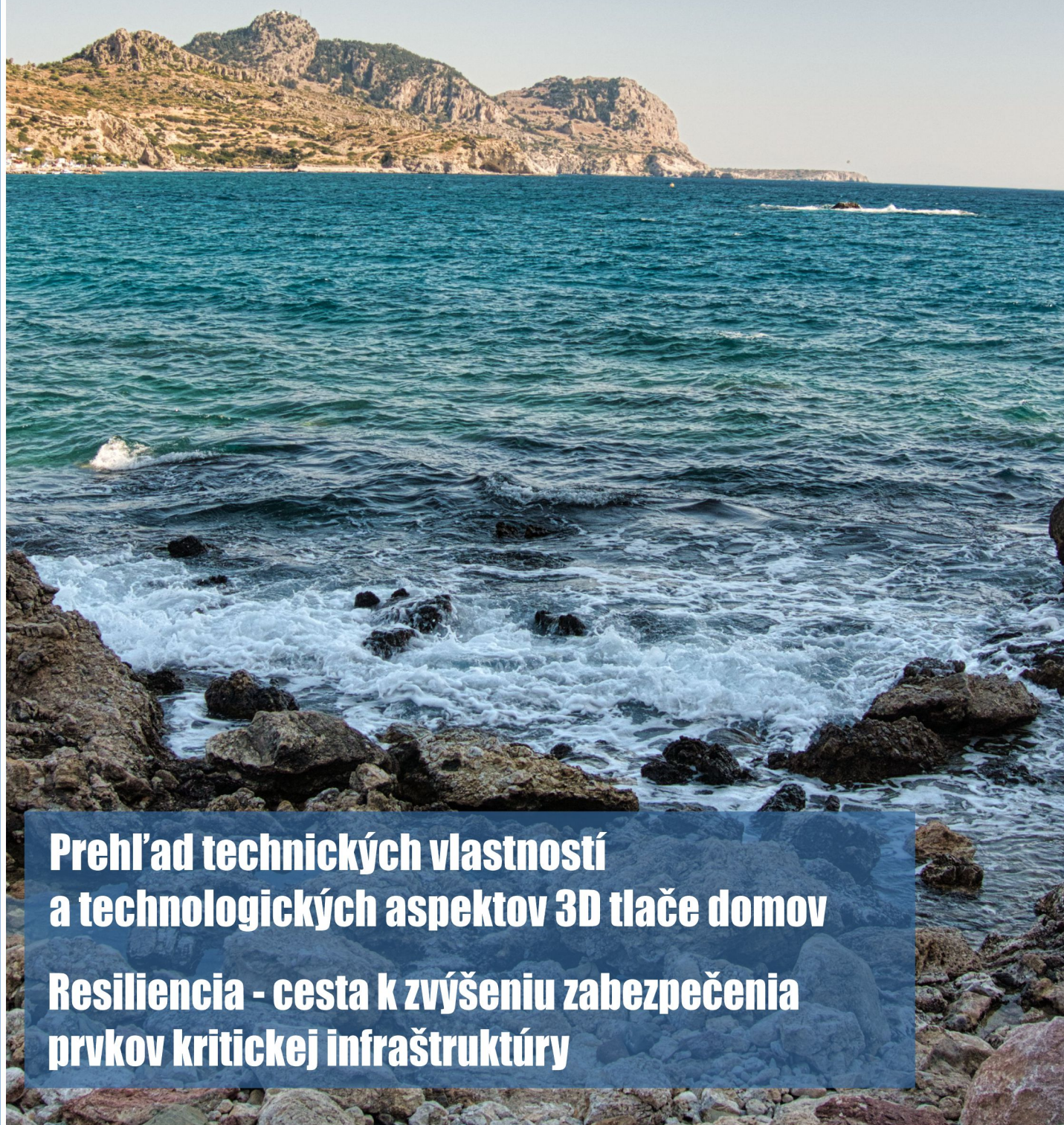


# Mladá veda

## Young Science



**Prehľad technických vlastností  
a technologických aspektov 3D tlače domov**

**Resiliencia - cesta k zvýšeniu zabezpečenia  
prvkov kritickej infraštruktúry**

# Mladá veda

## Young Science

### MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 2, ročník 7., vydané v decembri 2019

ISSN 1339-3189

Kontakt: [info@mladaveda.sk](mailto:info@mladaveda.sk), tel.: +421 908 546 716, [www.mladaveda.sk](http://www.mladaveda.sk)

