

# VLIV TYPU PLNIVA NA ZMĚNY VLASTNOSTÍ POLYMERCEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ EXPONOVANÝCH V EXTRÉMNÍCH TEPLOTNÍCH PODMÍNKÁCH ■ INFLUENCE OF THE TYPE OF FILLER ON CHANGES IN PARAMETERS OF POLYMER-CEMENT COMPOSITES EXPOSED TO EXTREME TEMPERATURE CONDITIONS

Tomáš Melichar, Jiří Bydžovský

Článek prezentuje dílčí výsledky výzkumu orientovaného na analyzování změn vlastností kompozitních materiálů na bázi polymercementové matrice s různými typy plniv. Tyto změny byly sledovány a hodnoceny postupně až do expoziční teploty 1 000 °C. Chlazení probíhalo řízeně pozvolně v pecích a rovněž také šokově vodou. Byly použity dva typy plniva a jejich kombinace. Lehké plnivo pocházelo z alternativních surovinových zdrojů. ■ The article presents partial results of the research of analysis of parameters changes of composite materials based on polymer-cement matrix with different types of fillers. These changes were monitored and evaluated gradually at exposure to temperature up to 1 000 °C. Cooling was carried out gradually in furnaces as well as by shock in water. Two types of fillers were used, including their combinations. Lightweight filler originated from alternative raw material sources.

Lightweight filler originated from alternative raw material sources.

Při výzkumu a vývoji kompozitních materiálůvých systémů je třeba posuzovat a hodnotit všechna podstatná kritéria zahrnující mimo jiné i vlastnosti jednotlivých složek včetně jejich spolupůsobení. Jedním z takovýchto kompozitů jsou i polymercementové správkové malty, které jsou aplikovány při sanacích železobetonových konstrukcí zpravidla ve vrstvě do cca 20 mm (jemnozrnná malta), resp. do 50 mm (hrubozrnná malta).

Jedním z podstatných kritérií dobrého spolupůsobení malty se stávající konstrukcí jsou i obdobné objemové změny této správkové hmoty a podkladu (betonu). Z tohoto důvodu je nutné se při studiu parametrů nově vyvíjených sanačních malt soustředit mimo jiné na jejich rozměrové dilatace, které nastávají při zrání, vlivem teplotních či vlhkostních změn, zatížení atd. Expozicemi při vysokých teplotách s následným pozvolným či šokovým chlazením jsou ještě tyto dilatace umocněny. Objemové změny správkových malt s polymercementovou maticí a rozptýlenou výztuží souvisí s mnoha faktory. Pro minimalizaci objemových změn ovlivněných teplotními výkyvy je třeba zvolit vhodné suroviny. Důraz je třeba klást jak na složky

jednotlivě, tj. matici, plnivo, příp. příměsi, rozptýlenou výztuž atd., tak na jejich spolupůsobení. Poměrně výrazným vlivem se vyznačuje plnivo, které zaujímá značnou část objemu správkových hmot. Zde hraje roli mineralogické složení a objemová hmotnost plniva. Fázové složení je podstatné z hlediska minerálů, které mohou podléhat reversibilním či ireversibilním modifikačním přeměnám. Typickým příkladem takového modifikačního přeměny je křemen, jenž při teplotě 573 °C přechází z  $\beta$  na  $\alpha$ . Dále pak může docházet k rozkladu některých fází, kdy zpravidla uniká krystalicky vázaná voda či jiné plynné složky (např.  $\text{CO}_2$ ).

Kombinace složení plniva a jeho objemové hmotnosti souvisí s tepelnou vodivostí. Kromě vedení tepla je velmi významná schopnost plniva teplo akumulovat. Tento parametr se projeví především při náhlých změnách teploty, což v tomto případě představuje šokové chlazení vodou. Uvolnění většího množství tepla se může podílet na rychlém smrštění plniva, a tím porušení v kontaktní zóně s maticí. Dále může tato skutečnost souviset s odštěpováním povrchových partií malty. V článku je pozornost soustředěna na správkové hmoty na bázi směsné silikátové matrice s obsahem polymerních modifikátorů a rozptýlené výztuže. Při výběru plniva byl kladen důraz na mineralogický původ a objemovou hmotnost. Pojivová složka byla modifikována dostupnými vedlejšími produkty hutní výroby v ČR. Důraz byl kladen na posouzení rozměrových změn v souvislosti s pozvolným a šokovým chlazením.

## METODIKA

Pro všechny navržené receptury bylo použito směsné pojivo. Výchozí pojivovou složkou byl portlandský cement CEM I 42,5 R, který byl modifikován aktivní příměsí (konkrétně byl cement substituován vysokopecní struskou – Koutouč Štramberk). V minoritním množství byla využita další modifikační složka pojiva – polymerní přísada na bázi kopolymeru vinylacetátu a etylenu. Dávka polymerní složky je vztažena na hmotnost směsného pojiva (tj. cement + struska).

