

Mladá veda

Young Science



Rozhovor s docentom Michalom Kozubíkom
Zadĺženosť územných samospráv na Slovensku
Kultúrny turizmus najvýznamnejších múzeí
vo svetových metropolách

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 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

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.

POROVNANIE VPLYVU VYBRANÝCH PRÍMESÍ A PRÍSADY NA ZMRAŠŤOVANIE A ĎALŠIE VLASTNOSTI CEMENTOVÝCH MÁLT

COMPARISON OF THE EFFECT OF SELECTED ADDITIVES AND ADMIXTURE ON SHRINKAGE AND OTHER PROPERTIES OF CEMENT MORTARS

Katarína Matulová¹

Autorka pôsobí ako doktorandka na Katedre materiálového inžinierstva, na Stavebnej fakulte Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave. Jej výskum je založený na skúmaní cementových kompozitov a ovplyvňovaní objemových zmien týchto materiálov.

Author works as a PhD student at the Department of Material Engineering at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak University of Technology in Bratislava. Her research is based on examination of cement composites and influencing of volume changes of these materials.

Abstract

Cement composites are one of the most durable materials, however, cracking adversely affects its durability and functionality. One of the greatest weaknesses of these materials is shrinkage and the formation of shrinkage cracks. Concretes with high doses of water are particularly sensitive on shrinkage. This paper presents the results obtained in studying the effect of various doses of shrinkage reducing admixture (SRA), expansion producing calcium sulfoaluminate (CS'A) based additives and expansive cement Denka CSA on properties of self-compacting cement mortars. This study was based on measurement of the shrinkage, compressive strength, basic rheological properties (consistency) and bulk density. The results showed that shrinkage reduction due to the SRA products and Denka CSA was rising with increasing dose of admixture. However there was not proven positive effect of used CS'A type materials on shrinkage reduction of cement mortars. Also, there was not achieved significant impact SRA or Denka CSA on development of compressive strength of samples. However, the CS'A type materials caused changes in the compression strength of the samples, compared with the reference mortar.

Key words: Cement mortars, shrinkage, expansion, admixtures, compressive strength

¹ Adresa pracoviska: Katedra materiálového inžinierstva, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
E-mail: katarina.matulova@stuba.sk

Abstrakt

Cementové kompozity sú jednými z najviac odolných materiálov, avšak trhliny môžu nepriaznivo ovplyvňovať životnosť a funkčnosť betónových konštrukcií. Jedným z najväčších nedostatkov týchto materiálov je zmrašťovanie a vznik zmrašťovacích trhlín. Betóny s vysokými dávkami vody, sú obzvlášť citlivé na zmrašťovanie vysúšaním. Tento článok prezentuje výsledky získané pri štúdiu vplyvu rôznych dávok zmrašťovanie redukujúcej prísady (SRA), expanzných prísad na báze kalciumsulfoaluminátov (CS'A) a expanzného cementu Denka CSA na vlastnosti samozhutiteľných cementových mált. Experiment bol založený na meraní zmrašťovania, pevnosti v tlaku, základných reologických vlastností (konzistencia) a objemovej hmotnosti. Výsledky ukázali, že pri použití SRA prísady a expanzného cementu Denka CSA sa zmrašťovanie mált redukovalo so zvyšujúcou sa dávkou prísady resp. expanzného cementu. Avšak pri daných dávkach prímiesi na báze CS'A neboli preukázané pozitívne účinky na zníženie zmrašťovania cementových mált. Prísada SRA a Denka CSA taktiež výraznejšie neovplyvňovali vývoj pevností v tlaku vzoriek. Avšak, prímiesi na báze CS'A vyvolali zmeny v pevnostiach v tlaku vzoriek, v porovnaní s referenčnou maltou.

Kľúčové slová: cementové malty, zmrašťovanie, expanzia, prísady, pevnosť v tlaku

Úvod

Zmrašťovanie cementových kompozitov je jav, pri ktorom dochádza k zmenšovaniu objemu materiálu v priebehu tuhnutia a tvrdnutia. Dôsledkom tohto procesu môžu vzniknúť zmrašťovacie trhliny, ktoré znižujú trvanlivosť, resp. skracujú životnosť betónových konštrukcií. Intenzita zmrašťovania závisí od mnohých faktorov súvisiacich so zložením betónu, spôsobom ošetrovania a prostredím, v ktorom sa konštrukcia nachádza. K najdôležitejším vnútorným faktorom patrí vodný súčiniteľ, resp. množstvo zámesovej vody, zrnitosť a veľkosť maximálneho zrna plniva, druh a jemnosť mletia cementu a minerálnych prímiesi, celkový obsah jemných častíc v betóne, druh a množstvo prísad. K vonkajším faktorom patrí relatívna vlhkosť vzduchu, teplota a rýchlosť prúdenia vzduchu.

