ISSN 1339-3189

November 2014

Mladá veda

Young Science

Rozhovor s docentom Michalom Kozubíkom

Zadíženosť územných samospráv na Slovensku

Kultúrny turizmus najvýznamnejších múzeí vo svetových metropolách

www.mladaveda.sk

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

November 2014 (číslo 3)
Ročník druhý
ISSN 1339-3189
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: Kuala Lumpur 2013. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA
doc. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
doc. PaedDr. Peter Čuka, PhD. (Katedra cestovního ruchu, Slezská univerzita v Opavě)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of UkrainianStudies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA
Mgr. Richard Nikischer (Sociologický ústav Akademie věd ČR, Praha)
Mgr. Branislav A. Švorc, PhD. šéfredaktor (Katedra turizmu a hotelového manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ
Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r.o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 2 (3), pp. 99-105

VPLYV RECYKLOVANÉHO POLYSTYRÉNU AKO PLNIVA DO ĽAHKÝCH BETÓNOV NA ICH FYZIKÁLNE A TEPELNO-FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

INFLUENCE OF RECYCLED POLYSTYRENE AS FILLER TO LIGHTWEIGHT CONCRETES TO THEIR PHYSICAL AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES

Valéria Gregorová[1]

Autorka pôsobí ako interný doktorand na Stavebnej fakulte STU v Bratislave. Vo svojom výskume sa venuje ľahkým tepelnoizolačným betónom na báze odpadových plastov.

Author acts as an internal doctoral student at the Faculty of Civil Engineering Slovak Technical University in Bratislava. She deals with the lightweight heat-insulating concrete based waste plastics in her research.

Abstract

The paper presents the results of experimental work dealing with the possibility of using recycled polystyrene as filler to lightweight concrete. The aim of research was to optimize the composition of mixtures, to determine the relationship between the dosage of cement paste with different water-to-cement ratio and physical and thermo-physical properties of lightweight concrete. The achieved results confirmed that recycled polystyrene is a full replacement for granulated polystyrene what is of considerable importance from an economic and environmental aspect.

Key words: lightweight concrete, polystyrene, waste, recycling, thermo-physical properties

Abstrakt

V príspevku sú uvedené výsledky experimentálnej práce zaoberajúcej sa možnosťou využitia recyklovaného polystyrénu ako plniva do ľahkého betónu. Cieľom výskumu bolo optimalizovať zloženie zmesí, stanoviť závislosť medzi dávkou cementového tmelu pri rôznom vodnom súčiniteli a fyzikálne a tepelno-fyzikálne vlastnosti ľahkých betónov. Dosiahnuté výsledky potvrdili, že recyklovaný polystyrén predstavuje plnohodnotnú náhradu za granulovaný polystyrén, čo má značný význam z ekonomického i environmentálneho hľadiska.

Kľúčové slová: ľahký betón, polystyrén, odpad, recyklácia, tepelno-fyzikálne vlastnosti

[1]Adresa pracoviska: Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, E-mail: valeria.gregorova@stuba.sk

Úvod

V súčasnosti dochádza k neustálemu nárastu produkcie plastového odpadu, čo ma výrazný dopad na životné prostredie. Čoraz viac priemyselných odvetví hľadá spôsob ako optimálne spracovať a ďalej využívať takto vyprodukovaný odpad. Stavebný priemysel už tradične umožňuje široké zhodnotenie odpadov rôznych druhov. Jednou z možností, ako efektívne zakomponovať odpad do stavebnej výroby, je použiť druhotné suroviny pri výrobe kompozitných materiálov ako sú napr. ľahké betóny a malty.

Ľahké betóny majú v stavebnej praxi častejšie uplatnenie. Vyznačujú sa nízkou objemovú hmotnosť (200 – 2000 kg/m^3) a dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami. Ich hlavnou nevýhodou je menšia pevnosť v tlaku, vyššia nasiakavosť, zmrašťovanie a dotvarovanie. Plnivom pre nepriamo ľahčené tepelnoizolačné betóny je najčastejšie drvený alebo granulovaný polystyrén, expandované vulkanické sklá, napr. perlit a pod. [1].

