

Mladá veda

Young Science

**Analýza technológií realizovania
povrchových úprav bazénov**

**Urban Exploration – URBEX
ako novum pre cestovný ruch**

Mladá veda

Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 1, ročník 7., vydané v júli 2019

ISSN 1339-3189

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

Fotografia na obálke: Kostol svätého Ladislava, Spišský Štvrtok. © 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 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 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.

SIMULÁCIA PRIEHLADNEJ MATRICE VLÁKNOBETÓNU - TVORBA

SIMULATION OF FIBER-CONCRETE MATERIAL - CREATING

Radovan Majer, Marek Ďubek¹

Radovan Majer pôsobí ako interný doktorand na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom výskume diagnostike konštrukcií a ekonomike výstavby. Marek Ďubek pôsobí ako odborný asistent na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom výskume diagnostike konštrukcií.

Radovan Majer works as an internal PhD. student at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak University of Technology in Bratislava. His dissertation thesis is about diagnostics of Construction and economics of Civil Engineering. Marek Ďubek works as an assistant professor at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak University of Technology in Bratislava. His research is about diagnostics of Construction.

Abstract

Steel fiber reinforced concrete has good homogeneous dispersion properties, is not a one-way orientation. Such research has ambitions for a new perspective on directed orientation. Tracking the transparent environment in which the fibers are located. The transparent environment is to simulate concrete mainly by density. When viewing the position in a transparent environment, the value and direction of the fiber, density, edge position, and homogeneity are reassessed. The aim of this article research is to focus on a suitable simulation environment sufficient to represent fiber concrete by its nature. This means aggregates, fillers and fibers. Make the matrix, so it will be possible to manipulate, mix and not solidify. This means that it has to be constantly delivered.

Key words: steel fibre reinforce, glass

Abstrakt

Vláknobetón sa vyznačuje dobrými vlastnosťami vďaka homogénnemu rozptýleniu vlákien, no aj ich jednosmerné orientovanie môže prispieť k novej oblasti jeho využitia. Takýto výskum má ambície poskytnúť nový pohľad na riadenú orientáciu. Sledovanie umožňuje priehľadné prostredie, v ktorom sa vlákna nachádzajú. Priehľadné prostredie má simulovať betón hlavne hustotou. Pri sledovaní polohy v priehľadnom prostredí sa overuje a hodnotí smer vlákien, hustota, poloha pri okrajoch a homogenita.

¹ Adresa pracoviska: Ing. Radovan Majer, Ing. Marek Ďubek, PhD., Katedra Technológie stavieb, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Bratislava
E-mail: radovan.majer@stuba.sk; marek.dubek@stuba.sk

Cieľom tohto výskumu a článku je zameranie sa na vhodné simulačné prostredie dostatočne reprezentujúce vláknobetón podľa jeho podstaty. To znamená kamenivo, plnivo a vlákna. Vyhотовiť matricu, s ktorou bude možné manipulovať, miešať ju a nebude tuhnúť. To znamená, že musí byť stále konzistentná.

Kľúčové slová: vláknobetón, sklo

Úvod

Rozmiestnenie, koncentrácia vlákien a ich pootočenie okolo troch osí určujú vlastnosti VB konštrukcie, s ktorými sa pri návrhu účelu budúcej konštrukcie uvažuje nielen pri statickom návrhu (Vlasák, 2009). Výroba VB je proces, do ktorého postupne vstupujú rôzne faktory miešania, prepravy, hutnenia, vibrovania, segregácie kameniva v debniacej forme. Konečné rozmiestnenie vlákien v betóne má zásadný vplyv na vlastnosti danej konštrukcie. No nielen ich poloha, rozmiestnenie ale aj množstvo je zásadný faktor, ktorý tieto vlastnosti ovplyvňuje. Predmetom výskumov už boli porovnania spôsobov primiešavania vlákien (Fülle; DRAMIX). Riadená orientácia vlákien prináša do tejto problematiky nové možnosti využitia vláknobetónových konštrukcií. Ich výroba však predstavuje potrebu inovatívnych prístupov k výrobe. V súčasnej dobe existuje na trhu široké spektrum vláknových kompozitov lišiacich sa typom matrice a výstuže. Jedným z najčastejších rozdelení je podľa orientácie vystužujúcich vlákien (Jančár 2003). Úloha matrice je nie len ochraňovať výstuž pred mechanickým a chemickým poškodením, ale aj udržiavať vlákna v požadovanom smere voči namáhaniu, a tým pádom umožňuje prenášanie napätia na výstuž. Vláknová výstuž zvyšuje tuhosť a pevnosť materiálu a u mnohých polymérov aj húževnatosť (DRAMIX).