Od začiatku hydratácie cementu dochádza k tzv. chemickému zmrašťovaniu, ktoré vyplýva zo skutočnosti, že absolútny objem vzniknutých hydratačných produktov je menší, ako absolútny objem cementu a vody, ktoré vstúpili do reakcie [1]. Kým je betón v plastickom stave objemové zmeny nespôsobujú vznik trhlín. Avšak chemické zmrašťovanie pokračuje aj po zatuhnutí cementovej kaše, kedy sa už cementový kompozit nemôže voľne deformovať (už nie je plastický) a to vedie k vzniku pórov v štruktúre cementového kameňa. V ďalšom priebehu tuhnutia betónu sa na hydratáciu spotrebováva aj voda nachádzajúca sa v pórovom systéme cementového kameňa. Póry sa vyprázdňujú a dochádza k tzv. vnútornému vysychaniu a k s ním spojenému fyzikálnemu zmrašťovaniu. Toto zmrašťovanie sa tiež označuje ako autogénne zmrašťovanie.

Pri intenzívnom odparovaní vody z povrchu čerstvého betónu alebo odsávaním vody z čerstvého betónu podloží dochádza k tzv. plastickému zmrašťovaniu. Keďže vplyv plastického zmrašťovania nie je v celom objeme konštrukcie rovnomerný, dochádza v priereze k rozdielnym objemovým zmenám. Tie môžu v dôsledku vyvolaných ťahových

napätí viesť k vzniku trhlín [2]. Obzvlášť citlivé na tento typ zmrašťovania sú konštrukcie s malou hrúbkou, resp. tenké, veľkoplošné konštrukcie, ako napríklad cementové potery.

Pri odparovaní vody zo zatvrdnutého cementového kompozitu dochádza k vyprázdňovaniu pórového systému pokiaľ nenastane rovnováha medzi obsahom vlhkosti v kompozite a v okolitom prostredí. Pri vysušaní vznikajú v pórovom systéme kapilárne sily a vplyvom povrchovým napätím vody dochádza k zmenšovaniu objemu pórov a tým celého objemu materiálu. Dochádza k tzv. zmrašťovaniu od vysychania, ktoré je významne ovplyvňované intenzitou odparovania vody, ktorá závisí od teploty prostredia, relatívnej vlhkosti vzduchu a rýchlosti jeho prúdenia [3].

Aj keď zmrašťovanie je dôsledkom komplexu fyzikálnych a chemických procesov v betóne, za limitujúci faktor môžeme považovať rýchlosť odparovania vody z betónu a množstvo odparenej vody. Čím intenzívnejšie je odparovanie vody z betónu, tým výraznejšie je aj jeho zmrašťovanie. Zmrašťovanie betónu možno redukovať vhodným zložením betónu (nízky vodný súčiniteľ, používanie účinných plastifikátorov, optimálna zrnitosť kameniva, málo prachových častíc a pod.) a tiež správnym ošetrovaním betónu v priebehu tuhnutia a tvrdnutia (prevencia odparovania vody, resp. dopĺňanie odparenej vody kropením). Pri aplikácii betónov s vyššími vodnými súčinitelmi (napr. samonivelačné cementové potery) v podmienkach s intenzívnym odparovaním vody sú bežné metódy redukovania zmrašťovania a vzniku trhlín často málo účinné.

Výskum možností ovplyvňovania zmrašťovania cementových kompozitov priniesol skupinu expanzných prímiesí, pri aplikácii ktorých dochádza k redukovaniu, resp. kompenzácii zmrašťovania týchto materiálov. Sú to prímеси na báze kalciumsulfátaluminátu (CS'A). Expanzné prímеси na báze CS'A sú vždy tvorené zmesou materiálov, ktoré obsahujú určitú formu hlinitanov, vápna a síranov. Ich zloženie sa väčšinou odlišuje práve v zložke, ktorá obsahuje aluminátovú (hlinitanovú) fázu. Najčastejšie využívané expanzné produkty (Denka CSA) obsahujú expanznú zložku C_4A_3S [4]. Anhydrid kalciumsulfátaluminátu sa vyrába kalcináciou zmesi vápna, sadrovca a bauxitu. Ďalšie používané expanzné materiály na báze CS'A zahŕňajú zmes vysokohlinitanového cementu, $CS'H_2$ (sadrovec) a $Ca(OH)_2$ resp. CaO (vápenný hydrát, resp. pálené vápno) alebo zmes portlandského cementu, hlinitanového cementu, $CS'H_2$ a $Ca(OH)_2$ resp. CaO .

Ďalšou možnosťou redukovania zmrašťovania cementových kompozitov je používanie prísad redukujúcich zmrašťovanie (SRA – shrinkage reducing admixtures). Tieto prísady sú povrchovo aktívne látky, ktoré sú schopné znižovať povrchové napätie vody, resp. pórovej kvapaliny. Pri odparovaní sa vody z pórov kompozitu tak vznikajú menšie napätia od kapilárnych síl a dochádza k menšej redukcii objemu – zmrašťovaniu [5].

