

MOŽNOSTI VYUŽITIA VYBRANÝCH ODPADOV PRI VÝROBE BETÓNOVÝCH PREFABRIKÁTOV, ČERSTVÉHO BETÓNU A TRANSPORTBETÓNU

Lalík V.¹⁾, Samuelčík K.²⁾

Katedra environmentálneho inžinierstva, fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita Zvolen, T.G. Masaryka 24, Zvolen 960 53, e-mail: lalik@vsld.tuzvo.sk

STRABAG s.r.o., Frischbeton, Neresnícká cesta 3, Zvolen, 960 01 e-mail: karol.samuelcik@strabag.com

ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá možnosťou využitia vybraných anorganických odpadov ako náhrady za drobné kamenivo vo výrobe betónových prefabrikátov, čerstvého betónu a transportbetónu. Skombinujú sa navzájom teplárenský popolček zo spaľovania uhlia a deponované odpadové piesky z výroby hliníkových odliatok. Základnou podmienkou, ktorá určuje použitie kameniva, druhotných surovín a cementu je vyhovujúca pevnosť výsledného betónu v zmysle platnej legislatívy a trvanlivosť takto pripravených betónov. Metodika výskumu vychádza z EN 196-1, v zmysle ktorej sa stanovuje pevnosť cementov. Objemová stálosť sa sleduje podľa EN 196-3. Normový kremičitý piesok používaný pri skúšaní cementov bol v rôznom pomere nahradený teplárenským popolčekom a odpadovými pieskami.

ÚVOD

Technický rozvoj spoločnosti má u nás stále výrazne extenzívny charakter a nastávajúci proces globalizácie výrazne ovplyvňuje aj stav životného prostredia. Dochádza aj k miernemu nárastu počtu obyvateľov, nekontrolovateľnému čerpaniu surovín pre výrobu materiálov a energie a k urbanizácii životného prostredia. Súčasne sa zvyšuje množstvo škodlivých emisií a odpadov. Surovinové zdroje sú však značne obmedzené. Rovnako ako sú limitované zdroje pre obživu narastajúceho počtu obyvateľov (problém pitnej vody a potravín) sú obmedzené i zdroje surovín potrebných pre stavbu budov, rozvoj infraštruktúry a priemyslu potrebného pre ďalšie zaistenie životných podmienok ľudí. To platí aj pre bežné suroviny pre výrobu stavebných materiálov a hmôt. Z uvedeného vyplýva potreba zmien v prístupe k navrhovaniu betónových konštrukcií a betónov pre cestné staviteľstvo. Jednou z možností je využívanie druhotných surovín vznikajúcich v iných priemyselných činnostiach. Cieľom je znížiť ťažbu prírodných surovín a obmedziť množstvo odpadov zaťažujúcich prírodu vo forme skládok a emisií. Medzi odpady, ktoré vznikajú vo veľkých množstvách a predstavujú potenciálny zdroj surovín pre stavebníctvo patria teplárenské popolčky a odpadové piesky zo zlievarní.

Popolček sa získava elektrostatickým alebo mechanickým odlučovaním prachových častíc z elektrární a teplární. Vzniká spaľovaním pevných palív ako napr. uhlia alebo biomasy. Patrí medzi puzolánové materiály [1-3]. Tieto materiály obsahujú aktívny SiO_2 , ktorý je schopný reagovať s Ca(OH)_2 vznikajúcim pri hydratácii slinkových materiálov. Pri puzolánovej reakcii vznikajú nové hydratačné produkty. Dôsledkom je zvýšenie pevnosti betónu a zlepšenie jeho ďalších vlastností, resp. možnosť zníženia dávky cementu (náhrada časti cementu popolčekom). Popolčky sa využívajú ako plnivo do pórobetónu, ako náhrada cementu alebo drobného kameniva do betónu, plnivo do mált, do stabilizačných vrstiev v cestnom staviteľstve a ako zemina do hutnených násypov. Pre určenie vhodnosti a použiteľnosti popolčeka v stavebníctve je jedným z rozhodujúcich činiteľov obsah

nespáliteľných látok (strata žíhaním) a obsah zlúčenín síry [4]. Množstvá popolčeka, ktoré každoročne vznikajú vo svete sú obrovské.

Produkcia popolčeka v Indii predstavuje približne 80 miliónov ton za rok [5]. V Číne vzniká každoročne približne 300 miliónov ton a celkové skládkované množstvo popolčeka presahuje 2,5 miliardy ton [6]. Na Slovensku tvorí popolček najväčší podiel tuhých priemyselných odpadov [7].