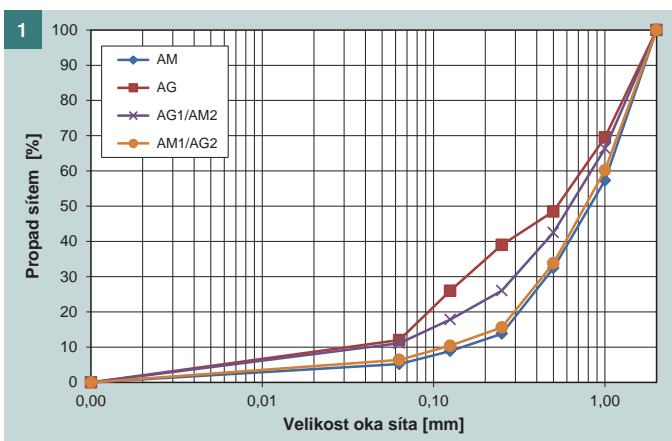
Plnivo bylo tvořeno kamenivem o frakci 0–2 mm. S ohledem na teplotní odolnost byl zohledněn mineralogický původ kameniva, a proto byl vybrán amfibolit a uměle vyráběné pórovité kamenivo na bázi spékaného popílku (agloporit). Poměr dávkování pojiva a kameniva byl 1 : 2,5 (pojivo : plnivo). Celkem byly testovány a posuzovány čtyři varianty složení plniva – amfibolit, kamenivo na bázi spékaného popílku, kombinace amfibolitu frakce 0–1 mm a kameniva ze spékaného popílku frakce 1–2 mm a kombinace amfibolitu frakce 1–2 mm a pórovitého kameniva frakce 0–1 mm. Popílkový agloporit frakce 0–1 mm dosahoval objemové hmotnosti 1 490  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a frakce 1–2 mm pak 1 340  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vzhledem k tomu, že bylo použito pórovité plnivo, byla aplikována podpurná příměs – mikrosilika). Dávka této složky je vztažena na hmotnost směsného pojiva (tj. cement + struska). Mikrosilika nebyla využita pouze při výrobě malty receptury RAM. Důvodem aplikace mikrosiliky do receptur obsahujících pórovité plnivo bylo zajištění dostatečných fyzikálně-mechanických parametrů. Předchozím výzkumem totiž bylo zjištěno, že u malt obsahujících pórovité plnivo na bázi spékaného popílku dochází k výraznějšímu poklesu zejména pevnostních charakteristik. Pro dosažení potřebné odolnosti extrémním teplotám byla využita také rozptýlená polymerní výztuž. Voda byla dávkována s ohledem na zajištění optimální zpracovatelnosti a v kombinaci s polymerní přísadou bylo dosaženo i dobré přilnavosti (lepivosti) čerstvé směsi.

Zkušební tělesa malt byla po zrání zatěžována tepelnou expoziční v elektrických pecích s teplotním gradientem 10 °C $\cdot$ min<sup>-1</sup> a izotermní výdrží na maximální teplotě po dobu 90 min. Byl hodnocen vliv teplot 400, 600, 800 a 1 000 °C. Referenční tělesa byla ponechána v laboratoři při teplotě cca 22 °C. Výše uvedený teplotní průběh byl zvolen s ohledem na aktuální normové požadavky [5]. Řízené chlazení probíhalo jednak v pecích – pozvolně a jednak šokově – ponořením těles do vody o teplotě cca 18 °C a to bezprostřed-

Tab. 1 Složení testovaných receptur | Tab. 1 Composition of the tested recipes

Složka	Jednotka	Receptura			
		RAM	RAG	RAM1/ AG2	RAG1/ AM2
Cement	kg.m <sup>-3</sup>	435	435	435	435
Vysokopecní struska	kg.m <sup>-3</sup>	234	234	234	234
Polymerní přísada	% (m <sub>cem+st</sub> )	3	3	3	3
Mikrosilika	% (m <sub>cem+st</sub> )	5	5	5	5
Amfibolit 0-1 mm	kg.m <sup>-3</sup>	1 674	-	837	-
Amfibolit 1-2 mm	kg.m <sup>-3</sup>	-	-	-	837
Popílkový agloporit 0-1 mm	kg.m <sup>-3</sup>	-	-	-	642
Popílkový agloporit 1-2 mm	kg.m <sup>-3</sup>	-	1 263	629	-
Celulózová vlákna	kg.m <sup>-3</sup>	0,45	0,45	0,45	0,45
Voda	kg.m <sup>-3</sup>	341	74*	187*	147*

\* Pórovité kamenivo bylo předem nasyceno vodou. Nasákavost kameniva dosahuje cca 35 %. Nelze tedy exaktně odhadnout, kolik vody se uvolnilo během míchání směsí, tj. přesný vodní součinitel.



