteplotní hnědouhelné popílky z dlouhodobě perspektivních a stabilních zdrojů pro výrobu spékacího kameniva a ověřit schopnosti dosažení parametrů vysokopevnostních lehkých betonů třídy LC 50/55.

TECHNOLOGIE VÝROBY UMĚLÉHO KAMENIVA V EXPERIMENTÁLNÍCH PODMÍNKÁCH

Vzorově si lze představit technologii výroby umělého kameniva na příkladu horizontálního aglomeračního roštu dlouhého 3 600 mm, širokého 400 mm s možností výšky vsázky 400 mm. Horizontální posun zabezpečuje elektrický motor, který díky časování posouvacích kroků umožňuje regulaci finální rychlosti, a tím především dobu zapalování vsázky. Prohořívání je řízeno soustavou průduchů, které pomocí ventilátoru nasávají kouřové plyny a přivádějí nový spalovací vzduch do vsázky.

Obr. 1 a 2 ilustrují průběh výpalu v horizontální peci, konkrétně se vsázkou na bázi vysokoteplotního hnědouhelného popílku. Vsázka je zapalována 400 mm dlouhou hlavou na zemní plyn. Postupně standardně dochází k posuvu vsázky a jejímu zapalování po dobu 5 min. Aby bylo dosaženo snížení podílu nevypálených zrn a snížení množství zapalovacího plynu, je na vsázku aplikována zapalovací vrstva ze směsi uhlí a hlušin. Vlastní obsah spalitelných látek v granulátu popílkové směsi umožňuje po zapálení samovypál kameniva bez dalšího vnějšího zdroje tepla. Poté, co kamenivo dosáhne konce roštu a zaznamená se pokles teplot, je považován výpal



za ukončený. Proudící vzduch je pak využíván jako chladicí.

Po dostatečném vychladnutí vsázky je možné s kamenivem dále nakládat. V případě přítomnosti drobných spečenců je doporučeno jejich jednoduché rozdužení, bez výrazného poškození zrn. V důsledku teplotního šoku, kdy dochází k rychlé ztrátě tepla, mohou vznikat nevypálená zrna. Jedná se však pouze o minimální podíl, který lze vhodně eliminovat vrstvou pevného paliva, jež udržuje ve vsázce dostatečné teplo.

VLASTNOSTI ZKOUŠENÝCH DRUHŮ POPÍLKŮ

A VYROBENÝCH KAMENIV

Pro ověření vhodnosti tuzemských vysokoteplotních hnědouhelných popílků k výrobě umělého kameniva byli vybráni čtyři zástupci, kteří reprezentují perspektivní zdroje ČR.

Z fyzikálně-mechanických a fyzikálně-chemických parametrů uvedených v tab. 1 je zřejmé, že v ČR jsou produkovány popílků s minimálním obsahem nedopalu. Pro samovýpal bude tedy nutné popílek mísit s mletým uhlím, aby bylo dosaženo optimální hodnoty spalitelných látek 8 % hm. Dále je patrná vyšší hrubost popílků FA3 a FA4, která je hodnocena z pohledu zbytku na sítu 0,045 mm a měrného povrchu. Tyto dva popílků mají také vyšší podíl železa a vápna, jež mohou způsobit snížení teploty tavení vsázky.

Z výše charakterizovaných popílků bylo vyrobeno kamenivo a stanoveny základní parametry, kterými jsou: objemová hmotnost vysušeného kame-

Tab. 1 Hlavní parametry testovaných popílků | Tab. 1 Main parameters of the tested ashes

Vzorek	Ztráta žháním [%]	Sypná objemová hmotnost setřesená [kg·m ⁻³]	Měrný povrch [m ² ·kg ⁻¹]	Zbytek na síte 0,045 mm [%]	Chemické složení [%]				
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO
FA1	1,19	990	329	58,5	47,7	28,2	5,6	0,13	1,1
FA2	1,07	1 110	299	53,1	54,6	29,5	5,5	0,1	1,8
FA3	1,15	1 010	234	70,5	50	23,4	14,5	0,26	3,4
FA4	1,07	940	224	72,2	47,6	25	12,7	0,54	2,3

niva, odolnost proti drcení, nasákavost a mezerovitost. V grafech na obr. 4 až 6 jsou uvedeny stanovené hodnoty.