Niektorí autori problematiky sa venovali orientačnému faktoru vlákien (Michaels 2012; Laranjeira 2012; Gettu2005). Orientačný faktor vyjadruje pomer vlákien orientovaných v smere prierezu vzorky, alebo v smere prúdenia vláknobetónovou vzorkou (Stähli 2005; Martinie 2011). Pokiaľ sa jedná o VB dosky, exponenciálne bol zistený klesajúci vzťah medzi orientačným faktorom a hrúbkou alebo výškou vzorky (Michaels 2012). Zostávajúce mechanické vlastnosti môžu byť úplne odlišné pri rozličných zónach a smeroch v podobnom zmysle, pri konštrukčne tenkých prvkoch (Zerbino 2012). Typ vlákien teda ovplyvňuje rozloženie a orientáciu vlákien. Taktiež sa dokázalo, že geometria konštrukčných prvkov môže byť hlavným faktorom, ktorý je potrebné zvážiť pri návrhu a riadení orientácie vlákien. Niektoré vzory orientácie vlákien boli už simulované, pričom sa zistilo, že povrch debnenia zohráva významnú úlohu (okrem iných faktorov) v konečnej orientácii vlákien ponorených do betónu.

Zhrnutím je možné konštatovať, že je možné orientovať finálny smer vlákien samotným prúdením vláknobetónu. Avšak to musí prebiehať v úzkych žľaboch, alebo smerovať tok betónu podľa toho, ako bude konštrukčný prvok namáhaný. Je preto potrebné zvážiť orientovanie v hotovej konštrukcii pomocou tyčí reprezentujúcich steny pre tečenie betónu.

Pokiaľ chceme sledovať správanie vlákien a v rôznych časových intervaloch ho vyhodnocovať, je potrebné vytvoriť priehľadnú simulačnú matricu, ktorá je dostatočne priehľadná, vlákna v nej nebudú po premiešaní klesať ku dnu a zachovávajú svoju polohu a orientáciu. Taktiež musí obsahovať prvky reprezentujúce kamenivo.

Vláknobetón

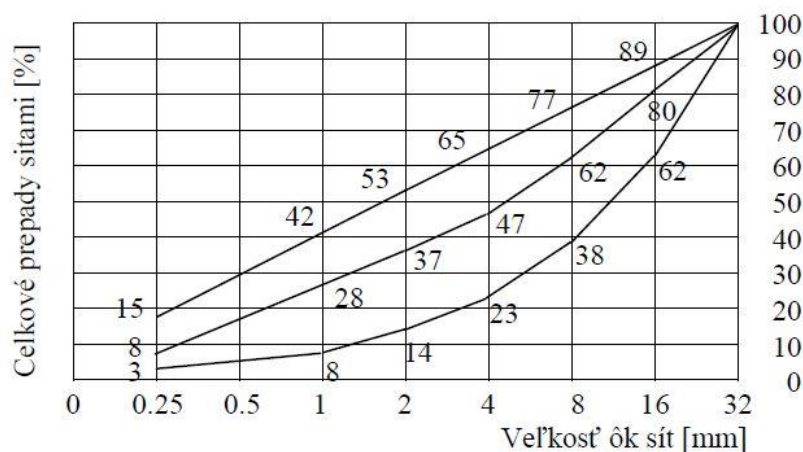
V prvom rade je potrebné si analyzovať zloženie a štruktúru betónu. Zloženie drátkobetonu možno stanoviť podobnými postupmi ako návrh zloženia простého betónu a to aj vrátane prísad a prímiesí. Charakteristické vlastnosti drátkobetonu predovšetkým ťahové pevnosti možno ovplyvniť druhom použitého materiálu alebo koncentráciou rozptýlené výstuže. Pri návrhu je nutné zohľadniť skutočnosť, že zloženie drátkobetonu sa líši od простého betónu pridanými vláknami a že druh, tvar, dĺžka oceľových vlákien a objemové koncentrácie môžu v niektorých prípadoch ovplyvniť dávky zložiek na jednotku objemu betónu, stanovenej normou pre výrobu betónu STN EN 206 A1+. Potom je potrebné pri návrhu zloženia drátkobetonu upraviť objemy zložiek (kamenivo, cement, prímiesi) aby sa vylúčil vplyv nakyprenie zmesi kameniva náhodne rozptýlenými vláknami. Oceľové vlákna ovplyvňujú rovnako ako zloženie aj celú technológiu výroby drátkobetonu. Čerstvý betón s rozptýlenou výstužou musí byť navrhnutý, aby sa z nej dal výrobnou technológiou vyrobiť drátkobeton, ktorý bude spĺňať požadovanú triedu. Dôležité je sledovanie zložiek čerstvého drátkobetonu, predovšetkým čo do spotreby materiálu (cement, drôtikov, prímiesí a prísad).