Obr. 1 Komparace zrnitosti testovaných plniv (AM – amfibolit 0–2 mm, AG – agloporit 0–2 mm, AG1/AM2 – kombinace agloporitu 0–1 mm a amfibolitu 1–2 mm, AM1/AG2 – kombinace amfibolitu 0–1 mm a agloporitu 1–2 mm) | Fig. 1 Comparison of granulometric composition of tested fillers (AM – amphibolite 0-2 mm, AG – agloporite 0-2 mm, AG1/AM2 – combination of agloporite 0-1 mm and amphibolite 1-2 mm, AM1/AG2 – combination of amphibolite 0-1 mm and agloporite 1-2 mm)

ně po ukončení 90min izotermní výdrže na maximální teplotě.

Rozměry byly stanoveny jak před tepelnou expozicí, tak po vychlazení těles. Změny jednotlivých rozměrů jsou vyjádřeny v procentech vztahených na původní hodnoty, tj. před tepelným zatížením.

**VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE**

Graf na obr. 1 uvádí křivky zrnitosti použitých typů kameniv a jejich kombinací. Z grafu je patrný průběh zrnitosti a skladby jednotlivých frakcí. Největší množství jemných frakcí obsahuje agloporit. Smísením agloporitu frakce 1–2 mm a amfibolitu frakce 0–1 mm nedošlo k rapidní změně zrnitosti v porov-

nání s křivkou zrnitosti samotného amfibolitu frakce 0–2 mm. Nejvíce plynulým průběhem zrnitosti se vyznačuje křivka směsi kameniva, tj. AG1/AM2 (agloporit frakce 0–1 mm a amfibolit frakce 1–2 mm).

Komparace a zhodnocení dosažených výsledků malt je uvedena v grafech na obr. 2 až 4. Vždy byl sledován daný rozměr včetně jeho změny vlivem vystavení těles extrémním teplotním podmínkám. Byla zhotovena zkušební tělesa tvaru hranolů 40 × 40 × 160 mm. Měření rozměrů, a tedy i stanovení jejich změn probíhalo před tepelnou expozicí a dále až po vychlazení těles.

Z grafu na obr. 2a je patrné, že receptura obsahující pouze jemnozrn-

né plnivo na bázi amfibolitu se vyznačuje maximálními rozměrovými změnami do cca – 2 %. K největším změnám došlo v případě příčného rozměru – šířky. Tento projev může souviset se směrem hutnění směsi nebo také s uložením těles v peci. Trend křivek poukazuje na skutečnost, že k menším deformacím docházelo v případě šokového vodního chlazení správkových hmot. S výjimkou šířky se jednalo o deformace těles do -0,5 %. Dále je patrné, že docházelo k záporným deformacím, tj. ke smrštění. S výjimkou průběhu křivky Δb – RAM a Δh – RAM-V bylo zaznamenáno největší smrštění u hmot exponovaných při teplotě 800 °C.

Rozměrové změny malty na bázi umě-



**HESCON**  
projekčno-inžinierska kancelária

**PROJEKTY, STATIKA A VÝROBNÁ DOKUMENTÁCIA PREFABRIKOVANÝCH KONŠTRUKCIÍ**

Od profesionálneho tímu spracovaná do najmenších detailov.