Dosažené hodnoty ukazují vliv vzniku jednotlivých frakcí na jejich výsledné vlastnosti. Vzhledem k tomu, že je vsázka složena z pelet frakce 8-16 mm, má tato frakce nejlepší vlastnosti. Zrna jsou celistvá s uzavřenou pórovitostí. Díky tomu jsou pevná a dosahují nízké nasákavosti. Zrna frakce 4-8 mm jsou zčásti tvořena smršťenými zrny původní frakce 8-16 mm a zčásti zrny, které vznikaly drcením spečenců, což vede k narušení zrn, která tak mohou mít sníženou pevnost a zvýšenou nasákavost. Jemná frakce 1-4 mm je tvořena z velké části jemnými částicemi s vysokou nasákavostí, a proto byla vyloučena. Vzhledem k jejímu vyloučení z receptury u ní nebyla stanovena ani odolnost proti drcení.

Zkoušky základních receptur vysokopevnostních lehkých betonů

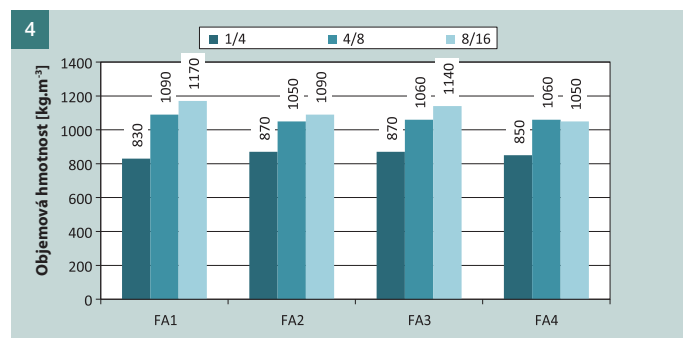
Ze směsí byly vyrobeny vzorky, na kterých se prováděly zkoušky zjišťující možnost použití popílkového ka-

meniva pro výrobu lehkých vysokopevnostních betonů. V laboratorních podmínkách byla vyrobena zkušební tělesa, tj. krychle o hraně 150 mm s příměsí popílků, strusky a mikrosiliky podle dvou typů receptur (R1, R2) (tab. 2). Hlavní rozdíl mezi recepturami byl v množství cementu. Popílek použitý ve směsi byl vždy stejný jako popílek

Tab. 2 Receptury pro výrobu vysokopevnostních lehkých betonů s použitím umělého popílkového kameniva

Tab. 2 Recipe for manufacturing of lightweight concrete using artificial aggregate

Receptury [kg·m ⁻³]			
Základní hmoty	Jednotka	R1	R2
		LC 50/55	LC 50/55
Cement CEM I-42,5R	[kg]	500	450
Voda	[l]	125	115
Kamenivo 0/4 mm	[kg]	685	687
Vlhčené spěkané kamenivo	4/8 mm [kg]	220	251
	8/16 mm [kg]	338	306
Příměs (popílek/struska/mikrosilika)	[kg]	75	75
Superplastifikátor (Polykarboxylátether)	[kg]	4,5	4,5



Obr. 1 Zapalovací hlava na zemní plyn | Fig. 1 Ignition head using natural gas

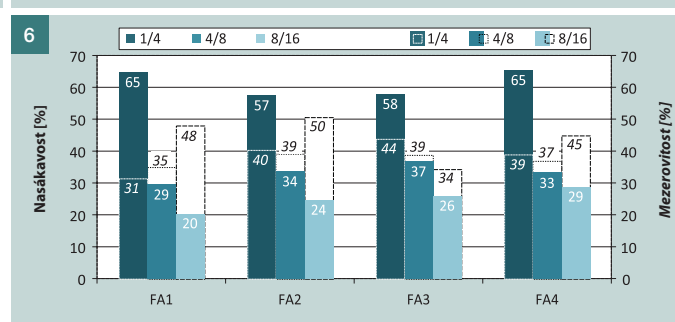
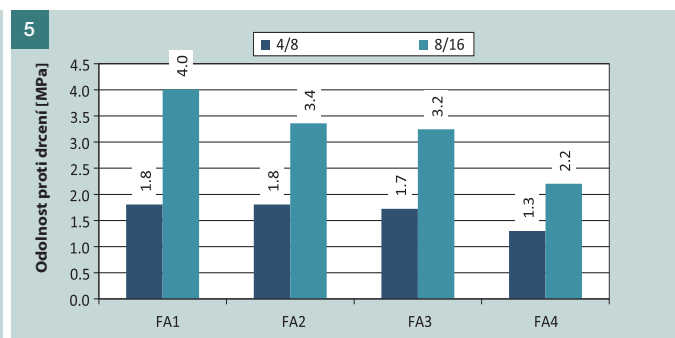
Obr. 2 Zapalování pelet | Fig. 2 Ignition of pellets