Hmotnostná koncentrácia čerstvého drátkobetonu sa udáva najmä v kg.m^{-3} . Ďalej sa odporúča, aby vodný súčiniteľ neprevýšil hodnotu 0,5. Hmotnostnej koncentrácie cementu nesmie nadobúdať nižších hodnôt ako 240 kg.m^{-3} z dôvodu zaistenia trvanlivosti drátkobetonu. Hmotnostnej koncentrácie oceľových vlákien sa navrhuje v rozmedzí od 20 kg.m^{-3} do 100 kg.m^{-3} (Krátký 2004).

Kamenivo

Ako hlavný nositeľ pevnosti betónu sa používa kamenivo. To musí mať minimálnu pevnosť v tlaku násobne vyššiu ako navrhovaná pevnosť v tlaku betónu. Kamenivo je plnivo do betónu z anorganických látok so zrnami do 63 mm. Tvorí nosnú kostru betónu (objemovo tvorí cca 60-80 %). Na to aby sa mohlo použiť v betóne, musí spĺňať určité požiadavky. Tie všeobecné sú definované v národnej prílohe (NA) STN EN 12620. Kamenivo použité do betónu môže byť prírodné, umelé alebo recyklované.

Podľa návrhu typu a zloženia betónu sa nadefinuje aj krivka zrnitosti kameniva. Krivka zrnitosti vyjadruje hmotnostný podiel kameniva pod sitami. Štandardné sitá majú veľkosť v mm: 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 63. Krivka A - je minimálny, B - optimálny, C - maximálny obsah. V ideálnom kamenive sú medzery medzi väčšími zrnami zaplnené zrnami menšími, potom ešte menšími atď. Ak krivka skutočného kameniva vybočuje z rozsahu medzi krivkami A a C, nemá vhodné zloženie do betónu. Hmotnostné zastúpenie pri miešaní frakcií možno vypočítať ako rozdiel hodnôt medzi sitami.



Graf 1 – Odporúčané pásma zrnitosti (DIN) pre max veľkosť zrna 32 mm
zdroj: DIN 1045

Simulačný materiál kameniva

Priehľadnou náhradou za betón môže byť hustý tekutý materiál (olej s vysokou viskozitou), pasta, živica, prípadne želatina. Avšak podmienkou je aby materiál nestuhol a vlákna v ňom udržali po zmiešaní polohu a orientáciu. Nakoľko vlákna sú z hutného ťažkého materiálu (7800 kg/m^3), nie je jednoduché vo svete priehľadných materiálov vybrať hustejší. Dávkovanie vlákien sa odporúča v závislosti od viacerých faktorov od 20 kg/m^3 . Dávkovanie oceľových vlákien sa odporúča súčasne s dávkovaním štrkopiesku z jedného dávkovacieho koša. Rýchlosť dávkovania oceľových vlákien do domiešavača by nemala prekročiť 50 až 60 kg/min . pri maximálnej rýchlosti miešania. Po pridaní predpísaného množstva vlákien pokračuje miešanie pri maximálnych otáčkach bubna 5 až 10 min. Niektoré oceľové vlákna môžu mať pri vyššej hmotnostnej koncentrácii sklon k vytváraniu zhlukov, tzv. ježkov. Tento efekt sa dá odstrániť použitím rozdrúžovacieho zariadenia, pomocou plochých vibračných sít alebo kombináciou obidvoch metód. Do betónovej zmesi možno primiešať viac druhov vlákien, napr. z materiálov rôzneho druhu, tvaru, pevnosti, prierezu alebo dĺžky. Na začiatku výroby zmesi je však nutné preukázať rovnomerné rozptýlenie použitých vlákien vizuálne alebo rozpustením vzorky s minimálnou hmotnosťou 15 kg s následným stanovením obsahu vlákien, ktorý musí byť v tolerancii $\pm 10 \%$. Na výskum boli použité oceľové vlákna KRAMPEHAREX DE60/1,00N, poskytnuté firmou KrampeHarex CZ s.r.o.