Výrobná dokumentácia  
prefabrikovaných konštrukcií



Komplexnosť  
projektov



Optimalizácia



Odbornosť



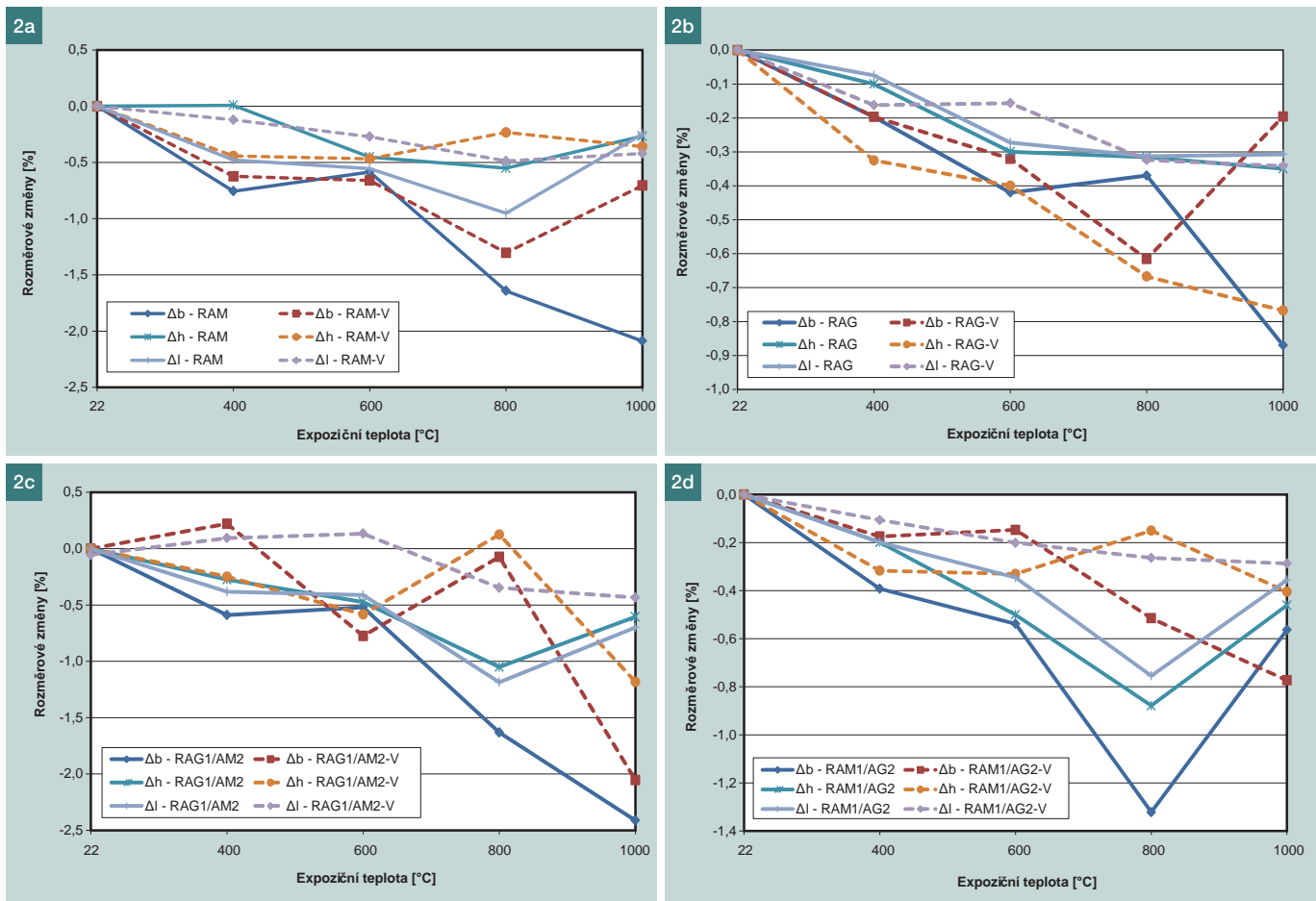
+421  
911  
509 411

Informujte sa  
o hodnote služieb



HESCON s.r.o., Nám. sv. Anny 20C/7269  
911 01 Trenčín, Slovenská Republika  
e-mail: dopyt@hescon.sk  
Mobil: +421-911-509 411  
Tel.: +421-32-6513700  
Fax: +421-32-6513701  
www.hescon.sk

Firemní prezentace



Obr. 2 Komparace rozměrových změn receptury ( $\Delta b$  – změna šířky;  $\Delta h$  – změna výšky;  $\Delta l$  – změna délky; V – vodní chlazení): a) RAM – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou a amfibolitem 0–2 mm; b) RAG – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou a agloporitem 0–2 mm; c) RAG1/AM2 – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou s kombinací amfibolitu 1–2 mm a agloporitu 0–1 mm; d) RAM1/AG2 – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou s kombinací amfibolitu 0–1 mm a agloporitu 1–2 mm

Fig. 2 Comparison of dimensional changes of mixture ( $\Delta b$  – change of width;  $\Delta h$  – change of height;  $\Delta l$  – change of length; V – water cooling): a) RAM – mixture based on cement with blast furnace slag and amfibolite 0–2 mm; b) RAG – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and agloporite 0–2 mm; c) RAG1/AM2 – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and combination of amfibolite 1–2 mm and agloporite 0–1 mm; d) RAM1/AG2 – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and combination of amfibolite 0–1 mm and agloporite 1–2 mm