Fotografia na obálke: Stredozemné more. © Branislav A. Švorc, [foto.branisko.at](http://foto.branisko.at)

#### REDAKČNÁ RADA

*doc. Ing. Peter Adamišín, PhD.* (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)

*doc. Dr. Pavel Chromý, PhD.* (Katedra sociálnej geografie a regionálneho rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)

*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 verejnej ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

#### REDAKCIA

*PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD.* (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)

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

*RNDr. Richard Nikischer, Ph.D.* (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)

*Mgr. Branislav A. Švorc, PhD.*, šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)

*PhDr. Veronika Trstianska, PhD.* (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSS UKF, Nitra)

*Mgr. Veronika Zuskáčová* (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

#### VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.

[www.universum-eu.sk](http://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.

# SKÚMANIE VYBRANÝCH FYZIKÁLNO-MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PRI POUŽITÍ PLNIVA NA BÁZE RECYKLOVANÝCH PLASTOV V ŠTIEPKO-CEMENTOVÝCH KOMPOZITOCH

EXAMINATION OF SELECTED PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS BY USING RECYCLED PLASTIC FILLER IN CHIP-CEMENT COMPOSITES

Terézia Cabanová<sup>1</sup>

Autor pôsobí ako interný doktorand na Katedre materiálového inžinierstva Stavebnej fakulty na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave. Vo svojom výskume sa venuje problematike ľahkých betónov na báze recyklovaných plastov, kde hlavným zámerom je zlepšenie ich tepelno-technických, hmotnostných a pevnostných charakteristík.

The author act as an internal doctoral student at the Department of Material Engineering at the Faculty of Civil Engineering at the Slovak University of Technology in Bratislava. In the area of research, it deals with lightweight concrete based on recycled plastics, where the main aim is to improve their thermo-technical, weight and strength characteristics.

## Abstract

The main goal of my thesis was to investigate the possibility of replacing aggregates in lightweight concrete with a lighter alternative, namely a recycled plastic filler in combination with wood chips. Recycled waste polystyrene, polyethylene, polyurethane foam and wood chips were used in the research at 1: 3, 1: 1 and 3: 1 ratios. The produced concrete composites were characterized in terms of bulk density, thermal-technical properties and strength characteristics. The purpose of using recycled plastic aggregates combined with wood chips was to reduce the bulk density of lightweight concrete, where the characteristics of samples at various filler ratio were observed.

Key words: lightweight concrete, recycled plastic, wood chips, bulk density, thermal-technical properties, strength characteristics

---

<sup>1</sup> Adresa pracoviska: Ing. Terézia Cabanová, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Bratislava  
E-mail: terezia.cabanova@gmail.com

## Abstrakt

Hlavným cieľom mojej práce bolo skúmanie možnosti nahradenia kameniva v ľahkom betóne ľahšou alternatívou, a to plnivom na báze recyklovaných plastov v kombinácií s drewnou štiepkou. Vo výskume bol použitý recyklovaný odpadový polystyrén, polyetylén, polyuretánová pena a drewná štiepka, a to v pomeroch 1:3, 1:1 a 3:1. Vyrobené betónové kompozity boli charakterizované z hľadiska objemovej hmotnosti, tepelno-technických vlastností a pevnostných charakteristík. Účelom použitia recyklovaných plastových agregátov kombinovaných s drewnou štiepkou bolo zníženie objemovej hmotnosti ľahkých betónov, kde sa sledovalo správanie vzoriek pri rôznych kombináciách pomerov plniva.

