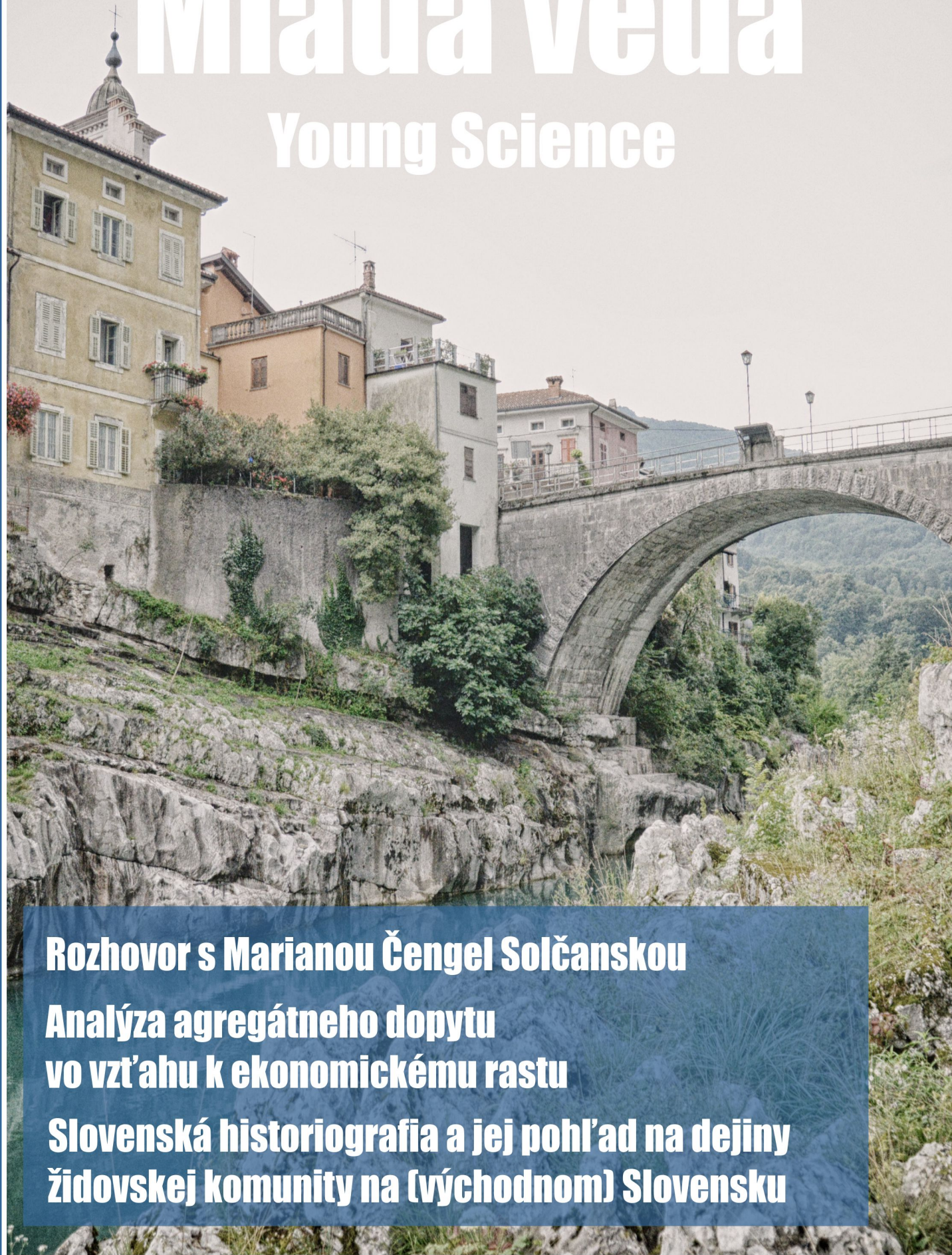


Mladá veda

Young Science



Rozhovor s Marianou Čengel Solčanskou

**Analýza agregátneho dopytu
vo vzťahu k ekonomickému rastu**

**Slovenská historiografia a jej pohľad na dejiny
židovskej komunity na (východnom) Slovensku**

Mladá veda

Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Jún 2016 (číslo 1)

Ročník štvrtý

ISSN 1339-3189

Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk

Fotografia na obálke: Obec Kanal (Slovinsko) 2014. © 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 sociálnej geografie a regionálneho rozvoja, Univerzita Karlova, Praha)

doc. PaedDr. Peter Čuka, PhD. (Katedra cestovného ruchu, Slezská univerzita v Opavě)

prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, 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

PhDr. Magdaléna Barányiová (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)

Mgr. Martin Hajduk (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

Mgr. Richard Nikischer, Ph.D. (Sociologický ústav Akademií věd ČR, Praha)

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, 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.

