

- **ANALÝZA HISTORICKÉHO KROVU KOSTELA SV. ANNY NA STARÉM MĚSTĚ PRAŽSKÉM**
- **REKONSTRUKCE MOSTU EV. Č. 46-006..1**
- **MAPA STAVEBNÍCH A DEKORAČNÍCH KAMENŮ JIHOČESKÉHO KRAJE**
- **POŽÁRNĚ ODOLNÁ LEHKÁ POLYMERCEMENTOVÁ MALTA S OBSAHEM VYSOKÉHO MNOŽSTVÍ NETRADIČNÍCH SUROVIN**
- **OPRAVA HRÁZDĚNÉ ČÁSTI KAPLE PANNY MARIE V KUNČICÍCH NAD LABEM**
- **KAMENICKÝ HUMOR (ZOBRAZENÍ KAMENÍKA V DĚJINÁCH)**
- **CERTIFIKOVANÉ SANAČNÍ OMÍTKOVÉ SYSTÉMY**
- **CERTIFIKOVANÉ INJEKTÁŽNÍ HMOTY PROTI KAPILÁRNÍ VLHKOSTI**

ÚVODNÍ SLOVO / INTRODUCTORY WORD - Rostislav Drochytka	2
WTA V ČESKÉ REPUBLICE / Odborné referáty	4
ANALÝZA HISTORICKÉHO KROVU KOSTELA SV. ANNY NA STARÉM MĚSTĚ PRAŽSKÉM ANALYSIS OF THE HISTORICAL ROOF TRUSS OF ST. ANNE CHURCH FROM THE OLD PRAGUE TOWN - Robin Blažek, Pavel Kuklík	5
REKONSTRUKCE MOSTU EV. Č. 46-006..1 RECONSTRUCTION OF BRIDGE EV. NO. 46-006..1 - Pavel Krupík	9
MAPA STAVEBNÍCH A DEKORAČNÍCH KAMENŮ JIHOČESKÉHO KRAJE MAP OF BUILDING AND DECORATIVE STONE OF THE SOUTH BOHEMIA - Zdeňka Petáková, Barbora Dudíková	13
POŽÁRNĚ ODOLNÁ LEHKÁ POLYMERCEMENTOVÁ MALTA S OBSAHEM VYSOKÉHO MNOŽSTVÍ NETRADIČNÍCH SUROVIN FIRE RESISTANT LIGHTWEIGHT POLYMERCEMENT MORTAR WITH HIGH CONTENT OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS - Tomáš Melichar, Jiří Bydžovský, Ámos Dufka, Lenka Vavrušková	16
OPRAVA HRÁZDĚNÉ ČÁSTI KAPLE PANNY MARIE V KUNČICÍCH NAD LABEM - Bohuslav Vykouk	21
KAMENICKÝ HUMOR (ZOBRAZENÍ KAMENÍKA V DĚJINÁCH) - Hynek Oberhel	25
CERTIFIKOVANÉ SANAČNÍ OMÍTKOVÉ SYSTÉMY WTA-Inter CERTIFIED RESTORATION PLASTER SYSTEMS WTA-Inter	26
CERTIFIKOVANÉ INJEKTÁŽNÍ HMOTY PROTI KAPILÁRNÍ VLHKOSTI	31

Zpravodaj WTA CZ

Vydavatel: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s. (WTA CZ),

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1, IČO: 75088762, tel.: 221 082 397, e-mail: wta@wta.cz, <http://www.wta.cz>

Vychází: 2 až 4x ročně Číslo vychází: 15. 05. 2019

Redakční rada / Editorial Board: Ing. Jan Mácha (šéfredaktor), prof. Ing. Pavel Kuklík, CSc. (zástupce šéfredaktora), prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, Ing. arch. Karel Doubner, prof. Ing. Tibor Ďurica, CSc., prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht, prof. dr. ir. Dionys Van Gemert, prof. Dr.-Ing. Rolf P. Gieler, doc. Ing. Tomáš Klečka, CSc., prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, prof. dr. ir. Luc Schueremans, prof. dr. hab. inž. Jacek Śliwiński, Ing. Václav Sokol, CSc., doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