Polystyrénbetón je homogénna zmes polystyrénových granúl s cementovým mliekom vhodná pre všetky vodorovné konštrukcie ako výplňový, tepelno-izolačný ľahký materiál [2]. Vyrába sa z polystyrénu, ktorý je jedným z najstarších syntetických polymérov. Vzniká polymerizáciou styrénu (vinylbenzénu). Pre stavebné účely sa vyrába ako expandovaný (EPS) alebo extrudovaný (XPS) polystyrén [3]. Obsah polystyrénových granúl v betónovej zmesi je vzhľadom na ich štrukturálny charakter a nízku objemovú hmotnosť rozhodujúcim faktorom výslednej hmotnosti ako i tepelnej vodivosti. Medzi hlavné výhody polystyrénbetónu patria: nízka objemová hmotnosť (200 – 900 kg/m^3); dobré mechanické vlastnosti (pevnosť v tlaku 0,3 – 1,8 MPa); výborné tepelno-izolačné a zvukovo-izolačné vlastnosti (od 0,057 do 0,235 W/m.K); požiarna odolnosť (od 700 kg/m^3 nehorľavý); nahrádza podkladový betón; rýchlo tuhne (realizácia ďalšej vrstvy už za 24 hod) je ekologický a hygienicky neškodný [2].

Veľkou nevýhodou polystyrénbetónu je obmedzená dostupnosť a pomerne vysoká cena polystyrénového granulátu. Z tohto dôvodu sa čoraz častejšie používa recyklovaný polystyrén, ktorý sa vyrába spracovaním stavebného odpadu (zatepľovací materiál) a priemyselných obalov (elektronika, elektrotechnika a biela technika). Odpadový polystyrén nesmie obsahovať lepenky, oceľové predmety, znečistenie lepidlami, tmelmi, maltou a podobne [4].

V príspevku sa uvádzajú výsledky experimentov, ktorých cieľom bolo stanoviť vplyv dávky cementového tmelu pri rôznom vodnom súčiniteli na fyzikálne vlastnosti ľahkých betónov na báze odpadového polystyrénu. Ďalej sa sledoval vplyv na objemové hmotnosti, pevnostné parametre a tepelno-technické parametre pri rôznej vlhkosti ľahkých betónov.

Použité materiály a metódy

Pre experimentálny výskum bol použitý drvený recyklovaný polystyrén vytriedený na frakciu 4/8 mm poskytnutý firmou PRIMA-FO s.r.o. (obr.1).

Hlavným spojivom použitým v zámesiach bol portlandský troskový cement STN EN 197-1 CEM II/B-S 32,5 R od výrobcu Cemmac a.s. Horné Srnie s výrobcom deklarovanými vlastnosťami: pevnosť v tlaku po 2 dňoch 14,5 – 19,0 MPa, po 28 dňoch 41,7 – 47,3 MPa, začiatok tuhnutia 180 - 250 min, objemová stálosť podľa LeChateliera 0 – 1,5 mm, obsah aditív 30 – 3 % [5].

Ako zámesová voda bola použitá pitná voda z verejnej vodovodnej siete. Jej množstvo je dané vodným súčiniteľom a je konštantné pri jednotlivých zámesiach (menila sa len dávka cementu).

Vybraná zámes sa modifikovala plastifikačnou prísadou Berament N 101 (hustota 1195 kg/m^3, obsah sušiny 39,0 % a hodnota pH 6,0) v množstve 1 % z hmotnosti cementu.

Zloženie	Dávka zložky											
	Receptúra											
	A				B				C			
	PA1	PA2	PA3	PA4	PB1	PB2	PB3	PB4	PC1	PC2	PC3	PC4
Cement (kg)	1,2	1,4	2,0	2,4	1,2	1,4	2,0	2,4	1,2	1,4	2,0	2,4
Recyklovaný polystyrén (l)	8				8				8			
Voda (l)	0,54	0,63	0,90	1,08	0,60	0,70	1,0	1,2	0,48	0,56	0,8	0,96
V/C	0,45				0,5				0,4			
Plastifikčná prísada (g)	-				-				12	14	20	24