Cieľom publikovaného výskumu bolo overiť vplyv vybranej prísady SRA, expanzného cementu Denka CSA a dvoch typov expanzných prímiesí na báze CS'A na zmrašťovanie, pevnosť v tlaku, objemovú hmotnosť a základné reologické vlastnosti (konzistencia) samonivelačných cementových mált (poterov).

Použité materiály

Experimenty sa realizovali na cementových maltách, ktorých zloženie vychádzalo z komerčne vyrábaných samonivelačných cementových poterov.

Na prípravu mált sa použil cement STN EN 197-1 CEM II/A-S 42,5 R s nasledovnými vlastnosťami: pevnosť v tlaku po 2 dňoch 21,6 MPa, po 28 dňoch 49,7 MPa, pevnosť v ťahu pri ohybe po 2 dňoch 4,4 MPa, po 28 dňoch 7,9 MPa, začiatok tuhnutia 200 min, koniec tuhnutia 250 min, normálna hustota 31,2 %, objemová stálosť (LeChatelier) 7,2 mm, obsah trosky 10 %.

Ďalej sa použil popolček z elektrárne Nováky. Jeho index aktivity je min 75 % po 28 dňoch a min 85 % po 90 dňoch.

Ako plnivo sa použilo prírodné ťažené kamenivo z lokality Pusté Úľany frakcie 0/4 mm, ktoré bolo laboratórne roztriedené na frakcie 0/1, 1/2 a 2/4 mm.

Na zlepšenie tekutosti mált sa použil superplastifikátor Berascreed 101 (jeho hustota je 1070 kg/m³, obsah sušiny 24,0 % a hodnota pH 6,7) a BR stabilizátor 101 (jeho hustota je 1026 kg/m³, obsah sušiny 3,6 % a hodnota pH 9,5).

Na redukovanie zmrašťovania cementových poterov sa použili:

1. Prísada redukujúca zmrašťovanie – SRA (s hustotou 1010 kg/m³, hodnota pH 10 až 11). Účinnými látkami prísady je kombinácia týchto alkoholov: 2-etylpropan-1,3-diol, propylidynetrimetanol, 5-etyl-1,3-dioxan-5-metanol.
2. Expanzný cement Denka CSA. Obsah základných zložiek cementu: CaO 20 %, C₄A₃S' (rozpínavá zložka) 30 %, C₄AF 2 %, C₃S 5 %, CS' 40 %.
3. Prvý typ použitej expanznej prímеси tvorila zmes hlinitanového cementu ISTRA 40 (normálne tuhnúci, ale rýchlo tvrdnúci cement s vysokou začiatočnou pevnosťou), energosadrovca (CaSO₄·2H₂O) z elektrárne Nováky (s obsahom vlhkosti 10 %, čistotou 95 % a pH 6 až 9) a vápenného hydrátu (Ca(OH)₂).
4. Pri druhom type expanznej prímеси sa hlinitanový cement nahradil metakaolínom (Metaver I), ďalšie dve zložky boli totožné.

Základné zloženie cementovej malty (referenčnej) bolo nasledovné:

cement :	300 g
popolček :	190 g
kamenivo: frakcia 0/1mm	640 g
frakcia 1/2mm	256 g
frakcia 2/4mm	384 g
prísady: superplastifikátor	7,4 ml
stabilizátor	7,7 ml
voda:	270 ml

Základná zmes bola ďalej modifikovaná prísadou redukujúcou zmrašťovanie SRA v množstve 1, 2, 3 a 4 % z hmotnosti cementu, pričom o danú dávku prísady sa v zámesi zredukoval objem zámesovej vody, tak aby bol zachovaný vodný súčiniteľ V/C = 0,55. Expanzným cementom Denka CSA sa postupne nahrádzal cement referenčnej malty v množstve 5, 10 a 15 % z hmotnosti cementu. Pri prvom type expanznej prímеси bol

dávkovaný hlinitanový cement postupne v množstve 5 %, 10 % a 15 % z hmotnosti cementu (CEM II), pričom zložky boli vždy v pomere: hlinitanový cement : energosadrovec : vápenný hydrát = 3 : 2 : 1. O celkové množstvo týchto troch zložiek expanznej prímеси sa následne zredukovalo množstvo cementu v základnej zámesi. Druhý typ expanznej prímеси bol dávkovaný obdobne, s tým rozdielom, že hlinitanový cement bol nahradený metakaolínom.