VYUŽITIE ODPADOVÉHO POLYSTYRÉNU A POLYPROPYLÉNU AKO PLNIVA DO ĽAHKÝCH BETÓNOV A VPLYV NA ICH VLASTNOSTI

USAGE OF POLYSTYRENE AND POLYPROPYLENE WASTE AS A FILLER FOR
LIGHTWEIGHT CONCRETE AND THE EFFECT ON THEIR PROPERTIES

Valéria Gregorová¹

Autor 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 STU 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 intended to verify the possibility of replacement commonly used foamed polystyrene by waste polypropylene. The effect of different percentage replacement of polystyrene on the strength and thermo-technical properties of lightweight concrete was verified. Further, it was verified the influence of the chosen surface additive agents. The achieved results confirmed the possibility of a replacement of polystyrene for recycled polypropylene in the production of lightweight concrete.

Key words: lightweight concrete, waste, recycling, polystyrene, polypropylene

Abstrakt

Príspevok uvádza výsledky experimentov, ktorých cieľom bolo overiť možnosť náhrady bežne používaného penového polystyrénu odpadovým polypropylénom. Sledoval sa vplyv rôznej percentuálnej náhrady polystyrénu na pevnostné a teplo-technické vlastnosti ľahkých betónov. Ďalej sa overoval vplyv vybranej povrchovo aktívnej prísady. Dosiahnuté výsledky potvrdili možnosť nahradenia polystyrénu recyklovaným polypropylénom vo výrobe ľahkých betónov.

Kľúčové slová: ľahký betón, odpad, polystyrén, polyetylén

¹Adresa pracoviska: Ing. Valéria Gregorová, Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava
E-mail: valeria.gregorova@stuba.sk

Úvod

Ľahké betóny (ĽB) majú v stavebnej praxi pomerne široké uplatnenie. Norma (STN EN 206, 2015) ich definuje ako betóny s objemovou hmotnosťou menšou ako $2\,000\text{ kg/m}^3$. V závislosti na spôsobe výroby, ich možno rozdeliť do nasledujúcich skupín: ĽB nepriamo vyľahčené použitím ľahkého kameniva, ĽB priamo vyľahčené dutinami alebo pórami priamo v štruktúre betónu pomocou penotvorných a plynотvorných prísad a tzv. medzerovité ĽB bez použitia jemných frakcií kameniva (Svoboda 2013). Oproti bežným betónom sa vyznačujú predovšetkým dobrými tepelno a zvukovo-izolačnými vlastnosťami; znižujú vlastné stále zaťaženie stavby (Chandra a Berntsson 2002). Veľmi často sa ako plnivo pre nepriamo ľahčené tepelnoizolačné betóny používa drvený alebo granulovaný polystyrén, expandované vulkanické sklá, napr. perlit, expandit, vermikulit a pod. (Václavík a Daxner 2010).

Plasty sa stali od začiatku 20. storočia najpoužívanejšími materiálmi na svete, ktoré sa uplatnili v každej oblasti dnešného moderného života. Za početnými výhodami plastov, ako sú napr. životnosť, nízka hmotnosť a nízke výrobné náklady, stojí vážna otázka – ako vhodne nakladať s plastmi po skončení ich životnosti? Mnohé svetové oblasti riešia problém s rastúcim množstvom tuhého komunálneho a priemyselného odpadu, čo má výrazný dopad na ekonomiku i životné prostredie.