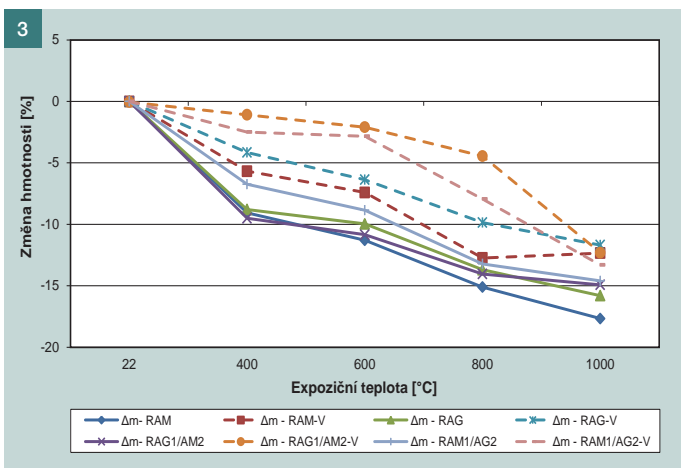
lého spékaného kameniva z vysoko-  
teplotního popílku jsou porovnány v  
grafu na obr. 2b. Byly zaznamenány  
maximální změny šířky do cca – 0,9 %.  
Opět stejně jako v případě receptury SA  
docházelo pouze k smrštění malt. Kromě  
křivek  $\Delta b$  – AG a  $\Delta b$  – AG-V byl za-  
znamenán pravidelný klesající trend.  
Po teplotu 600 °C se jednalo o poměrně  
rovnoměrné smršťování těles. Dále  
následoval již strmější průběh křivek  
změn rozměrů. Převážně lze usuzovat  
na výraznější vliv šokového chlazení,  
kdy docházelo výraznějšímu reziduálnímu  
smrštění.

Komparace zjištěných hodnot recep-  
tury obsahující směs plniv – AG1/AM2 je  
uvedena v grafu na obr. 2c. Při teplotním  
zatížení a následném chlazení byly evi-  
dovány jak kladné, tak záporné rozmě-  
rové změny, tedy prodloužení i smrštění.  
Převažovalo však smršťování, které do-  
sahovalo také větších odchylek, a to až  
cca – 2,5 %. Oproti předchozím recep-

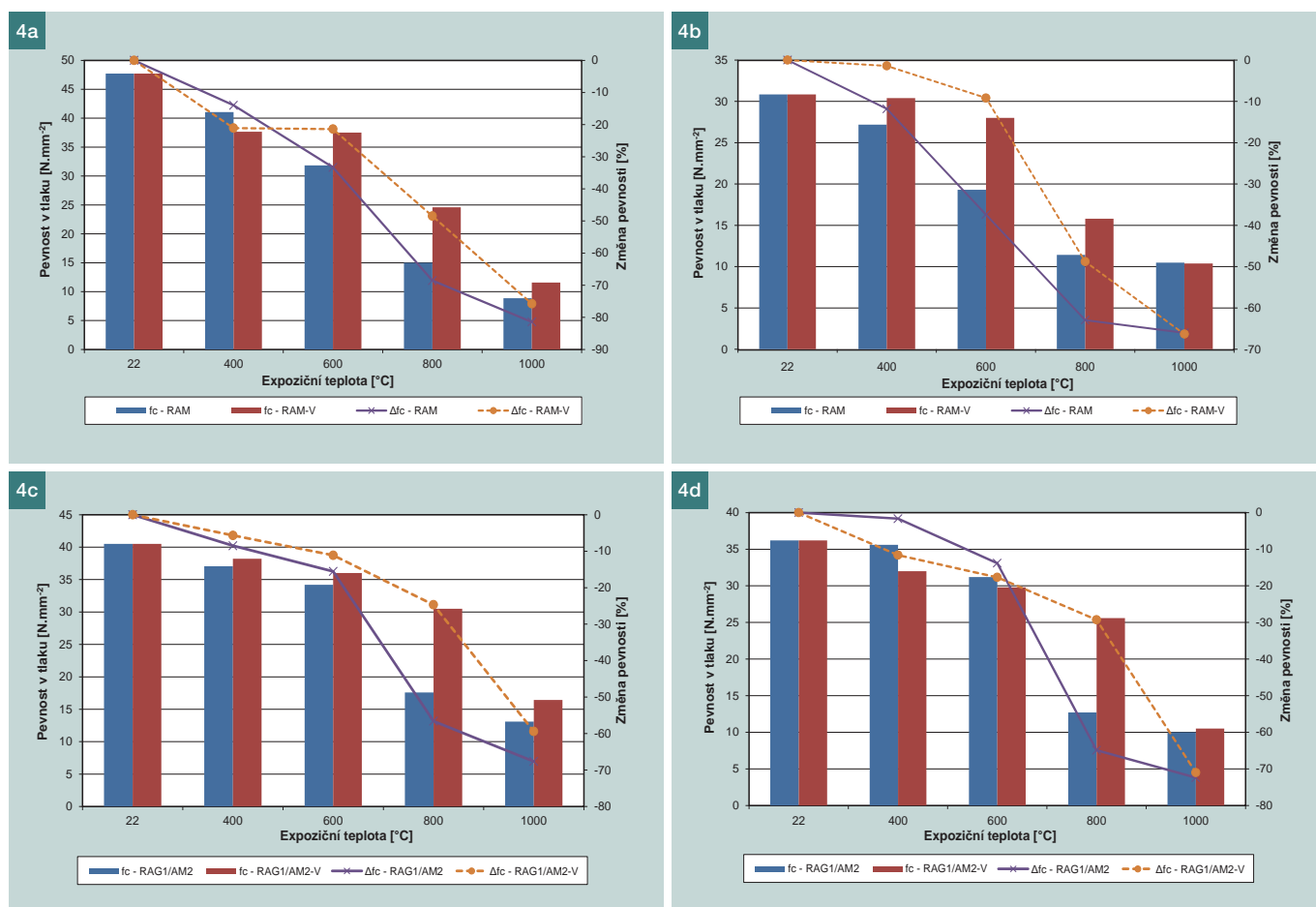
turám je patrné, že průběhy změn roz-  
měrů jsou více nepravidelné. Konkrétně  
především vývoj křivek charakterizující  
změny vlivem šokového chlazení. Zde  
docházelo jak ke kladným, tak záporným  
rozměrovým dilatácím, což je zají-  
mavé. Největší (absolutní) hodnoty byly  
stanoveny v případě šířky těles.