Obr. 1 – použité oceľové vlákna
Zdroj: autori

Simulačný materiál kameniva

Dejiny skla nezačínajú až v Mezopotámii, kde tamojší majstri v 3. tisícročí vynášli techniku výrobu skla. Sklo sa vyskytuje aj v prírode. Vytvorí sa, keď sa pri veľkom žiare roztaví kremičitý piesok a roztavená hmota sa ochladí. „Stuhnutá kvapalina“, to je sklo. Údery blesku sprevádzajú také vysoké teploty, rovnako ako sopečné erupcie alebo dopady meteoritov. Týmto spôsobom vznikajú sklenené horniny ako fulgurit, obsidián a tektit. Už v neolite (mladšej dobe kamennej), teda cca 7 000 pr. n. l., používali ľudia sklo ako nástroj. Rozpoznali vynikajúce vlastnosti sklenených hornín z prírody. Ostré rezné hrany obsidiánu sa napríklad hodili na klíny a škrabky. V druhej polovici 20. storočia stúpa objem výroby skla predovšetkým vďaka zavedeniu elektronicky riadených strojov. Nové metódy pre výrobu odľahčeného skla prispievajú k ochrane životného prostredia a šetria naše zdroje energie.

Sklo je neoddeliteľnou súčasťou nášho životného prostredia. Používa sa v oblastiach výskumu, komunikačných technológií, architektúry a solárnych zariadení. Sklo je ideálnym obalovým materiálom pre nápoje, potraviny a kozmetiku.

Sklo je homogénna amorfná, izotropná, priehľadná, pevná a krehká látka v metastabilnom stave, vznikajúca ochladzovaním taveniny. Obsahuje najčastejšie kremičitý piesok, sódu, oxidy alkalických kovov, vápenec. Je to biologicky neaktívny materiál. Medzi optické vlastnosti skla patria: lom svetla, disperzia, reflexia, transmisia, absorpcia, a vplyv farby. Medzi mechanické vlastnosti skla patria: hmotnosť, hustota, elasticita, pevnosť v ťahu a v tlaku, krehkosť a tvrdosť. Hustota skla kolíše od 2,5 do 4 g/cm³.

Sklo je pevná amorfná homogénna, obvykle priehľadná látka. Má malú tepelnú vodivosť, je relatívne odolné proti vode, plynom a ďalším látkam. Fyzikálne a chemické vlastnosti skla závisia od jeho chemického zloženia. Odoláva pôsobeniu kyselín. Použitie skla v stavebníctve: tabuľové sklo (okná), lisované dlaždice, stenové prvky, sklenené vlákna (tepelné izolácie) a mnohé ďalšie. Technické sklá sa vyrábajú formovaním (odlievaním, lisovaním) taveniny - skloviny na výrobok, ktorý sa nechá postupne vychladnúť tak, aby sa odstránilo pnutie. Obalové sklo (fľaše), tabuľové (okná) a úžitkové sklo patrí zložením medzi uvedené sodno-vápenaté sklá. Priemyselne vyrábané sklá pre rôzne použitie majú rôzne chemické zloženie. Okrem SiO₂, Na₂O, CaO môžu sklá obsahovať aj iné oxidy napr. K₂O, Al₂O₃, B₂O₃, PbO a ďalšie v rôznom množstve, ktoré ovplyvňujú výsledné vlastnosti skla (sú viaczložkové). (STN EN 1096) Priepustnosť, odrazivosť a pohltivosť žiarenia sa udáva bezrozmerným číslom, pričom platí: $T + R + A = 1$ (-)

Podľa vzájomného pomeru týchto veličín sklá môžeme rozdeliť na:

- a) transparentné sklá - číre
- b) absorpčné sklá - pohltivé
- c) reflexné sklá - odrazivé
- d) selektívne sklá (pokovované)

Simulácia – zisťovanie priehľadnosti

V problematike získania priehľadnej matrice betónu sa v tomto výskume použije práve sklo, pre jeho vlastnosti vyššie popísané. Sklo teda bude preberať fobjemovú funkciu kameniva a vytvorí matricu. Sklo v experimente bude mať tvar guľičiek. Číre guľičky by mali spĺňať náhradu za kamenivo vo všetkých frakciách, avšak aj Číre guľičky lámu svetlo a môžu

spôsobit' neprehľadnosť v závislosti od ich veľkosti. na pokus boli zvolené guľičky s priermi: 0,1-1,3; 3; 6; 10; 12; 16; 22 mm – pozri obrázok 3.