Výroba stavebných materiálov má značný potenciál nahradiť tradičné suroviny druhotnými surovinami – odpadovými materiálmi. V stavebníctve sa druhotné suroviny používajú najmä pri výrobe kompozitov ako sú betóny a malty, a to ako plnivá (popolčeky a popoly z elektrární a teplární (Gomathi et. al. 2015, Güneyisi et. al. 2013, Yiu Lo 2016), popol a škvara zo spaľovania komunálneho odpadu, vysokopecná a oceliarska troska, odpadné formovacie piesky zo zlievarní, odpady zo spracovania dreva, odpady z výroby umelého kameňa a kameniva, odpady z ťažby a úpravy nerastných surovín a uhlia, odpady z recyklácie stavebných materiálov a stavebných konštrukcií (Farich et. al. 2008, Cachim 2009), odpadný papier, celulóza, plasty atď.) alebo ako spojivá a prímеси (mletá vysokopecná troska, popolčeky, energosadrovec z odsírovania spalín, chemosadrovec a odpadné sírany z chemických výrob, odprašky z cementární a vápeniek, mikrosilika atď. (Gregorova 2015, TZBportal 2011).

Svoje uplatnenie má aj tzv. agro - odpad, ako je napr. popol z cukrovej trstiny, pšeničnej slamy, ryže a pod. V poslednej dobe sa značná pozornosť venuje využitiu recyklovaných odpadových plastov (Pacheco-Torgal et. al. 2012, Bouvard et. al. 2007, Sayadi et. al. 2016, Chen a Liun 2007, Kan a Demirboga 2007): napr. recyklovaný polystyrén, polyuretánová pena, PET fľaše, odpad z elektrických a elektronických zariadení, PVC potrubia a pod.

Polystyrénbetón je homogénna zmes polystyrénových granúl s cementovým mliekom vhodná pre všetky vodorovné konštrukcie ako výplňový, tepelno-izolačný ľahký materiál s pevnosťou v tlaku od $0,3 - 1,8\text{ MPa}$. K jeho hlavným výhodám patria: nízka objemová hmotnosť ($200 - 900\text{ kg/m}^3$), výborné tepelno-izolačné vlastnosti (od cca $0,05$ do $0,23\text{ W/(m.K)}$); požiarne odolnosť (od 700 kg/m^3 nehorľavý); je ekologický a hygienický neškodný. 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 (zatepl'ovací materiál) a priemyselných obalov (elektronika, elektrotechnika a biela technika) (Ekostyren 2014). V súčasnosti sa hľadá alternatívne riešenie za polystyrénové plnivo, a to vo forme iných použiteľných odpadových plastov, so zreteľom na dosiahnutie rovnakých prípadne lepších vlastností, akými sa vyznačuje polystyrénbetón.

Použité materiály a metódy

V experimentálnom výskume boli ako plnivo použité recyklované odpadové plasty (penový polystyrén a polypropylén) podrvené a vytriedené na frakciu 4/8 mm; sytná hmotnosť polystyrénu $11,44 \text{ kg/m}^3$ a polypropylénu je $17,05 \text{ kg/m}^3$ (obr. 1 a, b). LB sa vyrábali s použitím len jedného plniva, prípadne ako kombinácia oboch materiálov v pomere 1:3, 1:1 a 3:1.



Obr. 1 – a) odpadový polystyrén, zrnitosť 4/8 mm; b) odpadový polypropylén, zrnitosť 4/8 mm; c) skúšobná vzorka ľahkého betónu (PZ: plnivo 100 % polypropylén)

Zdroj: autor

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 $14,5 - 19,0 \text{ MPa}$, po 28 dňoch $41,7 - 47,3 \text{ MPa}$, začiatok tuhnutia 180 - 250 min, objemová stálosť podľa LeChateliera 0 – 1,5 mm (Cemmac 2015). Dávka cementu vo všetkých zámesiach bola konštantná - 175 kg/m^3 .

Ako zámesová voda bola použitá pitná voda z verejnej vodovodnej siete. Jej množstvo je konštantné pri jednotlivých zámesiach ($V/C=0,5$).

Vybrané zámesi sa modifikovali prísadou znižujúcou povrchové napätie vody – SILWET L 77 v dávke 2 % z objemu vody.

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

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.