Litografie a tisk: Reprocentrum a.s., Blansko

Registrace povolena na Ministerstvu kultury ČR pod číslem MK ČR E 13411, ISSN 1213-7308

Za obsah a původnost článků odpovídají jejich autoři. Odborné články byly lektorovány. Názory v příspěvcích se nemusí shodovat s názory redakce.
The authors are responsible for the content and originality of the contributions. The contributions were reviewed. The opinions of editors can be inconsistent with those of the authors.

POŽÁRNĚ ODOLNÁ LEHKÁ POLYMER-CEMENTOVÁ MALTA S OBSAHEM VYSOKÉHO MNOŽSTVÍ NETRADIČNÍCH SUROVIN

FIRE RESISTANT LIGHTWEIGHT POLYMERCEMENT MORTAR WITH HIGH CONTENT OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS

Tomáš Melichar, Jiří Bydžovský, Ámos Dufka, Lenka Vavrušková

Abstrakt:

Článek prezentuje výzkum lehkých malt určených primárně pro sanace železobetonových konstrukcí. Konkrétně je důraz kladen na lehké malty s obsahem alternativních surovin. Matrice byla modifikována škvárou z Oslavan (až 30 %). Dále bylo použito lehké kamenivo vyráběné samovypalem z popílků. Lehké malty byly zatíženy teplotami do 1200 °C. Byla analyzována i varianta šokového chlazení a to po vystavení malt teplotě 1000 °C (ponořením do vody cca 18 °C). Testované malty byly v rámci experimentů podrobeny stanovení pevnostních charakteristik, posouzení fázového složení, dále mikrostrukturním analýzám včetně ověření v pozorovací peci.

Abstract:

The article presents research into lightweight mortars intended primarily for protection and repair of reinforced concrete structures. In particular, emphasis was placed on lightweight mortars containing alternative raw materials. Matrix was modified by slag from Oslavany (up to 30 %). Additionally, lightweight aggregates produced by self-combustion from fly ash were used. Lightweight mortars were loaded by temperature up to 1,200 °C. A shock cooling after exposure of 1,000 °C was analysed (immersion in water of about 18 °C). In the scope of experiments the investigated mortars were subjected to determination of strength characteristics, phase composition assessment, further microstructural analysis including verification in the observation furnace.

ÚVOD

Nové trendy v průmyslu stavebních hmot (omezení spotřeby primárních surovin a využívání netradičních složek) mohou velmi výrazně eliminovat generaci emisí, odpadů či vedlejších produktů, které mnohdy značně zatěžují životní prostředí. Široký prostor pro aplikaci alternativních surovin představuje výzkum a vývoj malt se zvýšenou teplotní odolností. Jednou z možností využití malt je jejich aplikace jako správkové hmoty. Mnoha výzkumy bylo prokázáno, že na teplotní odolnost malt má příznivý vliv náhrada cementu složkami, které limitují tvorbu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na úkor jiných hydratačních produktů [1], [2], [3]. Rovněž byl prokázán pozitivní vliv na teplotní odolnost při využití různých typů lehkých kameniv [4], [5]. V případě kameniva hrají významnou roli objemové změny

spjaté s modifikačními přeměnami křemene. Dále je nutné vzít v úvahu i modul pružnosti. V neposlední řadě se pozitivně projeví přítomnost dutinek, které mohou poskytnout prostor pro rozpínání unikajících plynů při termickém rozkladu kompozitu. V návaznosti na zmíněné poznatky a aktuální situaci produkce potenciálně vhodných alternativních surovin byla pro modifikaci pojiva vybrána teplárenská škvára. Dále byl navržen popílkový agloporit jakožto kamenivo vyvíjené hmoty. Důvodem selekce kombinace právě těchto zmíněných složek je skutečnost, že se jedná o neprobádanou oblast. Teplárenská škvára je běžně v ČR dostupná, přičemž výroba popílkového agloporitu se nachází ve vývojové fázi (poloprovozního ověřování).