**Kľúčové slová:** ľahký betón, recyklovaný plast, drewná štiepka, objemová hmotnosť, tepelno-technické vlastnosti, pevnostné charakteristiky

## Úvod

Produkovanie plastového odpadu je v súčasnosti globálnym environmentálnym problémom, preto sú potrebné nové metódy recyklácie a riešenia pre ďalšie využitie recyklovaného plastu. V posledných desaťročiach mnohonásobne stúpila výroba plastov, čo veľmi negatívne vplýva na životné prostredie. Globálna štúdia plastov, ktorú zverejnila WWF International konštatuje, že v roku 2016 bolo vyrobených 396 mil. ton plastov, čo je v priemere 53 kg na každého človeka. Výroba plastov rastie o 4% ročne od roku 2000 hlavne preto, že je to cenovo dostupný materiál (WWF 2019). Všetky formy plastového materiálu sa stávajú odpadom a to vyžaduje veľké plochy na uskladnenie. Plast je okrem toho biologicky nerozložiteľný materiál, ktorý obsahuje a vylučuje rôzne druhy toxických látok. Jeho primárnou surovinou sú fosílné palivá (približne 10 % fosílnych palív), čo spôsobuje znečistenie spojené s ťažbou ropy. Recyklácia je ekologické riešenie likvidácie nadmerného množstva plastového odpadu na skládkach a využíva sa na výrobu nových výrobkov v rôznych priemyselných odvetviach, čím sa zníži tiež využívanie fosílnych palív (American Chemistry Council 2019, Wikipedia 2019). Jednou z potencionálnych možností aplikácie recyklovaných plastov je stavebný priemysel, kde sa využívajú aj ako náhrada kameniva do ľahkých betónov hlavne vďaka svojim výborným tepelno-technickým a hmotnostným charakteristikám. Táto myšlienka má viac pozitív, ako napríklad ochrana prírodných zdrojov, znižovanie produkcie skleníkových plynov, znižovanie nákladov na energiu, zníženie množstva odpadových plastov na skládkach a zlepšenie udržateľnosti prírodných zdrojov. Hlavnou výzvou je zlepšenie fyzikálno-mechanických vlastností, kde je stále veľkým problémom odolnosť a pevnosť v tlaku týchto materiálov. Tak isto sa sleduje požiarne odolnosť, trvanlivosť a časovo závislé vlastnosti. Zatiaľ je recyklovaný plastový odpad využívaný v stavebnom priemysle hlavne ako tepelnoizolačný materiál (Saika a De Brito 2012).

Cieľom výskumu bolo nájsť čo najľahšiu alternatívu ľahkých betónov s použitím plniva na báze recyklovaných plastov v kombinácií s drewnou štiepkou. V tomto experimente bol použitý recyklovaný odpadový polystyrén, polyetylén, polyuretánová pena a drewná štiepka v pomeroch 1:3, 1:1 a 3:1. Z uvedených materiálov boli vyrobené betónové vzorky, na ktorých sa po 28 dňoch merali ich objemové, tepelno-technické a pevnostné charakteristiky. Hlavným účelom kombinácie drewnej štiepky a recyklovaného plastového odpadu bolo zníženie objemovej hmotnosti ľahkých betónov pre jeho ďalšie využitie.

## Použité materiály

Na výrobu skúšobných vzoriek sa použil:

- portlandský zmesový cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R s vlastnosťami deklarovanými výrobcom: pevnosť v tlaku po 2 dňoch 15,1 MPa, po 28 dňoch 42,2 MPa, začiatok tuhnutia 197 min, objemová stálosť podľa LeChateliera 1,4 mm (CRH 2019).
- zámesová voda,
- recyklát polyetylénu, ktorý mal frakciu 4/8 mm a sypnú hmotnosť  $\rho_s=35,34 \text{ kg.m}^{-3}$ ,
- recyklát z odpadového polyuretánu, ktorý mal frakciu 4/8 mm a sypnú hmotnosť  $\rho_s=18,93 \text{ kg.m}^{-3}$ ,
- recyklát z expandovaného polystyrénu, ktorý mal frakciu 4/8 mm a sypnú hmotnosť  $\rho_s=31,71 \text{ kg.m}^{-3}$ ,
- drevná štiepka, ktorá mala frakciu 4/16 mm a sypnú hmotnosť  $\rho_s=151,17 \text{ kg.m}^{-3}$ .