Cementové malty sa miešali v normovej laboratórnej miešačke. Po skončení miešania sa stanovili vlastnosti čerstvých mált: konzistencia (ako priemer rozliatia na Haegermannovom rozlevovom stolíku) a objemová hmotnosť (na základe zmeny hmotnosti prázdneho a maltou naplneného valčeka známeho objemu) a vyrobili sa 3 skúšobné vzorky z každej zmesi na stanovenie zmrašťovania (trámce 40 x 40 x 160 mm so sklenenými kontaktmi v čelách) a 3 vzorky z každej zmesi na stanovenie pevnosti v tlaku (valčeky s výškou a priemerom 30 mm). Vzorky na stanovenie zmrašťovania sa ošetrovali 1 deň vo vlhkom prostredí, následne sa odformovali, urobilo sa začiatkové meranie dĺžky a ďalej sa vzorky uložili v laboratórnom prostredí s teplotou 20 ± 2 °C a relatívnou vlhkosťou vzduchu 50 ± 5 %. Zmrašťovanie mált od vysychania sa stanovilo ako úbytok dĺžky vzhľadom na začiatkovú dĺžku stanovenú po 1 dni tvrdnutia vo vlhkom prostredí. Merania sa realizovali po 2, 3, 4, 7, 14, 28, 56 a 90 dňoch uloženia v laboratórnom prostredí. Meranie dĺžky sa robilo ako odchýlka od kovového etalónu Graf-Kaufmannovým prístrojom. Vzorky na stavenie pevnosti v tlaku sa ošetrovali rovnako 24 hodín vo vlhkom prostredí, následne sa odformovali a do doby skúšania sa uložili do prostredia s vysokou relatívnou vlhkosťou vzduchu (do uzavretej nádoby nad hladinu vody). Pevnosť v tlaku sa určovala vo veku vzoriek 2, 28 a 90 dní.

Dosiahnuté výsledky

Základné vlastnosti čerstvých mált sa uvádzajú v tab. 1. Aplikácia prísady redukujúcej zmrašťovanie SRA nevedla k podstatným zmenám vlastností čerstvých cementových mált. Prísada prakticky neovplyvňovala konzistenciu čerstvých mált a ani objemovú hmotnosť. Začiatkové rozliatia cementových mált s prísadou SRA boli, bezprostredne po ich zamiešaní, len veľmi mierne väčšie ako pri referenčnej malte bez prísady SRA.

Aplikácia expanzného cementu DENKA ako aj prímеси v zložení hlinitanový cement, energosadrovec a vápenný hydrát (ďalej prímеси HEV) viedla k nárastu rozliatia cementových mált bezprostredne po ich zamiešaní. Rovnako objemové hmotnosti mált s týmito prímесami dosahovali vyššie hodnoty, čo môže súvisieť práve s lepšou spracovateľnosťou týchto mált. Objemové hmotnosti čerstvých mált nepriamo tiež potvrdzujú, že SRA prísada, Denka CSA resp. prímеси HEV nezvyšujú obsah vzduchu v čerstvom kompozite.

Oproti tomu objemové hmotnosti mált s prímесou metakaolínu, energosadrovca a vápenného hydrátu (ďalej prímеси MEV) dosahovali podstatne nižšie objemové hmotnosti v porovnaní s referenčnou maltou, pričom po domiešaní mált s touto prímесou bol viditeľný zvýšený obsah vzduchu v malte (malta bola spenená v celom objeme). Konzistencie, resp. rozliatia mált s prímесou MEV boli porovnateľné s referenčnou maltou.

Výsledky zmrašťovania sú graficky spracované na obr. 1, 2, 3 a 4. S časom uloženia skúšobných vzoriek v prostredí s relatívnou vlhkosťou vzduchu 50 % (nižšia ako relatívna vlhkosť vzoriek) dochádzalo postupne k ich vysychaniu, čo viedlo k znižovaniu objemu

Prísada / Prímes	Dávka prísady/prímesi z hm. cementu	Vodný súčiniteľ (V/C)	Konzistencia (rozliatie) (mm)	Objemová hmotnosť (kg/m ³)
REF	0	0,55	243	2080
SRA	1	0,55	243	2080
	2		245	2080
	3		244	2070
	4		252	2070
Denka CSA	5	0,55	276	2110
	10		274	2110
	15		272	2100
Hlinitanový cement + energoadrovec + vápenný hydrát (HEV)	5 + 3,33 + 1,66 = 10	0,55	281,5	2090
	10 + 6,66 + 3,33 = 20		290	2100
	15 + 10 + 5 = 30		291	2100
Metakaolín + energoadrovec + vápenný hydrát (MEV)	5 + 3,33 + 1,66 = 10	0,55	244	1850
	10 + 6,66 + 3,33 = 20		239	1810
	15 + 10 + 5 = 30		246	1830

Tab. 1 - Konzistencie a objemové hmotnosti referenčnej malty a mált s prísadou SRA a prímiesami Denka CSA, HEV a MEV.