Zlievarenstvo vyrába výrobky na základe zlievateľnosti kovov a ich zliatin. Je to spôsob výroby odliatkov, pri ktorom sa roztavený kov vlieva do dutiny formy, v ktorej nastáva tuhnutie taveniny a získava sa odliatok. Jedným zo spôsobov výroby odliatkov je odlievanie do pieskových foriem. Na výrobu foriem sa používajú prírodné alebo syntetické piesky. Hlavnou požiadavkou je dostatočne jemná zrnitosť piesku zabezpečujúca kvalitný povrch odliatku. Pieskové formy na odlievanie obsahujú ako hlavnú zložku SiO_2 , pojivo tvorí vytvrdená fenolová živica. Použitý kremičitý piesok sa nikdy nedá úplne regenerovať na rovnaký fyzikálny alebo chemický stav zodpovedajúci pôvodnému zlievarenskému piesku. Použitá zmes predstavuje vysoko chemicky nehomogénnu disperznú sústavu, so zrnami pôvodného zloženia zrna až po zrná, ktoré prekonali vysoký tepelný atak a sú prakticky neregenerovateľné [8, 9]. Aj keď sú známe možnosti využitia použitých odpadových zlievarenských pieskov v zahraničí, na Slovensku sa tento druh odpadu nevyužíva. Nevyužívajú sa ani nepoužité odlievacie jadrá a formy z dôvodu vysokého obsahu organických látok.

Jednou z možností zhodnotenia odpadových pieskov z výroby foriem a popolčeka je ich využitie ako náhrady kameniva pri výrobe betónu. Ich využitím by sa znížilo zaťaženie životného prostredia pri ťažbe prírodných surovín, predĺžila by sa životnosť skládky odpadov a odpad by sa výrobou vhodných výrobkov ekonomicky zhodnotil.

Príspevok sa zaoberá možnosťou využitia teplárenského popolčeka zo spaľovania uhlia a zlievarenských odpadových pieskov ako náhrady za drobné kamenivo (veľkosť frakcie ≤ 2 mm) vo výrobe betónu. Základnou podmienkou, ktorá určuje použitie kameniva, druhotných surovín a cementu je vyhovujúca pevnosť výsledného betónu v zmysle platnej legislatívy a trvanlivosť takto pripravených betónov. Možnosť využitia skúmaných odpadov bude preto posúdená na základe týchto vlastností. Získané výsledky poukážu na možnosť využitia skúmaných odpadov v stavebníctve pri výrobe betónových prefabrikátov, čerstvého betónu a transportbetónu.

MATERIÁL A METODIKA

Hodnotený popolček z elektrostatických odlučovačov vzniká v prevádzke teplárne pri spaľovaní hnedého uhlia. Popolček je sivej farby, nevýrazného zápachu, veľmi jemnej, prachovitej zrnitosti – cca 87% sú častice pod 0,04 mm.

Hodnotené odpadové piesky sa používajú na výrobu kokilových a nízkotlakových odliatkov z hliníkových zliatin. Používa sa formovacia zmes Resital-Fertgsand. Základné komponenty formovacej zmesi sú kremičitý piesok (ostrivo) a fenolová živica (spojivo). Pieskové formy sa používajú jednorázovo, čo znamená produkciu veľkého množstva odpadu (okolo 10 000 ton ročne). Odpadové piesky sú deponované na skládkach. Chemické zloženie hodnotených pieskov je uvedené v tab.1

Tab.1 Chemické zloženie odpadového piesku [%]

Vlhkosť	SŽ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Mn_2O_3	P_2O_5	K_2O	Na_2O	celková S
1,2	1,8	82,5	2,9	8,24	0,01	5,8	0,3	0,14	0,03	0,01	0,04	0,01

SŽ – strata žíhaním pri 950° C

Ďalšie vstupné materiály použité pri výrobe laboratórnych trámčekov.:

Použitý dolomit pochádza z kameňolomu Sokolec, andezit pochádza z lomu Remata. Pri skúškach boli použité normové kremičité piesky vyrábané spoločnosťou Provodínské písky, a.s. Provodín, Česká republika.

Metodika výskumu vychádza z EN 196-1 [10], EN 196-3 [11] v zmysle ktorej sa stanovuje pevnosť cementov v tlaku a v ťahu pri ohybe a objemová stálosť. Boli vykonané tri varianty skúšok:

1. s využitím odpadových pieskov z jadier a foriem po odliatí odliatkov z Al zliatin,
2. s využitím teplárenského popolčeka zo spaľovania uhlia,
3. s využitím kombinácie týchto odpadov.