## Výrobný postup

V experimente boli vyrobené vzorky ľahkého betónu s konštantným vodným súčiniteľom  $v/c=0,5$  a konštantnou dávkou cementu  $175 \text{ kg.m}^{-3}$ . Menila sa len dávka použitého plniva, pričom ako základné plnivo bola použitá drevná štiepka, ktorá sa kombinovala s plastovými recyklovanými plnivami (polyetylén, polyuretánová pena a expandovaný polystyrén) v percentuálnom pomere 1:3, 1:1 a 3:1. Experiment je doplnený o 100%-né hodnoty zámesí z predchádzajúceho výskumu s tou istou dávkou cementu a vodným súčiniteľom.

Zložka betónu	Pomer plniva					
	Dávka pri výrobe v kg, l			Dávka na $\text{kg.m}^{-3}$		
	3:1	1:1	1:3	3:1	1:1	1:3
Cement	0,75 kg			175		
Voda ( $v/c=0,5$ )	0,35 l			87,5		
Drevná štiepka + Polyetylén (PE)	3 1	2 1	1 1	96,85	64,57	32,29
	1 1	2 1	3 1	7,54	15,10	22,64
Drevná štiepka + Polystyrén (EPS)	3 1	2 1	1 1	96,85	64,57	32,29
	1 1	2 1	3 1	6,78	13,55	20,32
Drevná štiepka + PUR pena	3 1	2 1	1 1	96,85	64,57	32,29
	1 1	2 1	3 1	4,04	8,09	12,13

Tabuľka 1 – Zloženie jednotlivých zámesí

Zdroj: Autor

Skúšobné vzorky tvaru kocky s rozmermi 100x100x100 mm sa vyrábali v laboratóriu so všetkým potrebným vybavením. Jednotlivé zložky boli pripravené podľa receptúry (tab. 1)

v danom množstve a pomere. V prvom rade sa odmeralo predpísané množstvo plniva, na laboratórnych váhach sa odvážil cement a v sklenených laboratórnych nádobách sa pripravilo potrebné množstvo zámesovej vody. V nádobe sa ručne premiešali suché zložky plniva a spojiva, následne sa pridala zámesová voda a všetky zložky sa znovu dôkladne premiešali až kým sa zrná plniva úplne obalili cementovou kašou a vznikla rovnomerná zmes bez hrudiek. Hotová zmes sa v troch vrstvách naplnila do formy a každá vrstva sa jednotlivo zhutnila údermi ubíjadla. Tento postup sa zopakoval pri každej jednej zámesi. Naplnené formy sa uložili na 48 hodín do dostatočne vlhkého prostredia. Následne sa vzorky odformovali, označili príslušnými značkami a uschovali na miesto so zvýšenou relatívnou vlhkosťou vzduchu ( $\varphi \geq 95 \%$ ) na 28 dní.