Tab. 1 Základné zloženie zámesí

Zložky zmesi sa dávkovali hmotnostne (cement, plastifikačná prísada) a objemovo (zámesová voda a polystyrénový recyklát), ich miešanie prebiehalo ručne. Po dôkladnom premiešaní vody s cementom sa opatrne pridával polystyrén. Z homogénnej zmesi sa vyrobili skúšobné vzorky tvaru kocky s hranou 100 mm (obr. 1), ktoré sa ošetrovali 48 hodín vo vlhkom prostredí. Následne sa odformovali a uložili na 28 dní do prostredia so zvýšenou relatívnou vlhkosťou ($\varphi \geq 95\%$). Po uplynutí tejto doby sa vzorky uchovávali v laboratórnom prostredí s teplotou cca 20 °C a relatívnou vlhkosťou vzduchu φ = cca 60 %.

Na vzorkách sa určila 28 dňová pevnosť v tlaku – resp. napätie v tlaku pri 2,5; 5; 7,5 a 10% deformácií; objemová hmotnosť; súčiniteľ tepelnej vodivosti λ po 28 dňoch vo vlhkom prostredí a následne po 14 dňoch v laboratórnom prostredí.

Obr. 1- a) vzorka polystyrénového recyklátu, zrnitosť 4/8 mm;
b) skúšobná vzorka polystyrénbetónu (PB2: v/c=0,5; dávka cementu 175 kg/m^3)

Výsledky experimentov

Základné fyzikálne a tepelno-technické vlastnosti ľahkých betónov sa uvádzajú v tab. 2. Objemová hmotnosť polystyrénbetónu sa vyvíjala v závislosti od pomeru medzi objemom cementového tmelu a objemom recyklovaného polystyrénu. So zvyšujúcou sa dávkou cementu narastal percentuálny podiel cementového tmelu k celkového objemu skúšobnej vzorky, čo malo za následok zvýšenie objemovej hmotnosti i súčiniteľa tepelnej vodivosti λ.

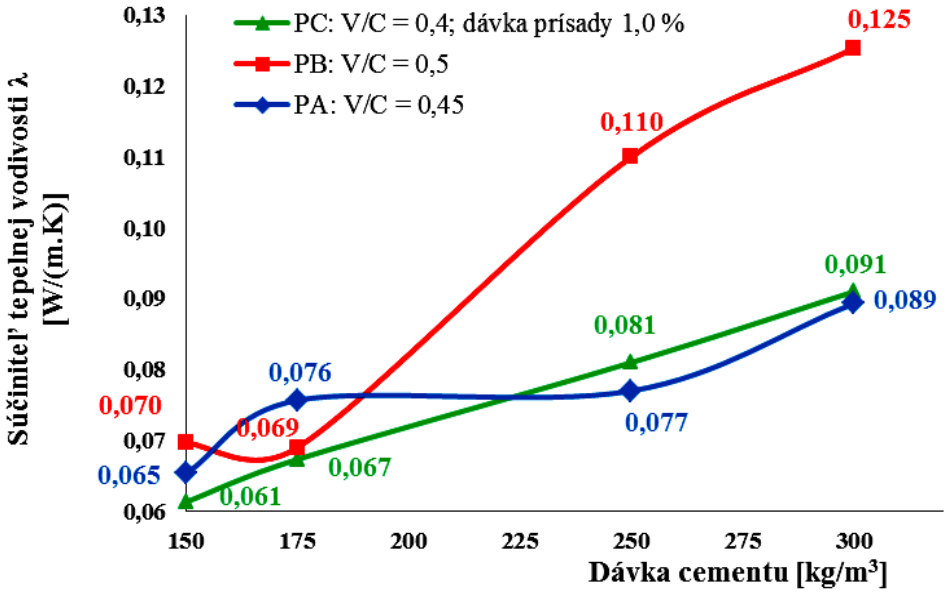
Pri dávke cementu 150 kg/m^3 dosahovala objemová hmotnosť hodnoty od 220 do 290 kg/m^3, pri najvyššej dávke cementu - 300 kg/m^3 sa pohybovala na úrovni od 480 do 530 kg/m^3.