VSTUPNÍ SUROVINY, NAVRŽENÉ RECEPTURY A METODIKA EXPERIMENTŮ

Výzkum polymercementových malt probíhal ve spolupráci Vysokého učení technického v Brně a Výzkumného ústavu stavebních hmot, a.s., kdy byla při analyzování těchto pokročilých cementových kompozitů pozornost zaměřena zejména na studium jejich fyzikálně-mechanických vlastností a struktury. Na základě zjištění z odborné literatury byly navrženy 3 varianty receptur [1] až [6]. Změna ve složení spočívala v odlišném stupni modifikace složení matrice. Cement byl substituován jemně mletou teplárenskou škvárou (viz Obr. 1; měrná hmotnost 2650 kg/m³ a měrný povrch 520 m²/kg) v množství 25, 30 a 35 %. Z hlediska mineralogie tvoří dominantní složku škváry skelná fáze



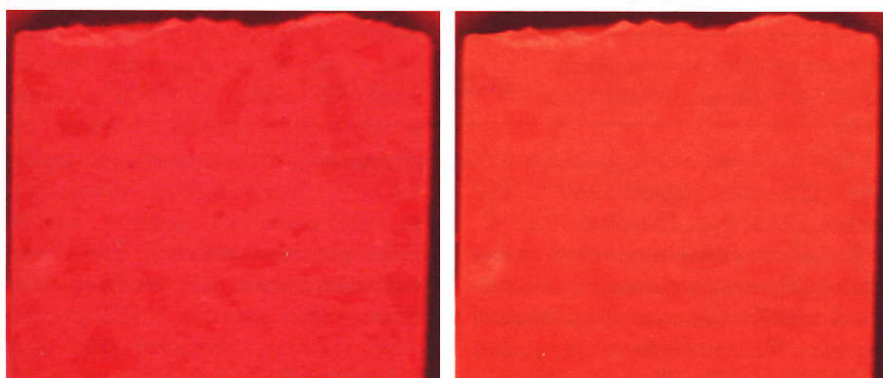
Obr. 1: Netradiční suroviny, jako substituční složky pojiva a matrice - agloporit (vlevo), škvára (v surovém stavu - uprostřed) a škvára jemně mletá (vpravo).

Tab. 1: Složení testovaných receptur

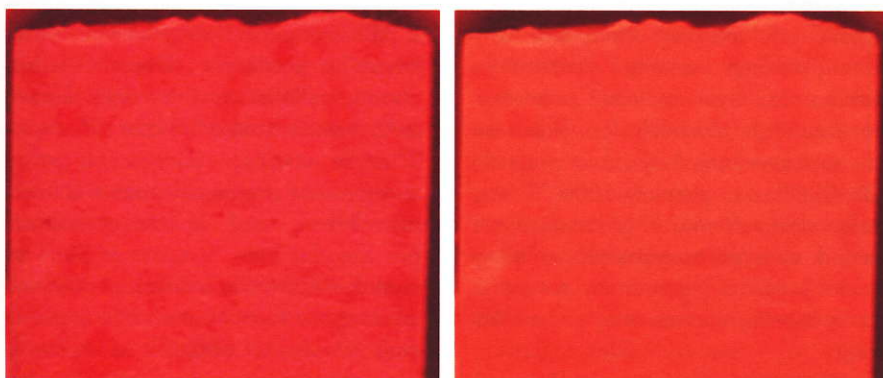
Složka	Jednotka	Receptura		
		L25	L30	L35
CEM I 42,5 R	kg.m ⁻³	308	287	267
Škvára - Oslavany	kg.m ⁻³	88	105	123
Mikrosilika	kg.m ⁻³ ; % ($w_{\text{Cem}+\text{Šk}}$)	28; 5	28; 5	28; 5
Polymerní přísada	kg.m ⁻³ ; % ($w_{\text{Cem}+\text{Šk}}$)	12; 3	12; 3	12; 3
Kamenivo - agloporit 0-1 mm	kg.m ⁻³	1007	1008	1009
Polypropylenová vlákna	kg.m ⁻³	1	1	1
Voda	kg.m ⁻³	129	131	131