## **Stanovenie sledovaných vlastností a výsledky experimentu**

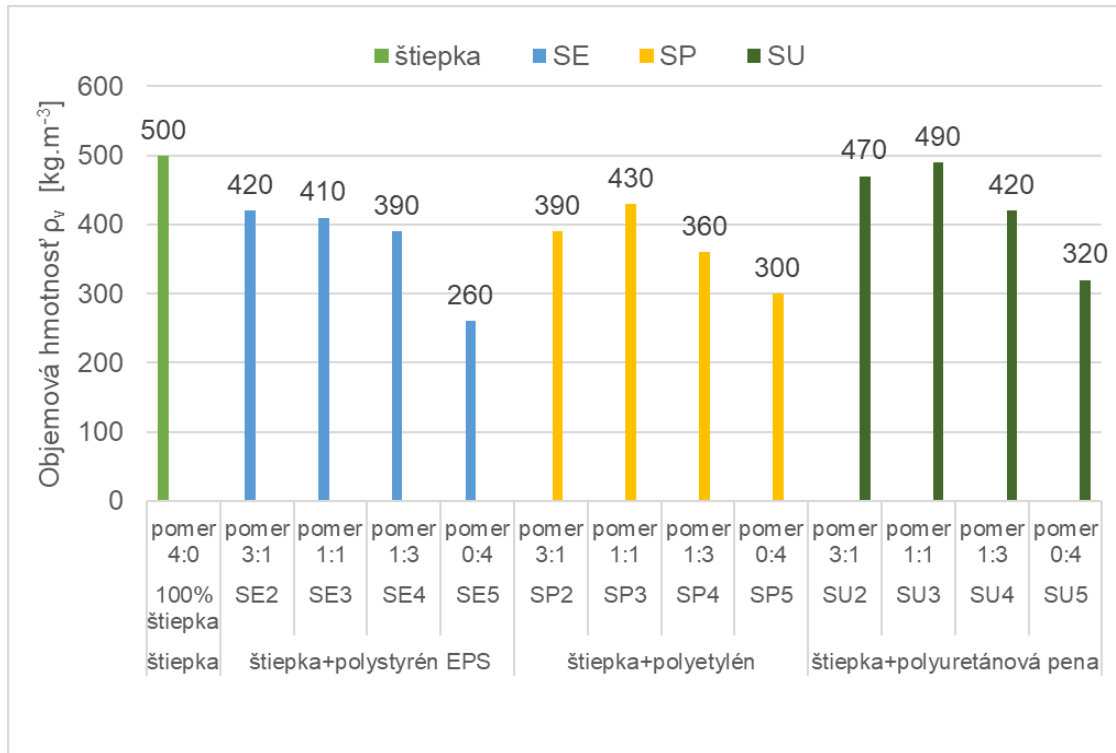
### **Objemová hmotnosť**

Stanovila sa na skúšobných vzorkách vo veku 28 dní. Na jej určenie bolo nutné vzorky zmerať digitálnym meradlom (vždy dve protilahlé strany daného rozmeru v strede kocky) a odvážiť pomocou digitálnej laboratórnej váhy. Hodnoty sa upravili, dosadili do vzorca (1) a vypočítala sa objemová hmotnosť. Výsledná objemová hmotnosť závisela od hmotnosti cementového tmelu a predovšetkým od hmotnosti plniva, kde sa menil pomer množstva drevnej štiepky a plastového recyklátu.

$$\rho = m/V \quad (1)$$

kde  $\rho$  je objemová hmotnosť telesa v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $m$  je hmotnosť telesa v kg a  $V$  je objem telesa v  $\text{m}^3$  (Sičáková 2010).

Pri každej z použitých kombinácií sa prejavila iná hodnota objemovej hmotnosti v závislosti od vlastností daného plniva. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že hodnoty objemových hmotností klesali s rastúcim podielom recyklovaného plastového plniva. V prípade kombinácie štiepky s expandovaným polystyrénom, objemová hmotnosť postupne klesala z hodnoty  $420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  na najnižšiu hodnotu  $260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pri kombinácií štiepky s polyetylénom a taktiež štiepky s polyuretánovou penou sme pozorovali zvýšenie objemových hmotností v pomere 1:1 oproti pomerom 3:1 a 1:3, kde boli zaznamenané nižšie objemové hmotnosti. Túto skutočnosť možno pripísať spôsobu spracovania, resp. ubíjaniu zmesi pri jej ukladaní do formy alebo i samotnej štruktúre použitého plniva (otvorená štruktúra v porovnaní s expandovaným polystyrénom). Najvyššiu hodnotu mali vzorky so 100%-ným obsahom plniva zo štiepky, kde to bolo  $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Obr. 1 – Výsledné objemové hmotnosti skúšobných vzoriek

Zdroj: Autor

### Tepelno-technické vlastnosti

Tepelno-fyzikálne parametre sa sledovali na skúšobných vzorkách vo veku 28 dní pomocou prístroja s názvom Isomet 2114 s plošnou sondou s meracím rozsahom 0,04– 0,30 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