Zloženie	Dávka zložky						
	Označenie vzorky						
	P1	P2	P3	P4	P5	SZ	PZ
Cement (kg/m³)	175					175	
Recyklát (%)							
- polystyrén (PS)	100	75	50	25	-	100	-
- polypropylén (PP)	-	25	50	75	100	-	100
Voda (l)	0,7					0,7	
V/C	0,5					0,5	
Prísada (ml)	-					0,14	

Tabuľka 1 – Základné zloženie zámesí. Zdroj: autor

Dosiahnuté výsledky

Základné fyzikálne a tepelno-technické vlastnosti LB sa uvádzajú v tabuľke 2. Objemová hmotnosť vzoriek ľahkého betónu sa pohybovala od 260 do 330 kg/m³ a vzrastala so zvyšujúcim sa podielom recyklovaného polypropylénu. Najvyššia hodnota objemovej hmotnosti bola dosiahnutá na vzorkách s pomerom plniva 1:1, a to 330 kg/m³.

Použitím prísady sa znížilo povrchové napätie vody, čo malo za následok dôkladnejšie obalenie zŕn recyklátu cementovým tmelom a nárast objemovej hmotnosti z 260 na 270 kg/m³ pri 100 % dávke polystyrénu a z 320 na 350 kg/m³ pri 100 % dávke polypropylénu.

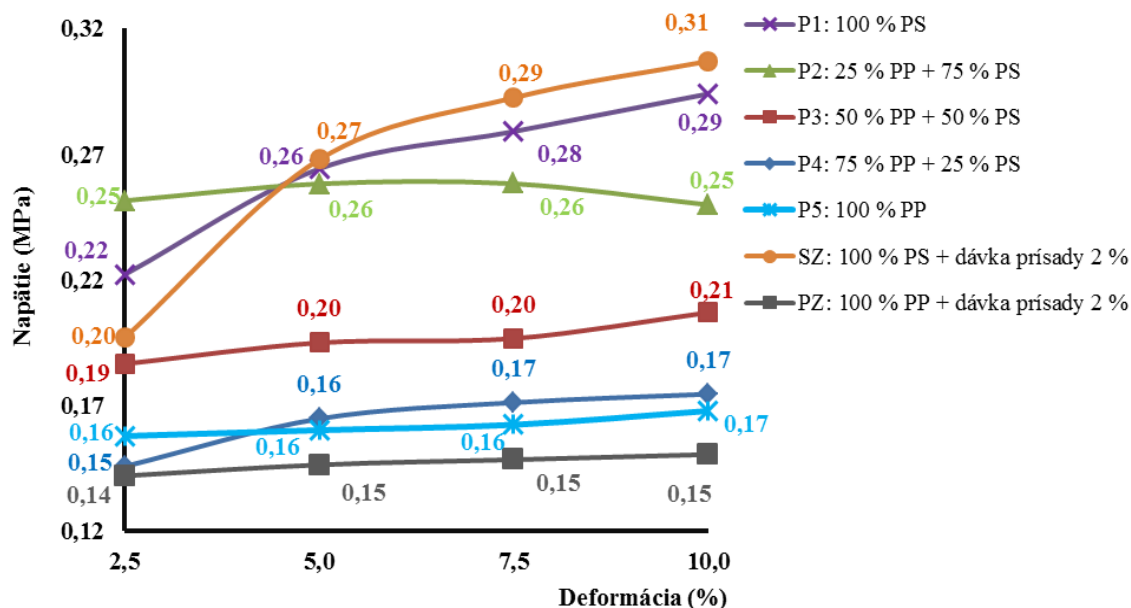
Vodný súčiniteľ (V/C)	Označenie vzorky	Dávka cementu (kg/m ³)	Dávka plniva (%)	Objemová hmotnosť (kg/m ³)		Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ (W/(m.K))		Napätie (MPa)			
				Vek vzorky (deň)		Vek vzorky (deň)		Vek vzorky 28 dní			
								Deformácia (%)			
				28	42	28	42	2,5	5	7,5	10
0,5	P1	175	100 PS	260	260	0,066	0,063	0,22	0,26	0,28	0,29
	P2		75 PS+25 PP (3:1)	310	310	0,069	0,067	0,25	0,26	0,26	0,25
	P3		50 PS+50 PP (1:1)	330	330	0,069	0,066	0,19	0,20	0,20	0,21
	P4		25 PS+75 PP (1:3)	330	320	0,069	0,067	0,15	0,16	0,17	0,17
	P5		100 PP	320	320	0,070	0,067	0,16	0,16	0,16	0,17
	SZ ²		100 PS	270	260	0,0641	0,0627	0,20	0,27	0,29	0,31
	PZ ²		100 PP	350	340	0,0767	0,0748	0,14	0,15	0,15	0,15