(85 %), dále je zastoupen křemen (4,75 %) a mullit (7,4 %), stopově pak magnesioferit a hematit. Hlavními chemickými sloučeninami obsaženými ve škváře byly - SiO₂ (51,8 %), Al₂O₃ (22,6 %), CaO (4,4 %), Na₂O (1,8 %), K₂O (3,4 %) a FeO (7,9 %). Jako plnivo byl využit popílkový agloporit (viz Obr. 1) o max. velikosti zrna 4 mm a objemové hmotnosti 1514 kg/m³. Vzhledem k surovinám použitým pro výrobu agloporitu obsahuje toto lehké kamenivo zejména mullit. Potenciálně výhodné vlastnosti, které agloporit předurčují pro aplikace do malt s předpokládanou teplotní odolností, jsou doloženy např. Černým [6]. Dále byla aplikována polymerní přísada pro zlepšení přilnavosti v čerstvém stavu, dále soudržnosti jakož i modulu pružnosti finální hmoty. Složení receptur je uvedeno v následující tabulce (viz Tab. 1). Při výrobě směsí bylo nutné agloporit saturovat vodou, kdy byl zvolen stupeň sycení 0,9 (45 % vody z hmotnosti agloporitu). Množství záměsové vody bylo optimalizováno tak, aby bylo dosaženo konzistence rozlití cca 160 mm.

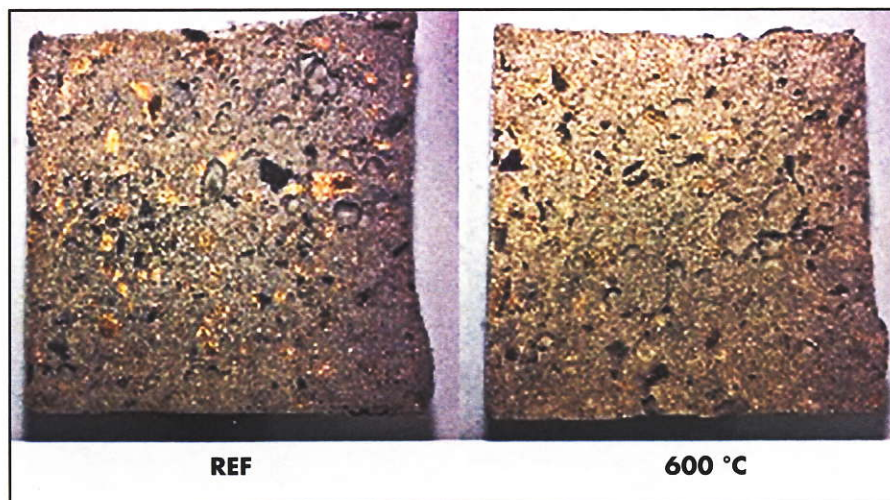
Zkušební tělesa byla nejprve exponována v pozorovací peci až do maximální teploty, při které začínalo docházet k narušování struktury. Teplotní nárůst probíhal při 35 °C/min. Do pozorovací pece byla připravena zkušební tělesa tvaru krychle o hraně 20 mm. Dále proběhla teplotní expozice těles tvaru hranolu o rozměrech 40×40×160 mm při teplotách 22, 600, 1000 a 1200 °C. Chlazení probíhalo