Vodný súčiniteľ (V/C)	Označenie vzorky	Dávka cementu (kg/m^3)	Objemová hmotnosť (kg/m^3)		Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ (W/m.K)		Napätie ρ (MPa)			
							Vek vzorky 28 dní			
			Vek vzorky (deň)		Vek vzorky (deň)		Deformácia (%)			
			28	42	28	42	2,5	5	7,5	10
0,45	PA1	150	260	250	0,065	0,061	-	-	-	0,19
	PA2	175	400	370	0,076	0,070	0,34	0,35	0,37	0,37
	PA3	250	450	440	0,077	0,073	0,53	0,53	0,50	0,49
	PA4	300	510	500	0,089	0,085	0,74	0,74	0,78	0,68
0,50	PB1	150	290	290	0,070	0,065	0,18	0,18	0,19	0,19
	PB2	175	310	300	0,069	0,065	0,27	0,27	0,28	0,28
	PB3	250	490	480	0,110	0,098	0,54	0,52	0,54	0,52
	PB4	300	550	530	0,125	0,111	0,86	0,84	0,73	0,67
0,40*	PC1	150	230	220	0,061	0,059	0,09	0,10	0,10	0,11
	PC2	175	290	280	0,067	0,064	0,21	0,23	0,21	0,21
	PC3	250	410	390	0,081	0,076	0,46	0,49	0,48	0,40
	PC4	300	500	480	0,091	0,085	0,86	0,78	0,72	0,66

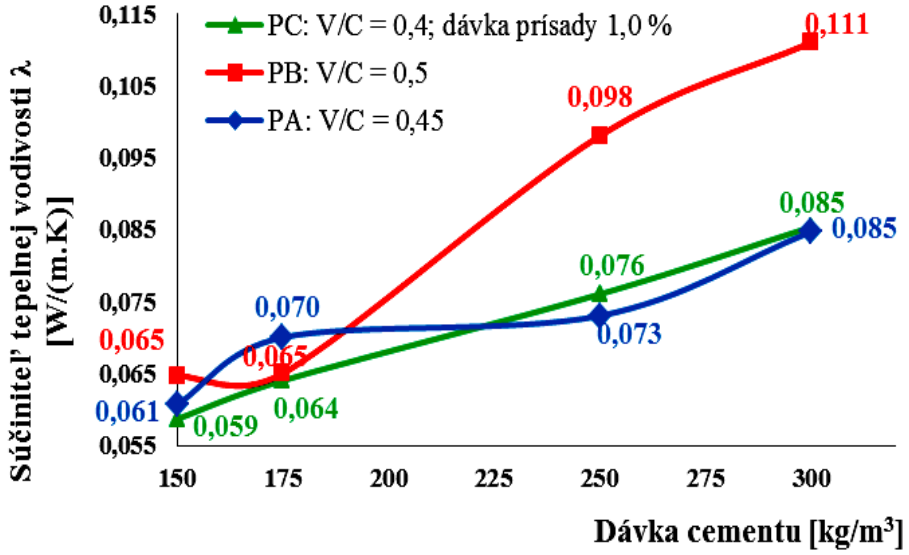
Tab. 2 Fyzikálne a tepelno-technické vlastnosti skúšobných vzoriek

S rastúcou dávkou cementového tmelu narastal aj súčiniteľ tepelnej vodivosti skúšobných vzoriek. Hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti skúšobných vzoriek ľahkého betónu na báze odpadového polystyrénu uložených vo vlhkom prostredí bola pri dávke cementu 150 kg/m^3 cca. 0,065 W/(m·K). Pri najvyššej dávke cementu 300 kg/m^3 dosiahla maximálnu hodnotu 0,125 W/(m·K). Priebeh závislosti medzi súčiniteľom tepelnej vodivosti suchých vzoriek a dávky cementu (obr. 3) bol takmer identický v porovnaní so závislosťou vlhkých vzoriek (obr. 2). Mierny pokles hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti suchých vzoriek bol spôsobený znížením vlastnej vlhkosti vzoriek. Súčiniteľ tepelnej vodivosti vzoriek uložených v laboratórnom prostredí sa pri dávke cementu 150 kg/m^3 pohyboval od 0,059 do 0,065 W/(m·K). Pri najvyššej dávke cementu 300 kg/m^3 sa súčiniteľ tepelnej vodivosti pohyboval od 0,085 do 0,111 W/(m·K).