Obr. 3 Komparace hmotnostních změn modifikovaných receptur ( $\Delta m$  – změna hmotnosti; V – vodní chlazení)

Fig. 3 Comparison of weight changes of modified mixtures ( $\Delta m$  – change of weight; V – water cooling)



Poslední testovanou recepturou byla  
hmota obsahující směs plniv – AM1/AG2.  
Vyhodnocení sledovaných parametrů  
je znázorněno v grafu na obr. 2d. Opět  
jako u ostatních receptur jsou největší  
změny rozměrů patrné v příčném smě-  
ru, konkrétně u šířky. Tuto recepturu lze  
hodnotit lépe než předchozí AM1/AG2.



Obr. 4 Komparace pevnosti v tlaku receptury ( $f_c$  – pevnost v tlaku;  $\Delta f_c$  – změna pevnosti v tlaku; V – vodní chlazení): a) RAM – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou a amfibolitem 0–2 mm; b) RAG – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou a agloporitem 0–2 mm; c) RAG1/AM2 – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou s kombinací amfibolitu 1–2 mm a agloporitu 0–1 mm; d) RAM1/AG2 – receptura na bázi cementu s vysokopecní struskou, mikrosilikou s kombinací amfibolitu 0–1 mm a agloporitu 1–2 mm

Fig. 4 Comparison of compressive strength of mixture ( $f_c$  – compressive strength;  $\Delta f_c$  – change of compressive strength; V – water cooling): a) RAM – mixture based on cement with blast furnace slag and amfibolite 0–2 mm; b) RAG – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and agloporite 0–2 mm; c) RAG1/AM2 – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and combination of amfibolite 1–2 mm and agloporite 0–1 mm; d) RAM1/AG2 – mixture based on cement with blast furnace slag, microsilica and combination of amfibolite 0–1 mm and agloporite 1–2 mm

Maximální smrštění, které bylo stanoveno, dosahuje cca – 1,5 %. Při vyloučení křivky  $\Delta b$  – AM1/AG2, konkrétně hodnoty charakterizující smrštění při expozici 800 °C činí maximální smrštění cca – 0,9 %. Větší záporné dilatační změny byly stanoveny v případě pozvolného chlazení. Zde byly rovněž zaznamenány průběhy křivek spíše nepravidelné.

Graf na obr. 3 uvádí přehled hmotnostních změn jednotlivých receptur. Je evidentní, že při šokovém chlazení nedošlo k tak rapidnímu úbytku hmotnosti jako v případě těles ponechaných v pecích a řízeně chlazených pozvolna. Nejmenšími změnami hmotnosti se vyznačovala receptura RAG1/AM2 a to po chlazení šokem. Naopak nejvíce podléhala úbytku hmotnosti receptura RAG, kdy byla tělesa chlazená pozvolně.