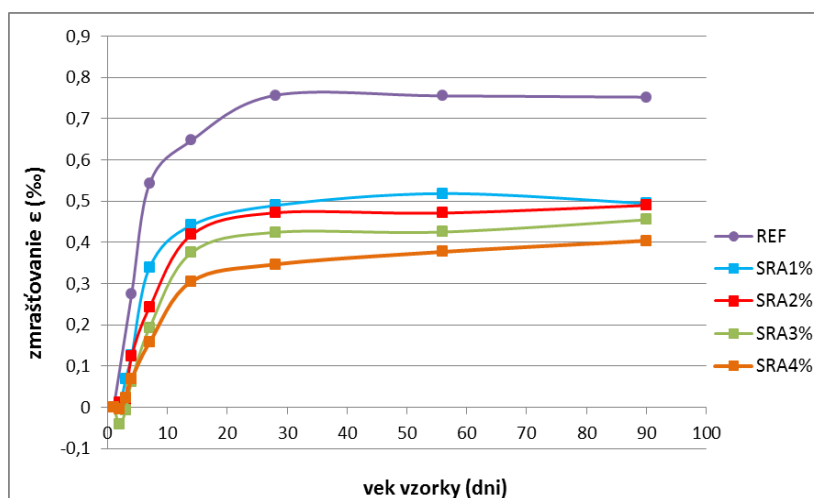
Zdroj: Autor

vzoriek - k zmrašťovaniu. Najväčšie zmrašťovanie sa zistilo v prvých dňoch vysychania. S časom ošetrovania sa postupne zmenšovalo a po 28 dňoch sa menilo len mierne. Hodnota celkového zmrašťovania referenčnej malty bola po 90 dňoch vysychania takmer 0,8 ‰, čo možno považovať za relatívne nízku hodnotu pre jemnozrnný cementový poter tekutej konzistencie. Treba však poznamenať, že referenčná malta predstavovala optimalizovaný samonivelačný cementový poter.

Pri aplikácii prísady SRA (obr. 1) sa zmrašťovanie mált zmenšovalo s narastaním dávky prísady. Pri dávke 4 % sa dosiahlo zmrašťovanie mált po 90 dňoch cca 0,4 ‰, teda približne polovičné v porovnaní s referenčnou maltou (zmenšenie zmrašťovania o 46 %).

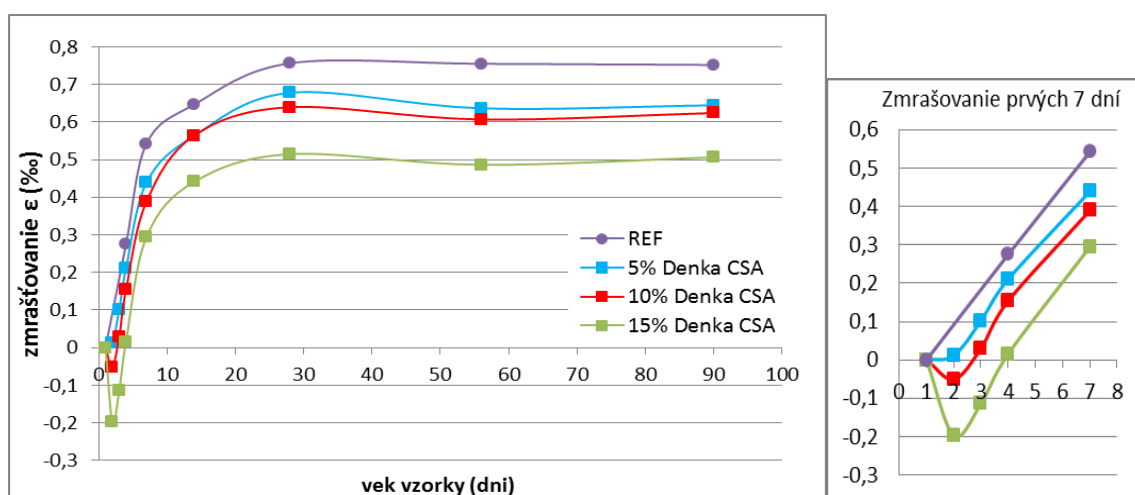
Aplikácia expanzného cementu DENKA (obr. 2) výrazne ovplyvnila objemové zmeny mált, hlavne v začiatkových štádiách tuhnutia a tvrdnutia. Pri 5 % sa dĺžka skúšobných vzoriek v prvých 2 dňoch prakticky nemenila. Zmrašťovanie malty bolo kompenzované expanziou rozpínavého cementu. Pri vyšších dávkach prímеси sa prejavoval jej expanzný účinok výraznejšie. Pri dávke 10 % došlo po 1 dni vysychania k zväčšeniu dĺžky skúšobných vzoriek o cca 0,05 ‰ a pri dávke 15 % až o cca 0,2 ‰. S ďalším ošetrovaním v relatívne suchom prostredí ($\varphi = 50 \%$) sa už malty zmrašťovali. Príčinou je strata vlhkosti cementového poteru a postupné znižovanie tvorby etringitu, pričom dĺžkové zmeny sa ďalej vyvíjali paralelne s dĺžkovými zmenami referenčnej malty. V prípade malty s 15 % dávkou prímеси bola dĺžka skúšobných vzoriek po 3 dňoch vysychania rovnaká ako pri prvom meraní (po 24 hodinách), kým pri referenčných vzorkách už bolo namerané zmrašťovanie cca 0,3 ‰. Pri referenčnej zmesi sa sadrovec obsiahnutý v cemente pri reakcii s C_3A rýchlo spotreboval na tvorbu etringitu a keďže nezreagoval ešte všetok C_3A , etringit sa ďalej menil na monosulfát. Z toho vyplýva, že zmrašťovanie referenčnej zmesi bolo väčšie, ako pri použití dávky rozpínavého cementu, kde sa etringit tvoril dlhšie a vo väčšom množstve. Použitím cementu Denka sa do zmesi dodalo viac expanzných zložiek tvoriacich etringit, čo súvisí s expanziou dosiahnutou v prvých dňoch hydratácie. Celkové zmrašťovanie mált klesalo so zvyšujúcou sa

dávkou expanznej prímеси Denka CSA, pričom pokles celkového zmrašťovania zodpovedá expanzii týchto mált počas prvých cca 3 dní vysychania.