Na skúšanie pevností sa použili telesá s rozmermi 40 mm x 40 mm x 160 mm, ktoré sa vyrábajú z malty obsahujúcej jeden hmotnostný diel cementu a tri hmotnostné diely normového piesku pri vodnom súčiniteli 0,5. Normový kremičitý piesok používaný pri skúšaní cementov bol v rôznom pomere nahradzaný teplárenským popolčekom a odpadovými pieskami. Časť normových pieskov bola nahradená andezitom a dolomitom, ktoré sú bežnými prírodnými surovinami používanými vo výrobe betónu. Pri experimentoch bol použitý cement CEM II/B-S 32,5 R. Chemické zloženie cementu je uvedené v tabuľke č. 2 .

Tab. 2 Chemické zloženie cementu CEM II/B-S 32,5 R. [%]

	SŽ	SiO ₂	NP	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	Cl
CEM II B-S 32,5R	2,31	26,13	1,08	1,69	5,72	55,72	4,21	0,40	2,55	0,020

SŽ – strata žiháním

NP – nerozpustný podiel

Cement ešte obsahuje v desatinách percenta: K₂O, Na₂O, Mn₂O₃, P₂O₅

Vzhľadom na heterogénnosť materiálu bolo potrebné vzorky odpadov, andezitu a dolomitu mechanicky upraviť sitovaním. Podľa ISO 565 boli rozmery otvorov sita 2 mm. Po upravení sa maltová zmes pripravila strojovým miešaním v miešačke CMK. Zhutňovala sa do foriem pomocou vibračného zhutňovacieho stolíka. ToniTechnik Skúšobné telesá vo formách sa uložili do laboratórnej skrine pre vlhké uloženie na 24 hodín. Skriňa musela mať trvalú teplotu 20 ± 1 °C a relatívnu vlhkosť vzduchu najmenej 90%. Po odformovaní boli skúšobné telesá uložené v temperovanej vode v zmysle STN 196-1 [10], až do vykonania skúšok pevnosti. Po jednom resp. 27 dňoch sa skúšobné telesá vybrali z vody, odkúšali zaťažením v ťahu pri ohybe sa rozlomili na dve polovice; každá polovica skúšobného telesa sa skúšala na pevnosť v tlaku na silomernom stroji typu ALPHA 3000.

Skúška objemovej stálosti sa vykonala Le Chatelierovou skúškou podľa STN EN 196-3 [11]. Skúška sa robí na dvoch skúšobných telesách. Ľahko naolejovaná zviazaná Le Chatelierova objímka sa postaví na naolejovanú základovú doštičku a ručne sa naplní cementovou kašou normálnej hustoty, zarovná sa povrch a zakryje sklíčkom. Objímky sa vložia na 24 hodín do vlhkého prostredia. Potom sa zmeria vzdialenosť medzi kontaktami A. Ďalej sa vzorky varia vo vode 3 hodiny, po ochladení sa zmeria vzdialenosť medzi kontaktami C. Rozdiel C- A určí hodnotu úrovne objemovej stálosti.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri hodnotení výsledkov skúšobných telies sme použili porovnanie s normou STN EN 197-1 [12]. Bola zaznamenaná pevnosť v ohybe po 2 a 28 dňoch a vyhodnotená počiatočná pevnosť v tlaku po dvoch dňoch a normalizovaná pevnosť po 28 dňoch. Podľa EN 196-3 [11] bola vyhodnotená objemová stálosť. Pevnosť v ťahu za ohybu nie je normalizovaná vlastnosť. Používa sa pri hodnotení cementov používaných pre cestné stavitel'stvo pri výrobe

cementobetónových krytov. Bolo pripravených a otestovaných 25 skúšobných telies. Výsledky sú uvedené v tabuľke 3.