Tabuľka 2 – Základné fyzikálne a tepelno-technické vlastnosti ľahkých betónov. Zdroj: autor

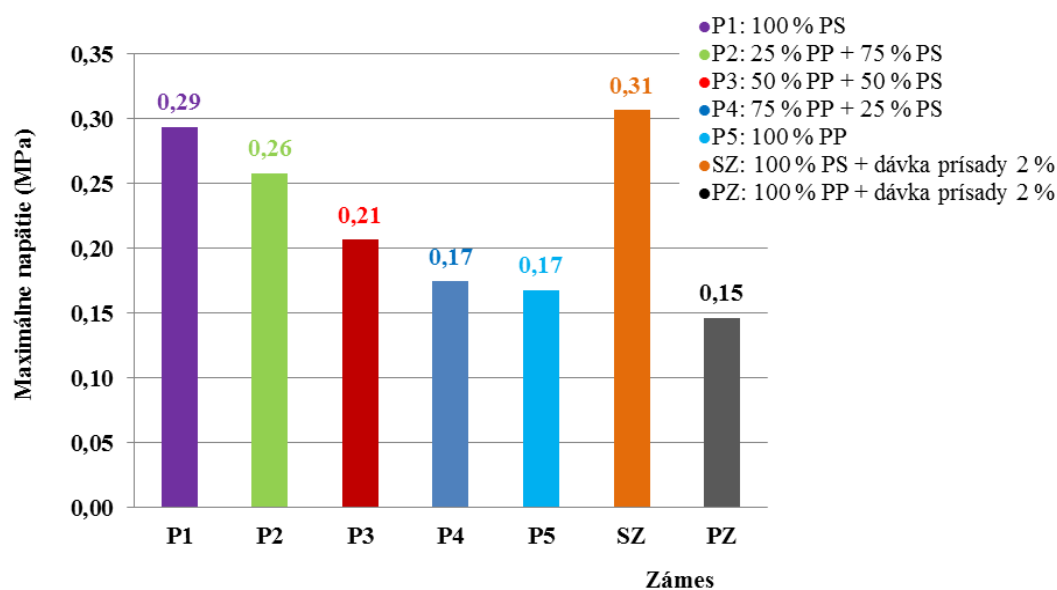
² Použitá prísada znižujúca povrchové napätie vody – SILWET L 77 v množstve 2 % z objemu vody.

Pevnostné charakteristiky skúšobných vzoriek záviseli od percentuálneho podielu recyklovaných zložiek. Vývoj napätia v závislosti od deformácie jednotlivých druhov LB bol takmer konštantný (graf 1). Rozdielne správanie možno vidieť pri vzorke P1 (plnivo: 100 % polystyrén), kde sa hodnota napätia postupne zvyšovala s rastúcou deformáciou.

Pevnosti resp. hodnoty napätia pri danej deformácii sa znižovali so vzrastajúcim podielom polypropylénového plniva. Pri najvyššej dávke polystyrénu (vzorka P1) dosahovali napätia maximálnu hodnotu 0,29 MPa a pri najvyššej dávke polypropylénu (vzorka P5) – 0,17 MPa.