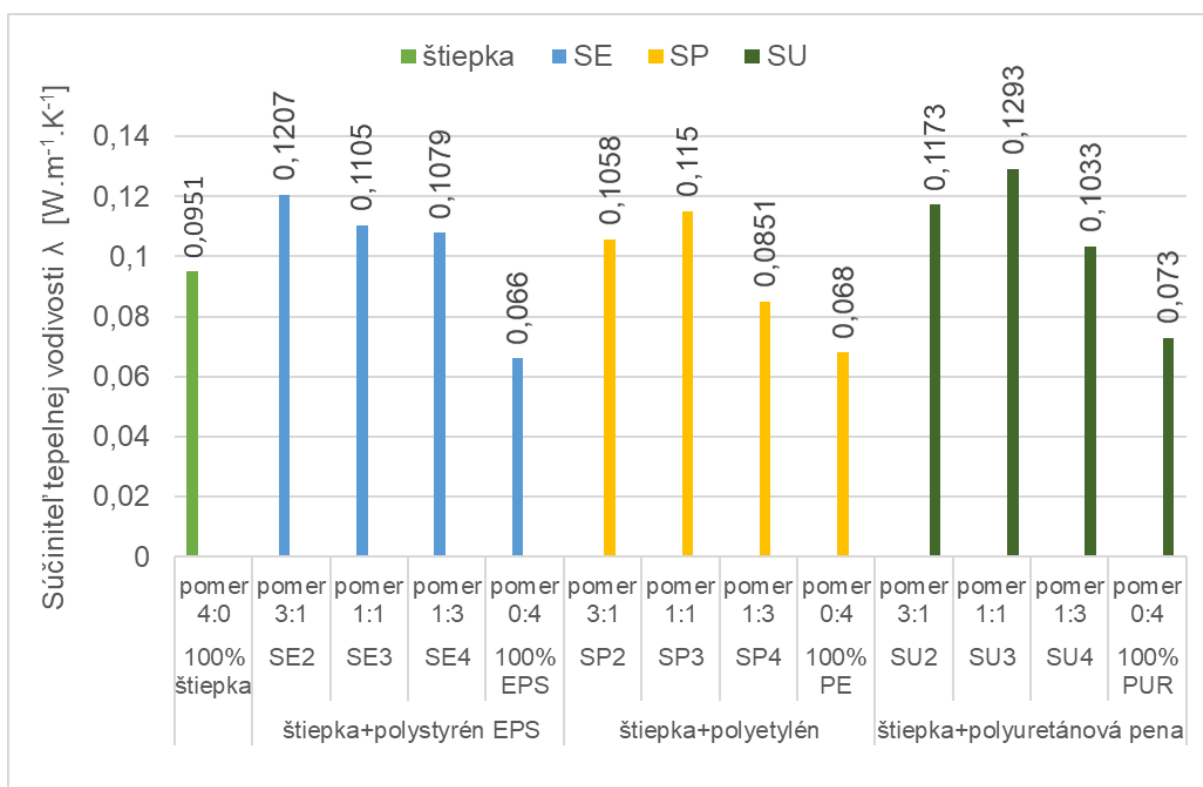
Sledovali sa tieto parametre :

- súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>],
- súčiniteľ teplotnej vodivosti  $a \cdot 10^6$  [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>],
- merná tepelná kapacita  $c \cdot \rho \cdot 10^{-6}$  [J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>],
- teplota T [°C] (Encyclopaedia Beliana 2016).

Meranie prebiehalo v laboratórnom prostredí s teplotou cca 20 °C a relatívnou vlhkosťou vzduchu  $\phi$  = cca 60 %. Na zistenie tepelno-technických vlastností bol použitý vyššie uvedený prístroj Isomet 2114, ktorého princíp spočíva v analýze časovej odozvy na teplotný impulz vysielaný do meraného materiálu pomocou plošnej sondy položenej na meranej vzorke. Sonda je regulovane vyhrievaná elektrickým prúdom a tým sa v rezistore sondy generuje teplo. Množstvo a časový priebeh tepelného toku v osi sondy závisí od tepelno-fyzikálnych vlastností skúšobnej vzorky (Applied Precision). Namerané hodnoty sa ukladajú do pamäte Isometu.