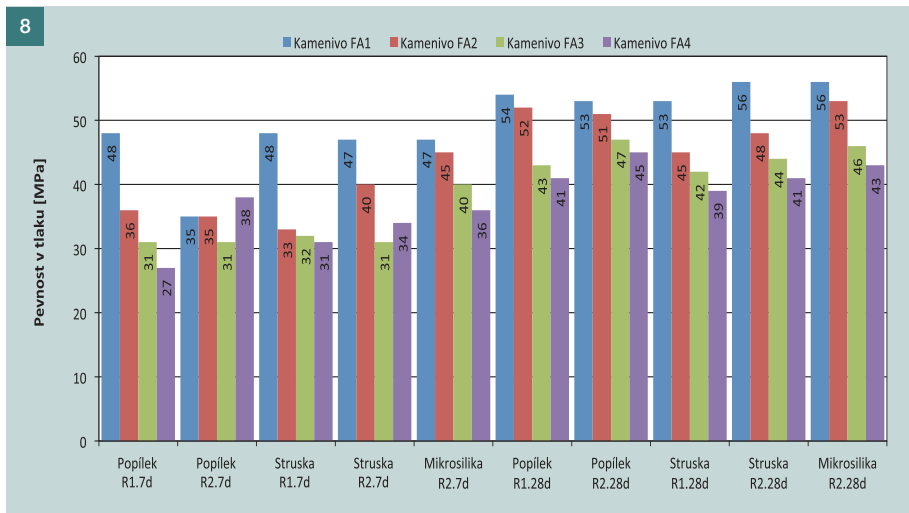
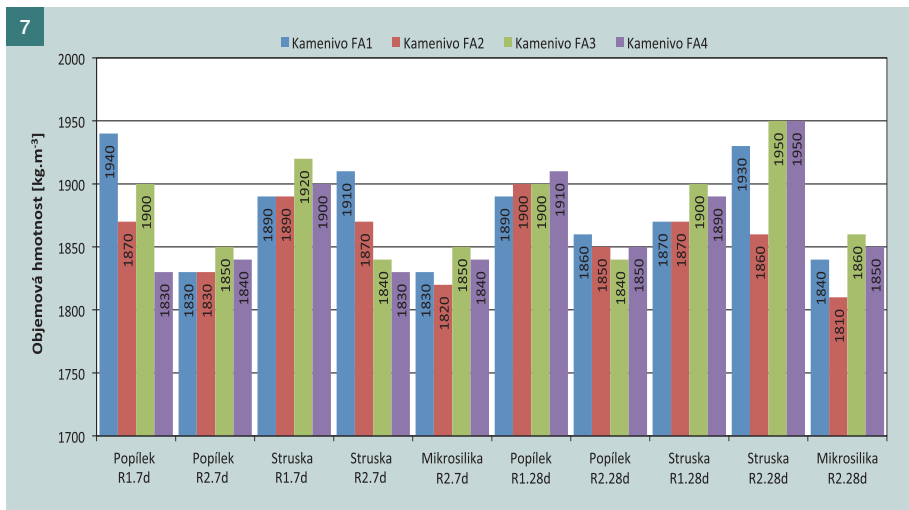
Obr. 3 Vypálené kamenivo | Fig. 3 Burned aggregate

Obr. 4 Objemová hmotnost vysušeného kameniva | Fig. 4 Bulk density of dry aggregate

Obr. 5 Odolnost kameniva proti drcení | Fig. 5 Crushing resistance of aggregate

Obr. 6 Nasákavost a mezerovitost kameniva | Fig. 6 Absorbability and void space of aggregate





Literatura:

- [1] ADÁMEK, J., JURÁNKOVÁ, V., KUCHARCZYKOVÁ, B. Porous aggregate strength and its influence on lightweight concrete strength. In: *Proceedings of The 9th International Conference modern Building Materials, Structures and Techniques*. Vilnius – Litva: 2007. ISBN 978-9955-28-131-3
- [2] ADÁMEK, J. Strength of Lightweight Concrete Influenced by Strength of Lightweight Aggregate Concrete, In: *2nd International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Kristiansand, Norway: Norwegian Concrete Association, 2000. ISBN 82-91341-37-0
- [3] ČSN 72 2072-6:2013 Popílek pro stavební účely část 6: Popílek pro výrobu umělého kameniva spékání.
- [4] ČSN 72 2072-8:2013 Popílek pro stavební účely část 8: Popílek pro výrobu umělého kameniva za studena a urychleně vytvrzovaného.
- [5] ČSN P 722081-5:2001–2014 Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely-Část 5: Fluidní popel a fluidní popílek pro výrobu umělého zrnitého plniva za studena.
- [6] ČSN P 722081-8:2001–2014 Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely-Část 8: Fluidní popel a fluidní popílek pro výrobu umělého zrnitého plniva spékáním.
- [7] ČSN EN 206-1:2001–2014 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.
- [8] ČSN EN 12350-2:2009 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím.
- [9] ČSN EN 12390-3:2009 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles.

použitý pro výrobu umělého spěkaného kameniva. U vzorků se stanovovaly fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Umělé spěkané kamenivo bylo před přípravou (tj. cca 48 h) uloženo ve vodě. 30 min před zahájením míchání se pak uložilo na perforovanou podložku, kde došlo k vytečení přebytečné vody.

Na zkušebních tělesech byla po 7 a 28 dnech zrání stanovena objemová hmotnost a pevnost v tlaku. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafech na obr. 7 a 8.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že ze všech zkoušených receptur dosahují nejvyšší 7 i 28denní pevnosti lehké betony s použitím kameniva, kde byl použit popílek FA1. Nejnižší pevnosti měly betony s použitím kameniva FA4. Pevnosti 55 MPa, potřebnou pro zatřídění lehkého betonu do třídy LC 50/55 dle normy ČSN EN 206-1, dosáhla pouze receptura R1 s umělým popílkovým kamenivem FA1, příměsí popílku a strusky. Nejnižší objemové hmotnosti byly naměřeny u betonů složených z receptury R1 s příměsí popílku, která měla vyšší obsah cementu než receptura R2.

ZÁVĚR

Poloprovozní výpaly v horizontální peci ukázaly, že jako nejlepší surovinou pro tuto technologii je popílek FA1, který byl z testovaných popílků nejjemnější a měl nejvyšší měrný povrch. Bylo tak získáno kamenivo s odolností proti drcení min. 2,3 MPa.

Při experimentech výroby vysoko-pevnostního lehkého betonu s použitím popílkového kameniva byly ve většině případů naměřeny pevnosti neodpovídající hodnotě 55 MPa po 28 dnech zrání, jež jsou potřebné pro zařazení lehkých betonů do této pevnostní třídy. Pevnost 55 MPa byla naměřena pouze u dvou z pěti receptur, při použití spěkaného popílkového kameniva FA1. Potřebných pevností LC 50/55 s použitím umělých popílkových kameniv by mohlo být dosaženo zvýšením dávky cementu a plastifikační přísady. Zde ovšem může nastat riziko překročení hodnoty objemové hmotnosti 2 000 kg·m⁻³, která je vymežující pro lehké betony. Předmětem dalšího výzkumu je tak zvýšení pevnosti, jež by mohlo být dosaženo např. pomocí zvýšeného podílu frakce 4–8 mm.

Obr. 7 Objemová hmotnost lehkých betonů po 7 a 28 dnech ■ Fig. 7 Bulk density of lightweight concrete after 7 and 28 days

Obr. 8 Pevnost v tlaku lehkých betonů po 7 a 28 dnech ■ Fig. 8 Compressive strength of lightweight concrete after 7 and 28 days

Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie podporované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu Národní program udržitelnosti I a projektu P104-13-30753P Studium procesu vzniku popílkového střepu podporovaného Grantovou agenturou České republiky.

Ing. Vít Černý, Ph.D.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 e-mail: cerny.v@fce.vutbr.cz



Ing. Magdaléna Kociánová
 Fakulta stavební VUT v Brně
 e-mail: kocianova.m@fce.vutbr.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem. The text was reviewed.