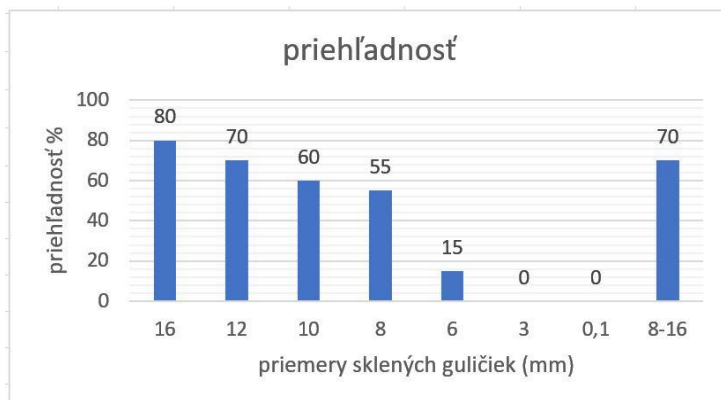
Obr. 2 – použité technické sklené guľičky:
Zdroj: autori

Výsledky meraní – vyhodnocovania priehľadnosti pre účely overovania riadenej orientácie vlákien sú v tabuľke a na obrázku nižšie. Pri sklených guľičkách s väčším priemerom boli identifikované vlákna v množstve 80%. S klesajúcimi priermi dosahovala priehľadnosť a identifikáciu vlákien rovnú 0% pri rozmeroch už 3mm a menej. Kombinácie priemerov od 8-16 dosahovali pomerne dobrú priehľadnosť a budú teda vhodné na sledovanie správania vlákien pri riadenej orientácii – simulácii. Na simuláciu bola použitá sklená nádoba, pod ktorú bolo umiestnené svetidlo a nad formou bol na statíve osadený fotoaparát na snímkovanie. Bol nastavený na rovnakú vzdialenosť, aby boli zabezpečené identické podmienky snímkovania a vyhodnocovania.



Obr. 3 – vlákna zamiešané medzi guľičky
Zdroj: autori

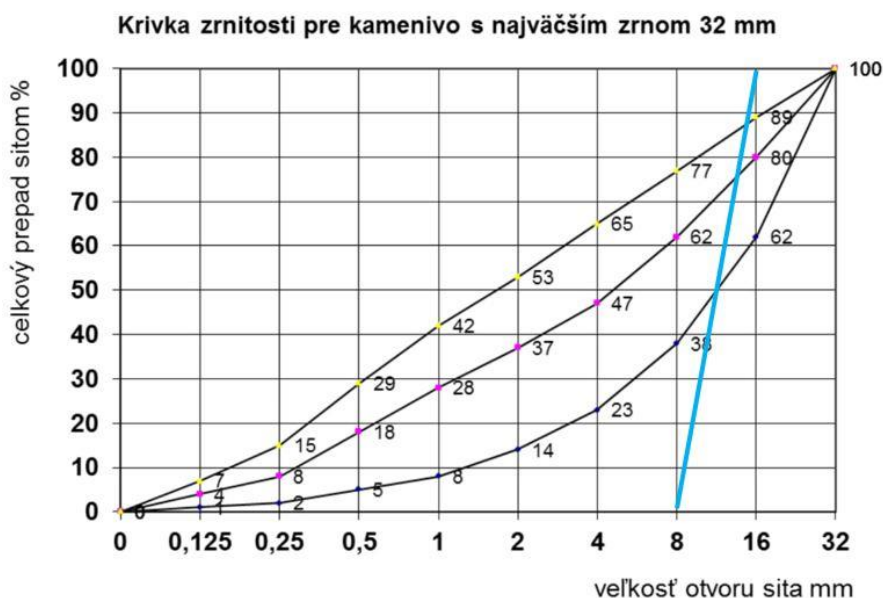
Výsledky merania a vyhodnocovania priehľadnosti nasimulovanej matrice sú v tabuľke nižšie. Po skúškach je možné konštatovať a zhodnotiť závery, že najvhodnejšou kombináciou bude zmes priemerov 8-16 mm, aby ešte bola dosiahnutá dobrá priehľadnosť matrice.