Graf 1- Vývoj napätia v závislosti od deformácie a druhu plniva. Zdroj: autor

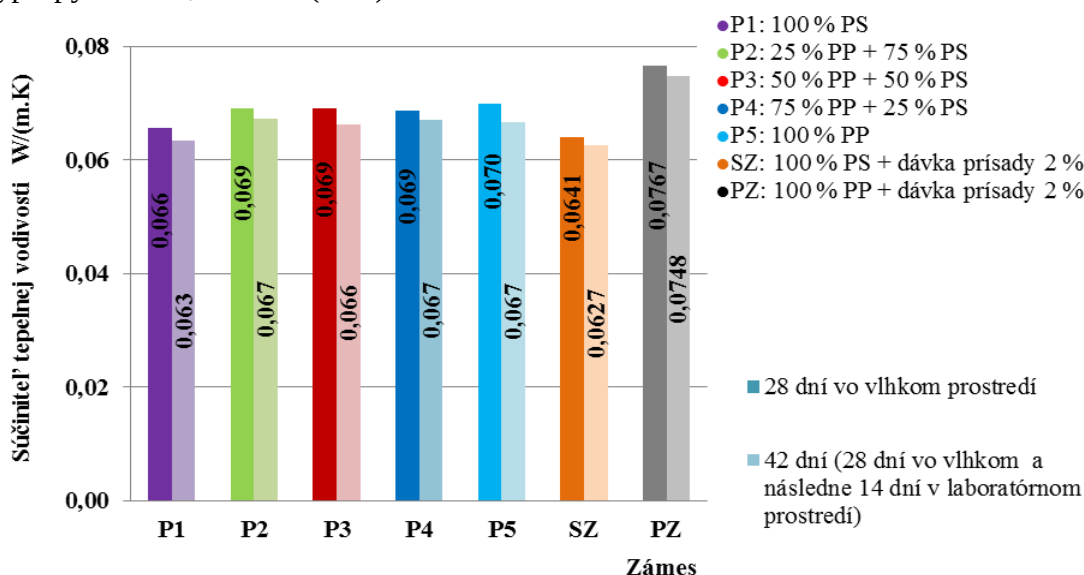


Graf 2- Maximálne napätie v závislosti od druhu plniva. Zdroj: autor

Aplikácia povrchovo aktívnej prísady viedla k rozdielnym výsledkom pri rôznych plnivách. Kým v prípade penového polystyrénu došlo k miernemu zlepšeniu pevnostných charakteristík, pri penovom polypropyléne sa pevnosti mierne zhoršili. Tieto efekty však boli veľmi malé. Závislosť medzi maximálnym napätím a druhom plniva dokumentuje graf 2.

S rastúcim podielom polypropylénového plniva narastal aj súčiniteľ tepelnej vodivosti skúšobných vzoriek. Hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti vzoriek L'B uložených vo vlhkom prostredí sa pohybovala v závislosti od podielu recyklovaného plastu od 0,066 do 0,070 W/(m.K) a vzoriek uložených v laboratórnom prostredí od 0,063 do 0,067 W/(m.K). Mierny pokles hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti suchých vzoriek bol spôsobený znížením ich vlhkosti.

Závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti od druhu plniva dokumentuje graf 3. Vzorky L'B modifikované prísadou dosahovali odlišné tepelno-technické parametre ako vzorky bez aplikovanej prísady. Skúšobná vzorka so 100 % obsahom polystyrénu dosiahla nižšiu hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti – 0,0641 W/(m.K), ako vzorka so 100 % obsahom polypropylénu – 0,0767 W/(m.K).



Graf 3- Súčiniteľ tepelnej vodivosti v závislosti od druhu plniva. Zdroj: autor

Zhodnotenie výsledkov a záver

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že L'B na báze recyklovaného polystyrénu a polypropylénu vykazovali relatívne dobré vlastnosti. Tieto vlastnosti boli ovplyvňované percentuálnym podielom jednotlivých recyklovaných zložiek.

Zvyšujúci sa podiel polypropylénu v zmesi spôsobil nárast objemovej hmotnosti i súčiniteľa tepelnej vodivosti a pokles pevnostných charakteristík vzoriek ľahkých betónov. Objemová hmotnosť skúšobných vzoriek sa pohybovala od 260 do 330 kg/m³. Súčiniteľ tepelnej vodivosti vzoriek vo vlhkom prostredí dosahoval hodnoty od 0,066 do 0,070 W/(m.K) a vzoriek uložených v laboratórnom prostredí od 0,063 do 0,067 W/(m.K). Hodnoty maximálnych napätí sa pohybovali od 0,17 do 0,29 MPa. Použitie prísady znižujúcej povrchové napätie vody nevedlo k zlepšeniu sledovaných vlastností.