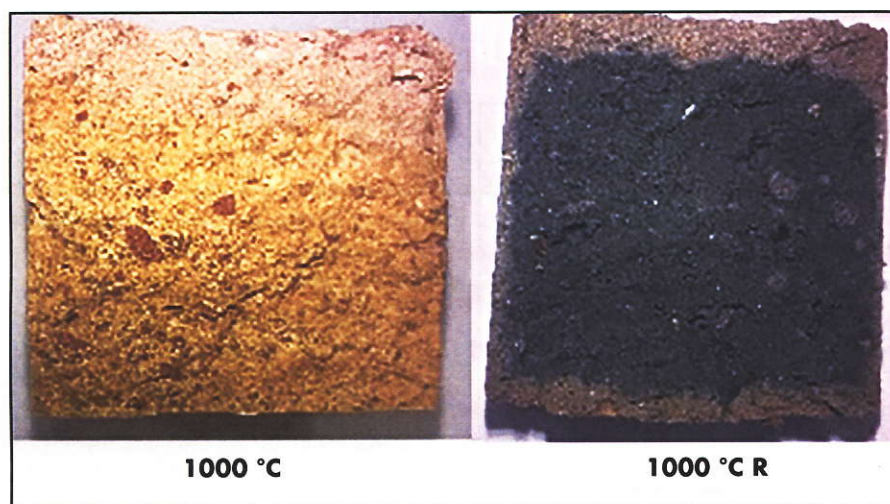
Obr. 2: Vybrané snímky z pozorovací pece - malta L30 (z leva - 800 a 1000 °C)



Obr. 3: Vybrané snímky z pozorovací pece - malta L30 (z leva - 1200 a 1256 °C)



Obr. 4: Malta L30 před a po teplotním zatížení; na snímcích lomové plochy po provedení stanovení ohybové pevnosti



Obr. 5: Malta L30 před a po teplotním zatížení; na snímcích lomové plochy po provedení stanovení ohybové pevnosti (1000 °C R - šokové chlazení vodou)

pozvolně v pecích o řízeném poklesu 1 °C/min. Pouze v případě teploty 1000 °C bylo realizováno i chlazení vodním šokem, tj. ponořením do vodní lázně o teplotě cca 18 °C. Na všech tělesech byly následně stanoveny objemové hmotnosti, pevnost v tlaku (EN 12190) a tahu za ohybu (EN 196-1). Vybraná tělesa byla podrobena i fyzikálně-chemickým analýzám (XRD) a posouzení mikrostruktury (SEM).

VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE

Testováním malt v pozorovací peci byly stanoveny maximální teploty, při kterých docházelo k výraznějším změnám. Nejvyšší teplotě odolala hmota L25, což souvisí zejména s chemickým složením škváry, která obsahuje vyšší množství FeO a alkálií.