Tab.3: Výsledné hodnoty pevností a objemových stálostí skúšobných telies

P.č.	POP [g]	OP [g]	A [g]	D [g]	KP [g]	C [g]	Σ bez vody [g]	T2 N/mm ²	Q2 N/mm ²	T28 N/mm ²	Q28 N/mm ²	OS* mm
1.	0	0	50	50	1250	450	1800	16,40	4,90	40,90	8,50	1,0
2.	0	250	100	100	900	450	1800	15,10	4,10	36,80	7,90	1,0
3.	0	500	75	75	700	450	1800	14,00	3,70	34,60	6,60	1,5
4.	0	750	0	0	600	450	1800	13,80	3,60	33,50	6,20	1,5
5.	0	1000	25	25	300	450	1800	11,00	1,70	30,40	5,30	1,5
6.	35	0	75	75	1165	450	1800	18,20	5,00	47,90	7,80	0,5
7.	35	250	0	0	1065	450	1800	19,60	4,40	50,50	8,50	0,5
8.	35	500	100	100	615	450	1800	15,80	4,00	42,30	7,00	1,0
9.	35	750	25	25	515	450	1800	14,30	3,50	40,00	6,30	1,0
10.	35	1000	50	50	215	450	1800	13,60	3,40	36,90	6,30	1,0
11.	70	0	100	100	1080	450	1800	22,40	5,40	50,80	10,00	1,0
12.	70	250	25	25	980	450	1800	25,00	5,90	52,00	10,80	0,5
13.	70	500	0	0	780	450	1800	21,50	2,90	48,60	9,60	0,5
14.	70	750	50	50	430	450	1800	20,00	3,60	41,70	8,10	1,0
15.	70	1000	75	75	130	450	1800	16,40	2,50	36,70	7,40	1,0
16.	105	0	25	25	1195	450	1800	23,80	4,70	55,00	9,70	1,5
17.	105	250	75	75	845	450	1800	19,50	4,80	49,50	9,40	1,0
18.	105	500	50	50	645	450	1800	17,40	4,60	42,50	8,80	1,0
19.	105	750	100	100	295	450	1800	15,40	3,60	36,20	8,00	1,5
20.	105	1000	0	0	245	450	1800	14,70	3,60	36,30	7,50	1,5
21.	140	0	0	0	1210	450	1800	24,30	5,30	56,60	7,90	2,0
22.	140	250	50	50	860	450	1800	19,10	4,20	48,10	7,00	1,5
23.	140	500	25	25	660	450	1800	19,80	4,10	49,20	6,90	2,0
25.	140	1000	100	100	10	450	1800	14,30	3,00	34,30	5,50	2,0
CEM II/B-S 32,5 R podľa STN EN 196-1					1350	450	1800	21,20	5,10	44,50	8,70	1,0
CEM II/B-S 32,5 R po 1 mesiaci rozprestretia					1350	450	1800	17,70	4,50	41,10	7,10	1,5
STN EN 197-1, norma minimum								10,00	2,50	32,50	5,50	≤ 10

* Objemová stálosť Le Chatelierovou skúškou (STN EN 196-3)

Pozn. **Tučným písmom sú vyznačené hodnoty pevností v tlaku vyššie ako štandard.**

Vysvetlivky

P.č. – poradové číslo vzorky,

OP – odpadový piesok,

D – dolomit,

C – cement CEM II/B-S 32,5 R,

T2- pevnosť v tlaku 2-dňová,

T28 - pevnosť v tlaku 28-dňová,

POP – popolček,

A – andezit,

KP – normový kremičitý piesok,

Σ bez vody – pevné skupenstvo,

Q2 – pevnosť v tlaku za ohybu 2 dňová,

Q28 – pevnosť v tlaku za ohybu 28- dňová.

V zmysle EN 196 -1 bola vyhodnotená počiatočná pevnosť v tlaku /T2/ po dvoch dňoch a normalizovaná pevnosť v tlaku stanovená po 28 dňoch / T28/. Pri diskusii výsledkov

T2 musíme vychádzať z potreby betonárskej praxe, kde žiadosti pri predpätých a konštrukčných betonov sú na úrovni takej, že po 72 hodinách je nutné dosahovať 50- 70 % z celkových pevností. Z toho pohľadu vyhovujú vzorky č .11, 12, 16 a 21 /70 % z 32,5 N.mm⁻² je 22,5 N.mm⁻²./. Najzaujímavejšia sa ukazuje vzorka č.21,v tomto smere je potrebné pokračovať v ďalších prácach.

Z výsledkov normalizovaných pevností vyplýva, že iba jedna vzorka (č.5), nespĺňa minimálne požiadavky určené legislatívou [12]. Pri desiatich vzorkách (označené tučným písmom, pozri tab.1) bola nameraná vyššia normalizovaná pevnosť ako pri štandardnej vzorke (44,5 N.mm⁻² a 41,1 N.mm⁻²). Dve hodnoty štandardu sa urobili preto, lebo prvá charakterizuje začiatok pokusov a druhá koniec, cca po 1 mesiaci- regres pevností v čase.

Pridavok andezitu a dolomitu má degresívny účinok. Spôsobil pokles pevnosti asi o 10% oproti štandardu. Simulácia vstupov charakterizujúca bežné kamenivo pri výrobe betónov teda nemá na konečné výsledky priaznivý efekt.