* Pri vodnom súčiniteli V/C = 0,40 bola použitá plastifikačná prísada Berament N 101 v množstve 1 % z hmotnosti cementu.



Obr. 2 - Závislosť medzi súčiniteľom tepelnej vodivosti λ a dávkou cementu skúšobných vzoriek uložených 28 dní vo vlhkom prostredí

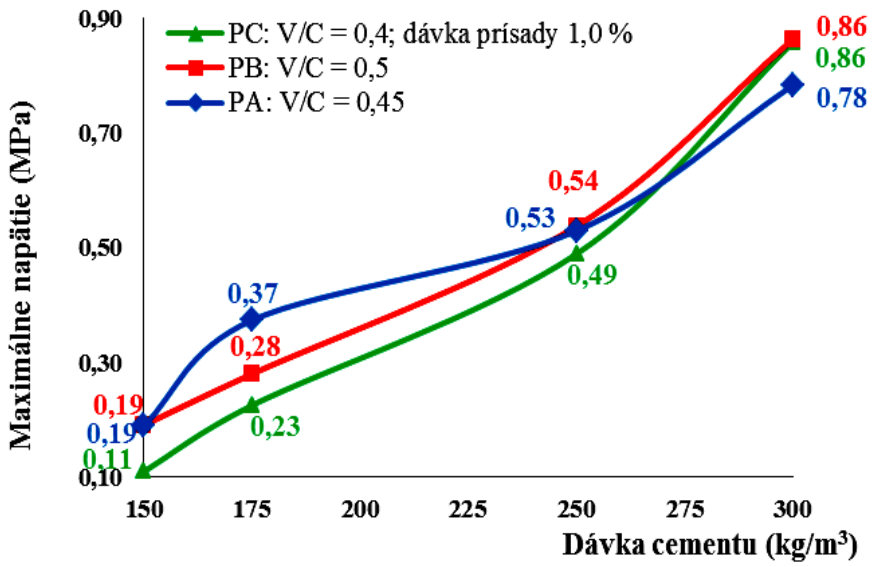


Obr. 3 - Závislosť medzi súčiniteľom tepelnej vodivosti λ a dávkou cementu skúšobných vzoriek uložených 28 dní vo vlhkom prostredí a následne 14 dní v laboratórnom prostredí

Pevnostné charakteristiky skúšobných vzoriek záviseli od dávky cementu. Pri nízkych dávkach bolo napätie s narastajúcou deformáciou skúšobných vzoriek takmer konštantné. Vyššie dávky cementu spôsobili nadbytok cementového tmelu, čo malo za následok nerovnomerné rozdelenie tmelu v objeme vzorky a kolísanie výsledkov pevnostných charakteristík.

Plastifikačná prísada nadmerne stekutila cementový tmel, čo malo vplyv na homogenitu vzoriek a v konečnom dôsledku i na pevnosti resp. napätia. Skúšobné vzorky bez aplikovanej prísady dosahovali vo väčšine prípadov vyššie hodnoty ako vzorky

s plastifikačnou prísadou. Hodnoty maximálnych napätí dosiahnutých na skúšobných vzorkách bez ohľadu na veľkosť deformácie sú uvedené na obr. 4.



Obr. 4 - Závislosť medzi maximálnym napätím a dávkou cementu

Zhodnotenie výsledkov a záver

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že ľahké betóny na báze odpadového polystyrénu vykazovali relatívne dobré vlastnosti. Tieto vlastnosti boli výrazne ovplyvňované dávkou cementu. So zvyšujúcou sa dávkou cementu výrazne vzrastala objemová hmotnosť, súčiniteľ tepelnej vodivosti λ i pevnostné charakteristiky skúšobných vzoriek ľahkého betónu. S narastaním dávky cementu zo 150 kg/m^3 až po 300 kg/m^3 sa zvýšila objemová hmotnosť z 220 kg/m^3 na 530 kg/m^3; súčiniteľ tepelnej vodivosti z 0,059 na 0,111 W/(m·K) a pevnosť resp. maximálna hodnota napätia z 0,2 MPa na 0,9 MPa. Aplikácia plastifikačnej prísady a použitie rôznych vodných súčiniteľov malo malý vplyv na pevnostné charakteristiky betónov.