Obr. 1 - Zmrašťovanie referenčnej malty a mált s prísadou SRA

Zdroj: Autor



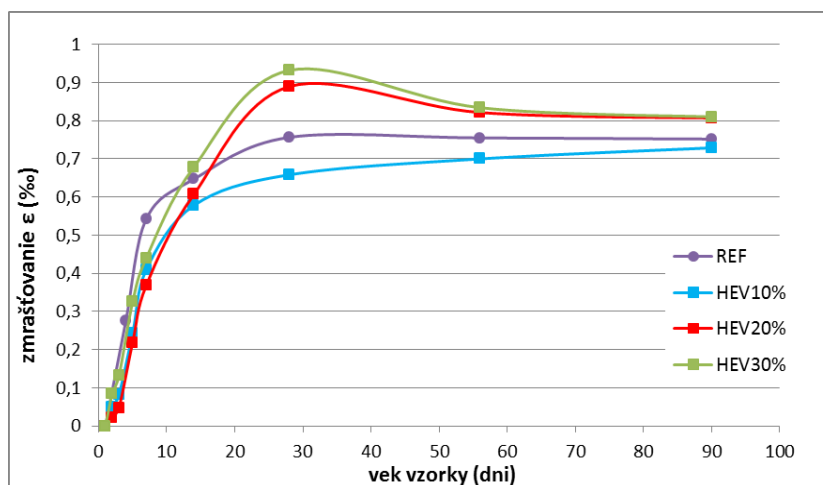
Obr. 2 - Zmrašťovanie referenčnej malty a mált s prímесou expanzného cementu Denka CSA

Zdroj: Autor

Z obr. 3 je zrejmé, že aplikácia expanznej prímеси v zložení hlinitanový cement, energosadrovec a vápenný hydrát sa v daných dávkach neprejavila pozitívne, t. j. nielenže sa nedosiahla požadovaná expanzia v počiatkových fázach hydratácie, ale aj celkové zmrašťovanie vzoriek, najmä s vyššími dávkami prímеси HEV, sa zvýšilo. Výrazný nárast zmrašťovania vzoriek s 20 % a 30 % náhradou cementu prímесou HEV sa zaznamenal do 28 dní hydratácie kompozitu. Pri 56 a 90 dňových meraniach sa výsledky približujú k hodnotám zmrašťovania referenčnej malty.

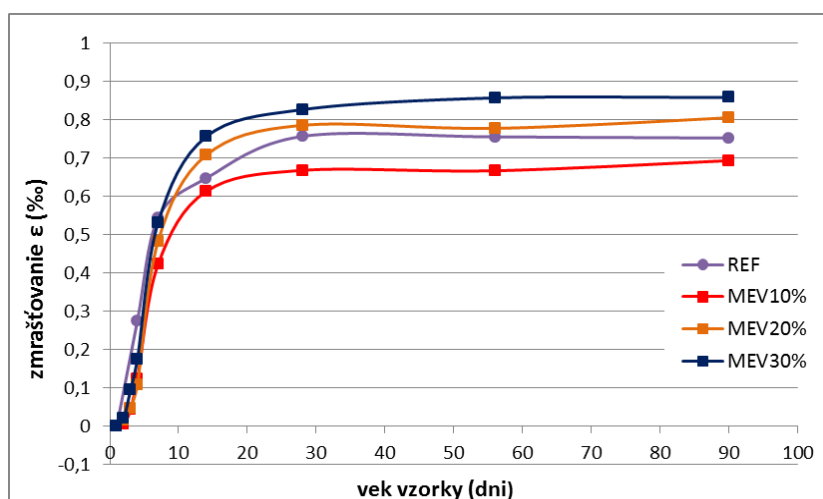
Rovnako z obr. 4 je zrejmé, že pri aplikácii expanznej prímеси na báze metakaolínu, energosadrovca a vápenného hydrátu sa v daných dávkach neprejavil výraznejší pokles zmrašťovania skúšaných mált. Naopak, pri vyšších dávkach sa dosiahlo zvýšenie celkového zmrašťovania v porovnaní s referenčnou maltou. Rovnako ako pri prvom type expanznej prímеси (HEV) ani tu sa nezaznamenala očakávaná expanzia v počiatkových fázach hydratácie

malty. Expanzia, ktorá sa mala prejavíť v súvislosti so zvýšením tvorby etringitu, pridaním vybraných zložiek, bola zrejme „prekrytá“ inou, resp. inými reakciami alebo procesmi (prevzdušnenie), ktoré súčasne prebiehali v štruktúre kompozitu.