Použitím len odpadového piesku bola splnená minimálna hodnota požadovaná legislatívou. Nebola však dosiahnutá hodnota štandardu, čo bolo potvrdené aj v práci iných autorov [13]. American Foundrymens Society (AFS) odporúča nahrádzať maximálne 33 % kameniva odpadovým pieskom [14]. To znamená, že optimálna dávka piesku je cca 450 g, ktorej najviac odpovedá vzorka č.3.

Vo vzorkách bez odpadových pieskov (č. 6, 11, 16 a 21) použitím popolčeka ako náhrady drobného kameniva sa pevnosť zvyšuje najoptimálnejšie. Pevnosť uvedených vzoriek mala rastúcu tendenciu a bola vyššia ako štandard.

Kombinácia odpadového piesku a teplárenskeho popolčeka je ekonomicky najvhodnejšia, pevnosti skúšobných telies v siedmich prípadoch dosahujú hodnoty štandardu.. Ako najvhodnejšie zmesi sa ukazujú vzorky č.13, 22 a 23, s využitím väčšieho množstva odpadov v kombinácii s andezitom a dolomitom, pričom spĺňajú kritériá na pevnosť v tlaku pre štandard i normu. Vhodná je aj kombinácia vstupných surovín vzoriek č. 8 ,9,14 a 18. Pevnosť v tlaku spĺňa normové požiadavky a približuje sa aj k hodnotám štandardu, šetriac drahé vstupné suroviny.

ZÁVER

V príspevku boli vyhodnotené počiatkové a normalizované pevnosti v tlaku a pevnosti v ťahu za ohybu na telesách vyrobených a skúšaných podľa platnej legislatívy. Výsledky skúšok poukazujú na možnosť využitia odpadových zlievarenských pieskov v kombinácii s teplárenským popolčekom ako náhradou drobného kameniva vo výrobe betónu. Pred použitím týchto odpadov vo výrobe betónu je však potrebné preskúmať napr. chemické zloženie zmesi, ekotoxicitu a stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov nielen vo vstupných surovinách ,ale aj v zmesiach v zmysle platnej legislatívy.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] MEHTA, P.K.: Concrete: Structure, Properties, and Materials, Prentice- Hall, Englewood, NJ, 1986.
- [2] NEVILLE, A.M.: Properties of Concrete, 4th ed., Longman, UK, 1995.
- [3] ERDOGAN, T.Y.: Admixtures for Concrete, The Middle East Technical Univ. Press, Ankara, Turkey, 1997.
- [4] ĎURICA, T.: K problematike recyklácie betónu a betónových konštrukcií. In: Výroba betónu 2006, TU Košice, SF, 2006, p. 32
- [5] SIDDIQUE, R.: Effect of fine aggregate replacement with Class F fly ash on the abrasion resistance of concrete. In: Cement and Concrete Research 33, 2003, p. 1877
- [6] LAN, W., YUANSHENG, C.: The application and development of fly ash in China. In:

- World of Coal Ash (WOCA), 2007, Covington, Kentucky, USA, p. 1.
- [7] MICHALÍKOVÁ, F., FLOREKOVÁ, L., ŠKVARLA, J.: Technológie a zariadenia pre zhodnocovanie popola – odpadu z elektrární. In: Acta Mechanica Slovaca 4, 2004, p. 119-120.
- [8] KOREŇ, J., PRIBULOVÁ, A., KOVER, J., KANKOVÁ, R.: Mechanický spôsob úpravy zlievarenského piesku umožňujúci jeho recykláciu. In: Recyklace odpadu 6, 2002, p. 27-31.
- [9] LADOMERSKÝ, J., NOSÁĽ, E., CIBUĽA, J., SCHNEIDEROVÁ, V.: Niektoré možnosti využitia pieskových jadier a foriem po odlievaní. In: Životné prostredie 6, 2003, p. 312-313
- [10] STN EN 196-1: Metódy skúšania cementu. 1. časť: Stanovenie pevnosti. Slovenský ústav technickej normalizácie, 1997, p.32.
- [11] STN EN 196-3: Metódy skúšania cementu. 1. časť: Stanovenie času tuhnutia a objemovej stálosti. Slovenský ústav technickej normalizácie, 1997.
- [12] STN EN 197-1: Cement. 1. časť: Zloženie, špecifikácie a kritériá na preukazovanie zhody cementov na všeobecné použitie. Slovenský ústav technickej normalizácie, 2002, p.28.
- [13] NAIK, T. R., PATEL, V.M., PARIKH, D. M., THARANIY, M.P.: Utilization of used foundry sand in concrete. In: The ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 6, No.2, 1994, p. 254-263.
- [14] AMERICAN FOUNDRYMENS SOCIETY (AFS): "*Alternate utilization of foundry waste sand.*" Rep., Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Des Plaines, 1991, p. 111.