Graf 2 – výsledné priehľadnosti guľčiek

Zdroj: autori

Najreprezentatívnejší materiál na tvorbu priehľadnej matrice je číre sklo vo forme guľčiek s určitými priermi. Na základe tohto skúmania bola zostavená čiara zrnitosti pre simulačnú matrice priehľadného „betónu“ – pozri obr. 4 nižšie. Zabezpečenie samotnej priehľadnosti nie je jednoduchá záležitosť, nakoľko je potrebné správne nastaviť svetlo a fotografické snímání.



Graf 3 – zakreslená výsledná čiara zrnitosti sklenených guľčiek – modrá čiara

Zdroj: autori

Záver

Účelom výskumnej časti bolo získanie a zostavenie vhodnej priehľadnej matrice simulujúcej vláknobetón. Vláka boli použité oceľové, identické, ktoré budú používané vo výskume riadenej orientácie vlákien. Matrica použiteľná v ďalšom výskume bola zostavená z technických priehľadných guľčiek z číreho skla. Ich priehľadnosť na zachytenie vlákien bola zvýšená o presvetľovanie umelým svetlom a zachytávaná digitálnym fotoaparátom pre ďalšie vyhodnocovanie v PC. Na základe analýzy obrazu – vyhodnocovanie počtu zachytených vlákien bola navrhnutá čiara zrnitosti sklenených guľčiek, ktoré dosahovali

prieľadnosť v priemere 70%. Daná čiara zrnitosti bude použitá pri zostavovaní prieľadnej matrice simulujúcej vláknobetón pri snahe riadiť výslednú orientáciu vlákien v betóne.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. Eva Jankovichová, PhD.*

*Článok vznikol za podpory grantu v rámci Programu na podporu
mladých výskumníkov na STU v Bratislave, Stavebná fakulta.*

Použitá literatúra

1. DRAMIX Dostupné z: <https://www.bekaert.com/en/products/construction/concrete-reinforcement/dramix-steel-fiber-concrete-reinforcement>.
2. DIN 1045 Beton und Stahlbeton. (schv. 7/88).
3. Fülle, E.: Zásady ukladania betónovej zmesi s rozptýlenou výstužou, Dostupné z: <http://www2.hiostavbet.sk/?p=288>.
4. Gettu R, Gardner DR, Saldivar H, Barragán BE. 2005, Study of the distribution and orientation of fibers in SFRC specimens. Mater Struct. ;38(1):31–7.
5. Jančár J. 2003, Úvod do materiálového inžinýrství polymerních kompozitů. Brno: Brno: VUT, ISBN 80-214-2443-5.
6. Krátký, J, TRTÍK K. a VODIČKA, J. 2004. Drátkobetonové konstrukce: úvodní část a příklady použití: směrnice pro navrhování, provádění, kontrolu výroby a zkoušení, ISBN: 80-86364-00-3.
7. Laranjeira F, Aguado A, Molins C, Grünewald S, Walraven J, Cavalero S. 2012, Framework to predict the orientation of fibers in FRC: a novel philosophy. Cement Concr Res;42(6):752–68.
8. Martinie L, Roussel N. 2011, Simple tools for fiber orientation prediction in industrial practice. Cement Concr Res;41(10):993–1000.
9. Michaels J, 2012, J, Waldmann D, Maas S, Zürbes A. Steel fibers as only reinforcement for flat slab construction—Experimental investigation and design. Construct Build Mater .
10. (NA) STN EN 12620 Kamenivo do betónu (Konsolidovaný text).
11. Stähli P, Custer R, Mier JGM. 2008, On flow properties, fibre distribution, fibre orientation and flexural behaviour of FRC. Mater Struct;41(1):189–96 .
12. STN EN 206 A1+ Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda.
13. STN EN 1096-1 Sklo v stavebníctve. Sklo s povlakom.
14. Vlasák, O. 2009. Kontrola množství drátků v betonové směsi na stavbách průmyslových podlah z drátkobetonu, <http://www.imaterialy.cz/Materialy/Kontrola-mnozstvi-dratku-vbetonove-smesi-na-stavbach-prumyslovych-podlah-zdratkobetonu.html>.
15. Zerbino R, Tobes JM, Bossio ME, Giaccio G. 2012, On the orientation of fibres in structural members fabricated with self compacting fibre reinforced concrete. Cement Concr Compos;34(2):191–200.