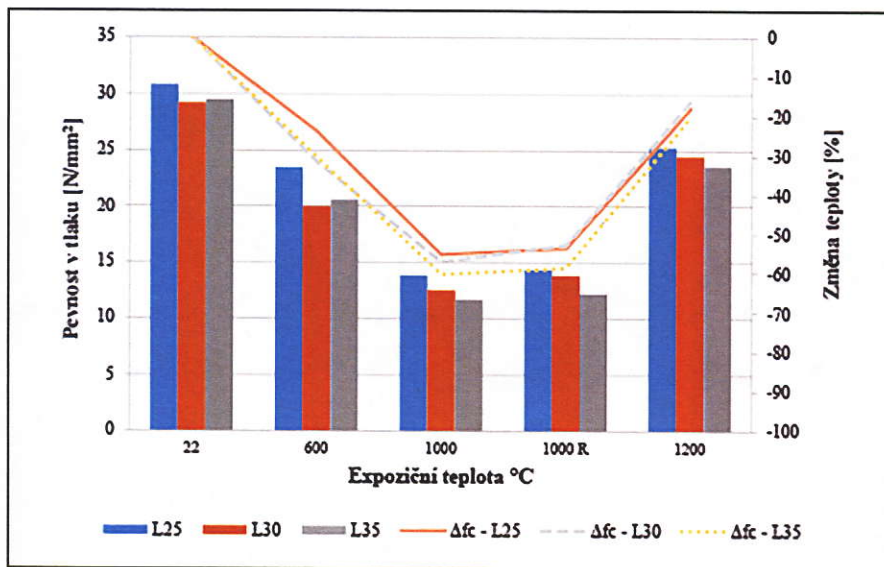
Malta L25 odolala teplotě 1262 °C, L30 teplotě 1243 °C a L35 teplotě 1237 °C. Dále byly vizuálně posouzeny změny zkušebních těles (pro testování fyzikálně-mechanických charakteristik) po teplotní expozici. Níže na obrázcích je vybrána malta L35 (viz Obr. 3). Lze konstatovat, že byly zaznamenány obdobné změny a v prakticky totožném měřítku u všech testovaných receptur. Především byly identifikovány změny barevného odstínu, což bylo zajímavé pozorovat na lomových plochách (po stanovení ohybové pevnosti). Nejvíce se projevilo šokové chlazení z teploty 1000 °C, kdy došlo vlivem fázových (či chemických) změn k vytvoření tmavého jádra. Trhliny či odprýskání povrchových partií na zkušebních tělesech nebyly identifikovány.

Objemová hmotnost teplotně nezatížených těles se pohybovala kolem

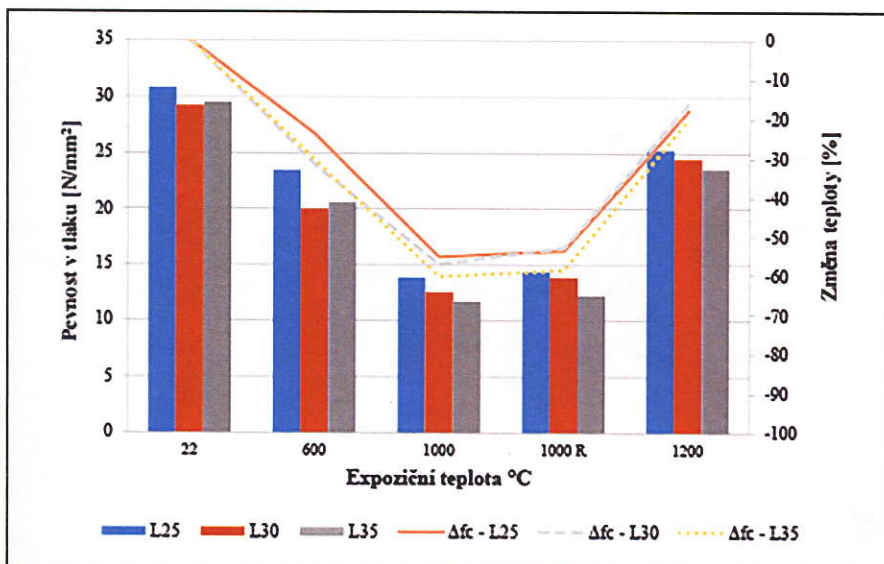
hodnoty 1540 kg/m³. Nebyly zaznamenány výrazné rozdíly mezi testovými recepturami a to ani z hlediska teplotní expozice. Po zatížení teplotou 1000 °C s následným pozvolným chlazením byly evidovány nejvyšší hodnoty poklesu, a to cca 12 %.