V grafech na obr. 4a až 4d jsou znázorněny průběhy pevností v tlaku a jejich změny vlivem teplotního namáhá-

ní až do 1 000 °C. K výraznějším poklesům tlakových pevností dochází převážně při pozvolném chlazení, což koresponduje se zjištěnými hmotnostními úbytky (obr. 3). Tento jev lze vysvětlit postupným rozkladem matrice a objemových změn jednotlivých složek i při fázi chlazení, než dojde k úplnému poklesu teploty. Naproti tomu, při chlazení šokem lze předpokládat prudší objemové dilatace jednotlivých složek, což by mohlo vyvolat destrukci vnitřní struktury daného kompozitu. Toto se však nepotvrdilo. Důvodem může být zejména volba složení malt – redukce dávky cementového pojiva, výběr vhodných plniv (pórovitě a s minimálním obsahem křemene), polymerní přísada a rozptýlená výtzuž.

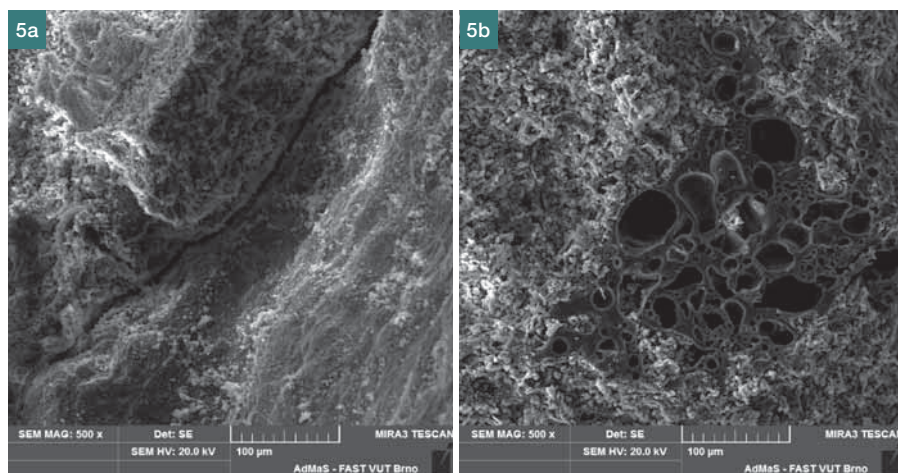
Z průběhů pevností v tlaku a jejich poklesu (obr. 4a až 4d) je také patrné, že rozdíly více či méně kolísají v teplotním rozmezí 400 až 800 °C. Nicméně při expozici malt o teplotě 1 000 °C jsou již reziduální pevnosti poměrně vyrovnané.

duální pevnosti poměrně vyrovnané. Výjimkou je pouze receptura RAG1/AM2, kde byl zaznamenán rozdíl cca 8 %. Na straně druhé tato receptura se vyznačuje nejvyšší reziduální pevností, kdy po teplotním zatížení 1 000 °C byla stanovena pevnost v tlaku 16,4 N.mm<sup>-2</sup>, což představuje cca 40% zbytkovou pevnost.

Výraznější diference reziduálních pevností stanovených po teplotním zatížení 800 °C receptur RAG1/AM2 a RAM1/AG2 po pozvolném a šokovém chlazení korespondují s trendem křivek rozměrových dilatací. Po expozici 800 °C došlo k výraznější kontrakci a to v případě všech tří rozměrů, tj. délky, šířky i výšky po pozvolném chlazení.

Snímky na obr. 5 uvádí mikrostrukturu vybraných receptur se zaměřením na kontaktní zónu plniva a matrice. Cílem bylo identifikovat případné poruchy v této problematické oblasti.

Byly vybrány receptury obsahující je-



Obr. 5 Mikrostruktura vzorku receptury RAM exponované při 1 000 °C a šokově chlazeného, detail trhliny mezi matricí a plnivem: a) zvětšení 500×, b) detail kontaktní zóny matrice a plniva receptury RAG

Fig. 5 Microstructure of RAM mixture sample exposed at temperature 1 000 °C and cooled by shock, detail of crack between matrix and filler: a) magnification 500×, b) detail of contact zone of matrix and filler – mixture RAG

den typ plniva, a to konkrétně AM a AG. Jak je patrné, došlo k porušení soudržnosti matrice a plniva (amfibolitu) po expozici při 1 000 °C a následném šokovém chlazení. Tato skutečnost se projevila vznikem trhliny o šířce cca 8 µm. Naopak pórovité kamenivo se v tomto ohledu projevilo výrazně pozitivněji, což lze dobře zpozorovat na mikroskopických snímcích (obr. 5). Nutno však také poznamenat, že v případě receptury AM i ostatních obsahujících směsi plniv byly případné trhliny v kontaktní zóně matrice a plniva zjištěny spíše ojediněle. Výskyt poruch korespondoval přibližně s průběhy dilatačních křivek.