Obr. 3 - Zmrašťovanie referenčnej malty a málť s prísadou hlinitanového cementu, energosadrovca a vápenného hydrátu (HEV)

Zdroj: Autor

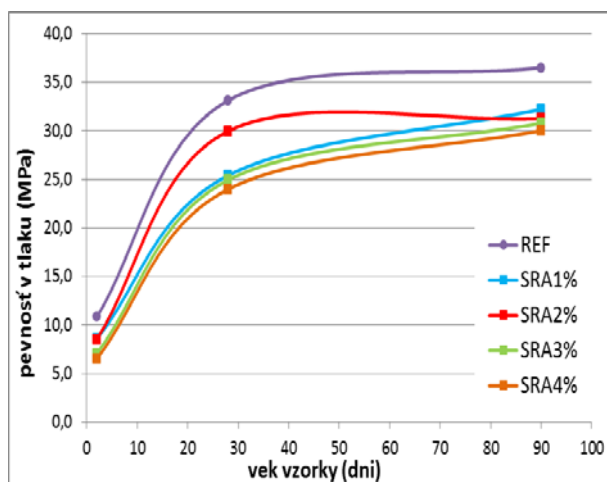


Obr. 4 - Zmrašťovanie referenčnej malty a málť s prísadou metakaolínu, energosadrovca a vápenného hydrátu (MEV)

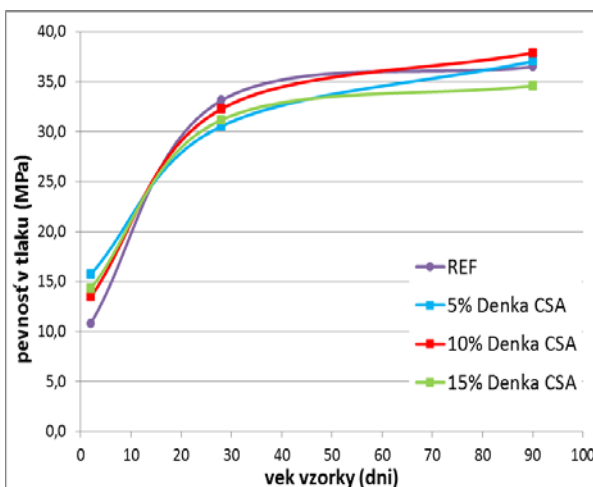
Zdroj: Autor

Výsledky merania pevností v tlaku vzoriek sú spracované na obr. 5, 6, 7 a 8. Z Obr. 6 je zrejmé, že aplikácia expanzného cementu DENKA nemala výraznejší vplyv na vývin pevností skúšaných málť a pevnosti málť oscilujú okolo pevností referenčnej malty. Pri použití SRA prísady (obr. 5) sa zaznamenal mierny pokles pevností málť, v priemer o 5 MPa, čo môže súvisieť so zmenami pórovej štruktúry vplyvom prísady SRA. Pri aplikácii expanznej prímеси HEV (obr. 7) bol vývin začiatkových pevností totožný s pevnosťami referenčnej malty, pričom 90 dňové pevnosti dosiahli o cca 5 MPa vyššie hodnoty ako pevnosť referenčnej malty (pokles 28 dňových pevností pri 10 % dávke prímеси HEV je pravdepodobne spôsobený chybou merania). Naopak prímесь MEV (obr. 8) mala pri vyšších dávkach za následok pokles

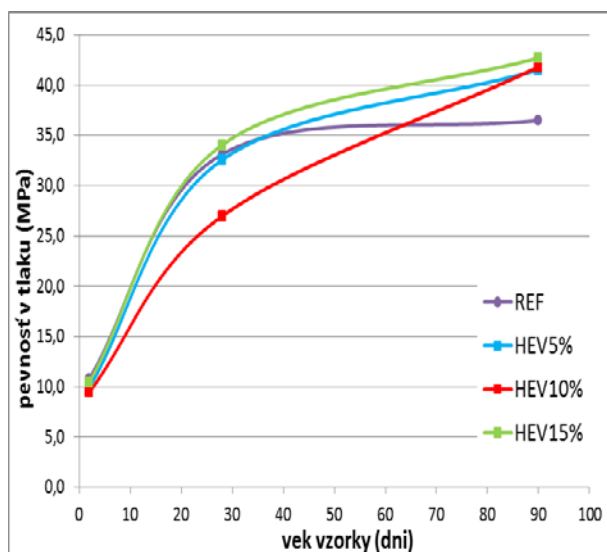
pevností skúšaných vzoriek, čo vyplýva aj z poklesu objemových hmotností spôsobených značným prevzdušnením mált pri miešaní.