Obr. 2 – Meranie tepelno-technických vlastností skúšobnej vzorky prístrojom Isomet 2114  
Zdroj: Autor



Obr. 3 – Porovnanie výsledných hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti  
Zdroj: Autor

S rastúcim podielom plastového recyklátu sa hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti postupne znižovali. Pohybovali sa v rozmedzí od  $0,066 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  do  $0,1293 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , bez ohľadu na použité plnivo. Výsledné hodnoty súčiniteľov tepelnej vodivosti jednotlivých zmesí korešpondovali s výsledkami objemových hmotností. Istý rozdiel bol taktiež zaznamenaný pri zámесиach v pomere 1:1 pri použití štiepky s recyklovaným polyetylénom a polyuretánovou penou.



### Napätie pri stanovených deformáciách

Tlaková skúška napätia sa vykonala na vyrobených skúšobných vzorkách po 28 dňoch od výrobenia vzoriek, počas ktorých boli uložené v prostredí so zvýšenou relatívnou vlhkosťou vzduchu. Rozmerové hodnoty vzoriek boli vopred namerané a zaznamenané. Skúšobné vzorky sa postupne centricky ukladali medzi tlačené platne hydraulického lisu, kolmou stranou na smer zhutňovania betónu. Tlačení platní sa postupne vyvíjalo plynulé zaťaženie vzorky. Pri zadaných deformáciách 2,5; 5; 7,5 a 10 % sa zaznamenávala veľkosť pôsobiaceho zaťaženia sily  $F$ . Namerané hodnoty sa dosadili do vzorca (2) a vypočítali sa jednotlivé napätia vzoriek (Sičáková 2010).

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

kde  $\sigma$  je napätie v MPa,  $F$  je maximálna sila pri porušení vzorky v N a  $A$  je tlačená plocha prierezu vzorky v mm<sup>2</sup>.



Obr. 4 – Pohľad na skúšobnú vzorku uloženú v hydraulickom lise:  
a) bez vývinu zaťaženia (sily); b) po zaťažení (pôsobení sily)

Zdroj: Autor



Obr. 5 - Porovnanie napätí pri stanovených deformáciách  
Zdroj: Autor

Pevnosť v tlaku, resp. napätie pri deformácií sa postupne zvyšovala s rastúcim obsahom plastového plniva. Táto závislosť sa prejavila hlavne pri použití 100%-ného obsahu recyklovaného plastu ako plniva, kde vyšli najnižšie hodnoty pri polyuretánovej peně 0,18 MPa pri 10%-nej deformácií. Naopak najvyššie hodnoty napätí mali kompozity s plnivom na báze polyuretánovej peny v kombinácií s drewnou štiepkou v pomere 1:1, kde to bolo 0,67 MPa pri 5%-nej deformácií a pri 100%-nom obsahu drewnej štiepky, kde bola najvyššia hodnota napätia 0,76 MPa pri 2,5%-nej deformácií.

## Záver

Cieľom experimentálnej práce bolo zaistiť čo najmenšiu objemovú hmotnosť s ohľadom na mechanické a teplo-technické vlastnosti daných kompozitov. Z výsledkov experimentu vyplýva, že sledované vlastnosti ľahkých štiepko-cementových kompozitov boli ovplyvňované podielom recyklovaného plastu. S rastúcim podielom recyklátu sa zlepšovali objemové hmotnosti kompozitov. Najnižšie hodnoty objemovej hmotnosti sme zaznamenali práve pri vzorkách so 100%-ným obsahom plniva z recyklovaného plastu, kde najnižšia hodnota bola 260 kg.m<sup>-3</sup> pri 100% EPS a naopak, najvyššiu hodnotu mali vzorky so 100%-ným obsahom plniva zo štiepky, kde to bolo 500 kg.m<sup>-3</sup>. Túto skutočnosť možno pripísať spôsobu spracovania zmesi pri jej ukladaní do formy alebo i samotnej štruktúre použitého plniva. Súčiniteľ tepelnej vodivosti mal podobný priebeh výsledných hodnôt. Najnižšie

hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti dosiahli taktiež vzorky so 100%-ným obsahom plniva z recyklovaného plastu, konkrétne hodnotu  $0,066 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  pri 100% EPS. Na rozdiel od objemovej hmotnosti sa pri výsledkoch súčiniteľa tepelnej vodivosti prejavila najhoršie kombinácia drevnej štiepky a polyuretánovej peny v pomere 1:1 s hodnotou  $0,1293 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Napätie pri deformácií dosiahlo najnižšie hodnoty pri polyuretánovej pene, kde to bolo 0,18 MPa pri 10%-nej deformácií. Naopak, najvyššie hodnoty napätí boli pri kompozitoch s plnivom na báze polyuretánovej peny v kombinácií s drewnou štiepkou v pomere 1:1 - 0,67 MPa pri 5%-nej deformácií a pri 100%-nom obsahu drevnej štiepky- 0,76 MPa pri 2,5%-nej deformácií.

Stavebný priemysel stále napreduje, čo sa týka technológií, materiálov a dizajnu. Je jedno z najviac sa rozvíjajúcich odvetví. Má veľký predpoklad na uplatnenie recyklovaných plastov z ekonomického a ekologického hľadiska. Nedostatkom je degradácia v kvalite plastu pri recyklácií. Z toho dôvodu je potrebné stále zlepšovať fyzikálne-mechanické a tepelno-technické vlastnosti kompozitov pre jeho plnohodnotné využitie pri v stavebnom priemysle.

V závislosti od tejto vízie vznikla aj táto práca, zameraná na výskum vybraných vlastností ľahkých betónov na báze recyklovaných plastov kombinovaných s drewnou štiepkou. V praxi môžu byť tieto materiály využité napríklad ako protihlukové steny, rôzne konštrukčné prvky, tepelno-izolačné materiály a ďalšie iné.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:  
Ing. Valéria Gregorová, 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. American Chemistry Council, 2019. *Green building solutions* [online]. Dostupné z: <https://www.greenbuildingsolutions.org/life-cycle-assessment/recycling-plastics/>
2. Applied Precision, ISOMET-PC201802-EN. *Isomet 2114*. Dostupné z: [https://www.appliedp.com/> manual > isomet2114\\_ug\\_en](https://www.appliedp.com/>manual>isomet2114_ug_en) isomet 2114 - Applied Precision Ltd.
3. CRH (Slovenko) a.s., 2019. [cit 21.11.2019] Dostupné z: [www.crhcement.sk/storage/app/media/download/Multicem%20Roho/technick-list-multicem-rohoznik.pdf](http://www.crhcement.sk/storage/app/media/download/Multicem%20Roho/technick-list-multicem-rohoznik.pdf)
4. Kolektív redaktorov Encyklopedického ústavu SAV, 2016. *Encyclopaedia Beliana* [online] [cit. 21.11.2019] Dostupné z: <https://beliana.sav.sk/>
5. SAIKIA, N., a J. DE BRITO, 2012. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. In: *Construction and Building Materials*, Vol. 34, pp. 385-401. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812001432>
6. SIČÁKOVÁ, Alena, 2010. *Stavebné materiály – Vybrané kapitoly* [online]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/svfmaterialeveinzierstvo/stavebne-materialy/ucebne-texty/skky-zatvrduhbetnu/objemov-hmotnos>
7. Wikipedia, 2019. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic\\_recycling](https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic_recycling)
8. WWF – World Wide Fund For Nature, 2019. [cit. 21.11.2019] Dostupné z: [http://slovakia.panda.org/media/tlacove\\_spravy/?uNewsID=344114](http://slovakia.panda.org/media/tlacove_spravy/?uNewsID=344114)