## ZÁVĚR

Při uvážení výše uvedených zjištění a poznatků lze konstatovat, že vhodným složením plniva polymercementových kompozitů lze výrazně regulovat jejich rozměrové změny, které souvisí i s ostatními parametry při extrémních teplotách. Důraz byl kladen na dva typy plniv, které byly již v předchozím výzkumu shledány jako vhodné pro hmoty s předpokládanou vyšší odolností vůči extrémním teplotním podmínkám. Při použití uměle vyráběného kameniva na bázi spékaného popílku byla zjištěna vyšší rozměrová stabilita než v případě receptur obsahujících amfibolit. Smrštění bylo možné zredukovat o více než polovinu. Toto bylo možné na základě výsledků uvedených v [3] částečně predikovat. Při vhodném výrobním režimu a surovině lze totiž docílit pórovitého kameniva odolného teplotě až 1 500 °C. Rozdíly v chování receptur obsahujících hutné a pórovité kamenivo (amfibolit a agloporit) mohou souviset také s vlhkostní roztažností kameniv či moduly pružnosti, resp. jejich změnami při teplotních výkyvech. Pro detailní objasnění chování jednotlivých receptur byla také posuzována mikrostruktura se zaměřením na rozhra-

ní matrice a plniva. Analýzováním mikrostruktury byl zjištěn vyšší výskyt poruch (trhlin) na rozhraní matrice a amfibolitu než u spékaného kameniva. Přesto se však jednalo pouze o nepatrné procento poruch. Pozornost byla věnována také posouzení vlivu různých podmínek chlazení. Bylo zjištěno, že při pozvolném chlazení dosahují zkoumané hmoty vyšších hodnot smrštění.

Dle poznatků v odborné literatuře může docházet v závislosti na použitých surovinách, tj. pojivu, plnivu atd. ke smrštění (zpravidla cementová matrice) i k expanzi (častěji kamenivo) kompozitních materiálů na bázi cementové matrice s obsahem anorganického plniva. Vzhledem ke kvalitě matrice byly v tomto konkrétním případě trhliny minimalizovány, čímž převážil vliv smrštění. Rovněž je třeba zmínit fakt, že i samotná kameniva byla vybrána na základě uvážení poznatků z odborné literatury tak, aby byl minimalizován vliv extrémních teplot a zajištěno pokud možno jejich inertní chování v průběhu zahřívání i chlazení.

Do budoucna je třeba zvážit ještě případný navazující výzkum a zaměřit se na sledování dilatací bezprostředně po teplotním zatížení (tj. ještě před fází chlazení). Zajímavé by bylo posouzení samotných dilatací ve fázi před šokovým chlazením vodou. Dále se vzhledem k účelu použití analyzovaných hmot bude třeba soustředit i na posouzení rozměrových dilatací při nanesení na podkladní beton. V tomto případě totiž vstupuje do proměnných další faktor, který je třeba posoudit, což jsou rozdílné parametry podkladu v porovnání s vyvíjenými maltami.

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory projektu GA ČR 15-07657S s názvem „Studium kinetiky dějů probíhajících v kompozitním

## Literatura:

- [1] AYDIN, S. Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire Safety Journal*. Volume 43, Issue 8, November 2008, p. 610–617.
- [2] JONG-PIL, Won, HEE-BYOUNG, Kang, SU-JIN, Lee, SANG-WOO, Lee, JOO-WON, Kang. Thermal characteristics of high-strength polymer-cement composites with lightweight aggregates and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*. Volume 25, Issue 10, October 2011, p. 3810–3819.
- [3] ČERNÝ, V., KEPRDOVÁ, Š. Usability of fly ashes from Czech Republic for sintered artificial aggregate. *Advanced Materials Research*. 2014. 2014(887–888). p. 805–808.
- [4] SHOAB, M. M., AHMED S. A., BALAHA M. M. Effect of fire and cooling mode on the properties of slag mortars. *Cement and Concrete Research*. Volume 31, Issue 11, November 2001, p. 1533–1538.
- [5] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky*. Praha: ČNI, 2013.
- [6] ČSN EN 1504-3. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce*. Praha: ČNI, 2006.

systému při extrémních teplotách a vystavených agresivnímu prostředí“. Článek byl dále vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

Ing. Tomáš Melichar, Ph.D.  
Fakulta stavební VUT v Brně  
Ústav technologie stavebních  
hmot a dílců  
e-mail: melichar.t@fce.vutbr.cz



doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.  
Fakulta stavební VUT v Brně  
Ústav technologie stavebních  
hmot a dílců,  
e-mail: bydžovsky.j@fce.vutbr.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.  
The text was reviewed.