Výsledky experimentu poukazujú na dobrú možnosť nahradenia polystyrénu recyklovaným polypropylénom pri výrobe ľahkých betónov, čím sa využije pomerne ľahko dostupná, prebytočná odpadová surovina.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.*

Tento článok vznikol vďaka podpore MŠVVaŠ SR v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt: Univerzitný vedecký park STU v Bratislave (UVP STU Bratislava), ITMS 26240220084, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Použitá literatúra

1. CHANDRA, S. a L. BERNTSSON, 2002. *Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications*. Noyes Publications, ISBN 0-8155-1486-7
2. SVOBODA, L. et al., 2013. *Stavební hmoty*. [online] [cit. 20. 5. 2016] Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodasl/SH3v1.pdf>. ISBN 978-80-260-4972-2
3. BOUVARD, D., CHAIX, J.M., DENDIEVEL, R., FAZEKAS, A., LÉTANG, J.M., PEIX, G. a D.QUENARD, 2007. Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete, In: *Cement and Concrete Research*. Vol. 37. No.12, pp. 1666–1673.
4. Cachim, P. B. 2009. Mechanical properties of brick aggregate concrete, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 2 pp. 1292–1297.
5. DAXNER, J. a V. VÁCLAVÍK, 2010. Nové plnivo do ľahkých betonů na bázi polyuretánu. In: *Stavební noviny*. [online] [cit. 10. 2. 2015.]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/394-nove-plnivo-do-lehkych-betonu-na-bazi-polyuretanu>.
6. FARICH, D. a K. SAID, 2008. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 22, pp. 886-893.
7. GOMATHI, P. a A. SIVAKUMAR, 2015. Accelerated curing effects on the mechanical performance of cold bonded and sintered fly ash aggregate concrete, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 77, pp. 276–287.
8. GÜNEYISI, E., M. GESOĞLU, PÜRSÜNLÜ, Ö. a K. MERMERDAS, 2013. Durability aspect of concretes composed of cold bonded and sintered fly ash lightweight aggregates, In: *Composites Part B: Engineering*. Vol. 53 pp. 258–266.
9. CHEN, B. a J. LIU, 2007. Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 21 No. 1, pp. 7–11.
10. KAN, A. a R. DEMIRBOGA, 2007. Effect of cement and EPS beads ratios on COMPRESSIVE strength and density of lightweight concrete, In: *Indian Journal of Engineering & Material Sciences*. Vol. 14, pp. 158–162.
11. PACHECO-TORGAL, F., DING, Y. a S. JALALI, 2012. Properties and durability of concrete containing POLYMERIC wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 30, pp. 714–724.
12. SAYADI, A. A., TAPIA, J. V., NEITZERT, T. R. a G. Ch. CLIFTON, 2016. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete, In: *Construction and building Materials*. Vol. 112, pp. 716-724.
13. TZB portal. Plastový odpad z elektronického šrotu ako plnivo do betónu. [online] [cit 10. 5. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/beton-betonarky/plastovy-odpad-z-elektronickeho-srotu-ako-plnivo-do-betonu.html>.

14. YIU LO, T., H. CUI, S. A. MEMON a T. NOGUCHI, Manufacturing of SINTERED, 2016. Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbon fly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete, In: *Journal of Cleaner Production*. Vol. 112, pp. 753–762.
15. GREGOROVA, V. 2015. Lightweight Concrete Based on Recycled Foam Polystyrene and POLYPROPYLENE, In: MMK 2015. *International Masaryk CONFERENCE for PH.D Students and Yong Researchers*. Vol. 6, pp. 2484–2489, ISBN 978-80-87952-12-2
16. STN EN 206: 2015, *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda*.
17. CEMMAC, a.s. Technický list [online] [cit 9. 5.2016]. Dostupné z: <http://www.cemmac.sk/cement-cem-iib-s-325-r>
18. EKOSTYREN, s.r.o. Recyklácia polystyrénového odpadu. [online] [cit 16. 5.2016]. Dostupné z : <http://http://www.ekostyren.sk/recyklacia-polystyrenu/>