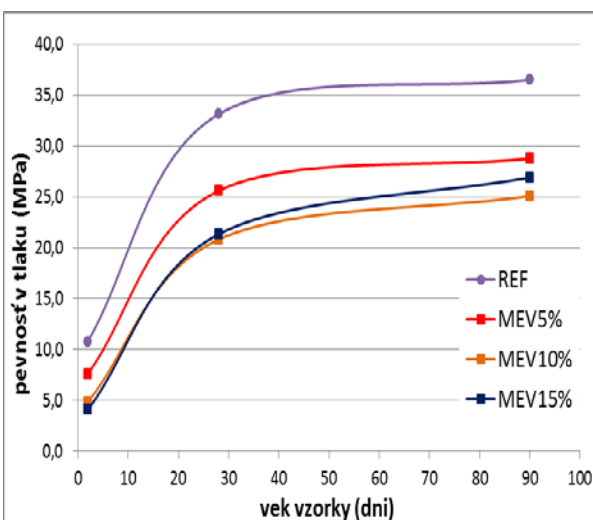
Obr. 5 – Pevnosti v tlaku referenčnej malty a mált s prísadou SRA
Zdroj: Autor



Obr. 6 – Pevnosti v tlaku referenčnej malty a mált s dávkou expanzného cementu Denka CSA
Zdroj: Autor



Obr. 7 – Pevnosti v tlaku referenčnej malty a mált s dávkou expanznej prímеси HEV
Zdroj: Autor



Obr. 8 – Pevnosti v tlaku referenčnej malty a mált s dávkou expanznej prímеси MEV
Zdroj: Autor

Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že prísada redukujúca zmrašťovanie SRA výrazne ovplyvňovala vlastnosti cementových mált. Ako dominantný sa prejavil jej vplyv na zmrašťovanie, ktoré sa znížilo pri dávke prísady 2 % o 33 %, pri dávke 3 % o 40 % a pri 4 % dávke prísady až o 46 %. Pri aplikácii vyššej dávky prísady SRA sa mierne zlepšila aj začiatočná konzistencia (rozliatie mált). Dosiahnuté výsledky preukázali vhodnosť danej prísady SRA na riešenie problematiky nadmerného zmrašťovania betónu a cementových kompozitov všeobecne. Prísada veľmi účinne redukuje zmrašťovanie avšak pri návrhu je potrebné počítať s možným miernym poklesom pevností v tlaku kompozitu.

Z dosiahnutých výsledkov taktiež možno konštatovať pozitívny vplyv rozpínavého cementu Denka na ovplyvňovanie zmrašťovania samonivelačných cementových poterov pri 5 %, 10 % aj 15 % náhrade cementu referenčnej vzorky. Pri zmesiach s touto prímiesou sa preukázalo zlepšenie spracovateľnosti a zmrašťovanie vzoriek sa, v porovnaní s referenčnou maltou, zredukovalo práve o hodnotu expanzie, ktoré vzorky vykazovali prvé dni hydratácie. Najvýraznejšie sa účinok rozpínavého cementu prejavil pri najväčšej 15 % náhrade. Z hľadiska dosiahnutých pevností v tlaku nemalo použitie expanzného cementu výraznejší vplyv. Tieto výsledky dávajú dobré predpoklady na využitie danej prímеси Denka CSA na riešenie problémov nadmerného zmrašťovania pri zhotovovaní betónových konštrukcií. Pre ich širšie využitie je nutné overiť dané výsledky na väčších vzorkách a v rôznych podmienkach ošetrovania.

Použitie ďalších dvoch testovaných prímесí v zložení hlinitanový cement, energosadrovec, vápenný hydrát (HEV) a metakaolín, energosadrovec a vápenný hydrát (MEV) nedosiahlo očakávaný efekt v podobe redukovania zmrašťovania cementových mált. Navyše rýchly nárast zmrašťovania prvých 28 dní hydratácie mált, pri použití vyššej dávky prímеси HEV, by mohol zvyšovať riziko vzniku zmrašťovacích trhlín. Použitie prímеси MEV bolo zase sprevádzané značným prevzdušnením mált, ktoré sa prejavilo v znížení ich objemových hmotností a následne aj pevností v tlaku.

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

Použitá literatúra

1. BAJZA, A., ROUSEKOVÁ, I., 2006. *Technológia betónu*. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o. ISBN 80-8076-032.
2. BERKE N.S. et al., 2003. Improving Concrete Performance with Shrinkage-Reducing Admixtures. In: *Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Ottawa. s. 37-50. ISBN 0-87031-127-1
3. GILLINGER, J. et al., 2009. *Objemové zmeny betónu* [online]. Rozborová úloha. Košice: TSUS. Dostupné z: http://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove_ulohy/ru_objemove_zmeny_betonu.pdf
4. NEVILLE, A.M., 1997. *Properties of Concrete*. Fourth Edition. Harlow: Addison Wesley Longman Limited. ISBN 0-582-23070-5.
5. REPETTE, W.L., MAILVAGANAM, N.P., 2003. Calcium Sulfoaluminate-Based Expansive Admixtures. In: *Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Ottawa. s. 177-194. ISBN 0-87031-127-1.