Dosiahnuté výsledky korešpondujú s údajmi uvádzanými výrobcami ľahkých betónov pri použití granulovaného polystyrénu (tab.3 a tab.4). Pri podobných dávkach cementu (od 120 kg/m^3 do 300 kg/m^3) sa objemové hmotnosti pohybovali od 200 kg/m^3 do 500 kg/m^3 a súčiniteľ tepelnej vodivosti λ od 0,057 do 0,140 W/(m·K).

Preukázalo sa, že použitie odpadového polystyrénu ako plniva do ľahkých betónov predstavuje plnohodnotnú náhradu za doteraz využívaný granulovaný polystyrén.

Zložka zmesi	Objemová hmotnosť zmesi (kg/m^3)				
	200	350	500	700	900
IZO – BALL (l)	1000				
Cement (kg)	120	220	280	280	260
Voda (l)	100	120	120	120	150
Piesok (kg)	20	40	100	300	540
Pevnosť v tlaku (MPa)	0,2	0,3	0,5	0,9	1,8
Súčiniteľ tepelnej vodivosti W/(m·K)	0,057	0,086	0,140	0,177	0,235

Tab. 3 Výber z vlastností 1m^3 betónu na báze polystyrénových granúl IZO-BALL [6]

Zložka zmesi	Objemová hmotnosť zmesi (kg/m^3)					
	200	250	300	350	400	500
EPS V – polystyrénové perly (l)	1093	1047	1019	991	954	876
Cement CEM I 32,5R (kg)	180	220	250	280	300	380
Voda (kg)	90	110	120	130	150	180
Pevnosť v tlaku (MPa)	0,78	0,98	1,47	1,86	1,98	2,50
Súčiniteľ tepelnej vodivosti W/(m·K)	0,061	0,088	0,097	0,101	0,102	0,107

Tab. 4 Výber z vlastností 1m^3 polystyrénbetónu: SIRCONTEC PsB[7]

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. Vladimír Pavlík, PhD.

Použitá literatúra

1. www.tvstav.cz, D&DAXNER TECHNOLOGY s. r. o., *Nové plnivo do lehkých betonů na bázi polyuretanu.* [online, prístupné dňa 06.09.2014] dostupné na: http://tvstav.cz/clanek/394-nove-plnivo-do-lehkych-betonu-na-bazi-polyuretanu
2. www.ekostyren.cz, EKOSTYREN s. r. o., *Polystyrenbeton*. [online, prístupné dňa 06.09.2014] dostupné na: http://www.ekostyren.cz/polystyrenbeton-1
3. SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*. Bratislava : JAGA GROUP, s. r. o., 2004. 471 s. ISBN 80-8076-007-1
4. www.ekostyren.sk, Strojmast s. r. o., *Recyklácia polystyrénu.* [online, prístupné dňa 06.09.2014] dostupné na: http://www.ekostyren.sk/recyklacia-polystyrenu/
5. www.cemmac.sk, CEMMAC, a.s., *Technický list.* [online, prístupné dňa 09.10.2014] dostupné na: http://www.cemmac.sk/cement-cem-iib-s-325-r
6. www.enroll.cz, Enroll CZ spol. s r. o. – Ekologické izolační systémy., *IZO-BALL hlavní příměs do POLYSTYRENBETONu* [online, prístupné dňa 15.10.2014] dostupné na: http://www.enroll.cz/cs/izo_ball_hlavni-primes-do-polystyrenbetonu/r
7. www.sircontec.sk, SIRCONTEC s. r. o., *Receptúry a základné vlastnosti*. [online, prístupné dňa 15.10.2014] dostupné na: http://www.sircontec.sk/na-stiahnutie/2_MixDesign_SIRCONTEC_SK.pdf