Teplotně neexponované hmoty dosahovaly pevnosti v tlaku kolem hodnoty 30 N/mm². Největší rozdíly mezi jednotlivými recepturami byly zaznamenány po teplotní expozici - 600 °C. Při rychlém chlazení byly zaznamenány nižší poklesy pevnosti v tlaku. Při 1,200 °C byl již patrný výrazný nárůst pevnosti v tlaku, což svědčí o spékání matrice. Toto potvrzují i výsledky analýz škváry, která obsahuje zvýšené množství FeO a alkálií. Nejméně teplotě odolná se z hlediska pevnosti v tlaku jeví receptura L35, přičemž poklesy pevností malt L25 a L30 jsou velmi podobné (viz Obr. 6). Poklesy pevnosti v tlaku se v případě L25 a L30 pohybovaly kolem 53%, což lze hodnotit jako enormně dobrý výsledek pro tento typ hmot. Ohybová pevnost teplotně nezatížených malt se pohybovala kolem hodnoty 7 N/mm² (viz Obr. 7). Při porovnání s pevností v tlaku byl identifikován odlišný průběh křivek poklesu ohybových pevností - nebyl zaznamenán tak výrazný úbytek ohybové pevnosti při expozici 600 °C. Zcela naopak se projevil vliv rychlého chlazení, kdy byly zaznamenány výraznější úbytky ohybové pevnosti. Naopak výraznější nárůst ohybové pevnosti v porovnání s namáháním tlakem byl zaznamenán po vystavení malt teplotě 1200 °C. Tato skutečnost indikuje fakt, že docházelo ke spékání matrice (příp. matrice a kameniva), kdy vznikají vazby keramické, jež nahrazují vazby hydraulické.

V případě všech tří typů testovaných malt byly identifikovány minerály typické pro kompozity na bázi silikátové matrice a dále agloporit. Konkrétně byl identifikován - portlandit, křemen, kalcit, anortit, mullit, stopové ettringit, stopové belit, hemilit a amorfni fáze. Při zvyšujícím se množství škváry byl patrný mírný nárůst zvýšeného pozadí difrakčních křivek, což je charakteristické pro amorfni fáze. V tomto případě se jednalo o CSH fáze a dále pak případně nezreagovanou škváru. Při expozici malt při teplotě 600 °C se snižovaly intenzity piků zejména portlanditu, byl rozložen případný ettringit a proběhla



Obr. 6: Pevnost v tlaku zkoumaných lehkých polymercementových malt



Obr. 7: Pevnost v tahu za ohybu zkoumaných lehkých polymercementových malt

druhá fáze rozkladu kalciumhydrosilikátů, tj. CSH gelů (znatelné především u hmoty L25). Druhá fáze rozkladu CSH gelů byla potvrzena vznikem belitu β - C_2S . Na základě vyšších píků β - C_2S u hmot L25 a L30 lze usuzovat na příznivější ovlivnění tvorby CSH fází právě při dávce škváry do 30 %. Při 1000 °C byl identifikován v případě některých vzorků také larnit a došlo k rozkladu kalcitu. Ve vzorcích chlazených vodním šokem po namáhání teplotou 1000 °C byl identifikován kalcit, což jednoznačně potvrzuje jeho rehydrataci na $Ca(OH)_2$.

Při analyzování mikrostruktury byla pozornost věnována jednak tvorbě trhlin v matici či případně v kontaktní zóně agloporitu a matrice. Tyto trhliny by mohly způsobit jednak rozdílné obje-

mové změny pórovitého kameniva a matrice, dále pak případná rehydratace rozloženého kalcitu na $Ca(OH)_2$. Jak je patrné z následujících snímků (viz Obr. 8 a 9) struktura malty je kompaktní a to i po expozici při 1000 °C. Z níže uvedených snímků je patrné, že vliv různého chlazení z teploty 1000 °C se prakticky neprojevil vznikem poruch - zejména trhlin. Kontaktní zóna kameniva a matrice rovněž nejeví známky poruch. Odlišně lze charakterizovat změnu struktury malty při 1200 °C. Po expozici při této nejvyšší teplotě došlo ke spečení matrice, dále matrice a kameniva. Kamenivo jako takové zůstalo bez známek změny struktury, což potvrzují i zjištění uvedená v [6], kdy je patrná odolnost až do 1400-1500 °C (v závislosti na typu použitých surovin).

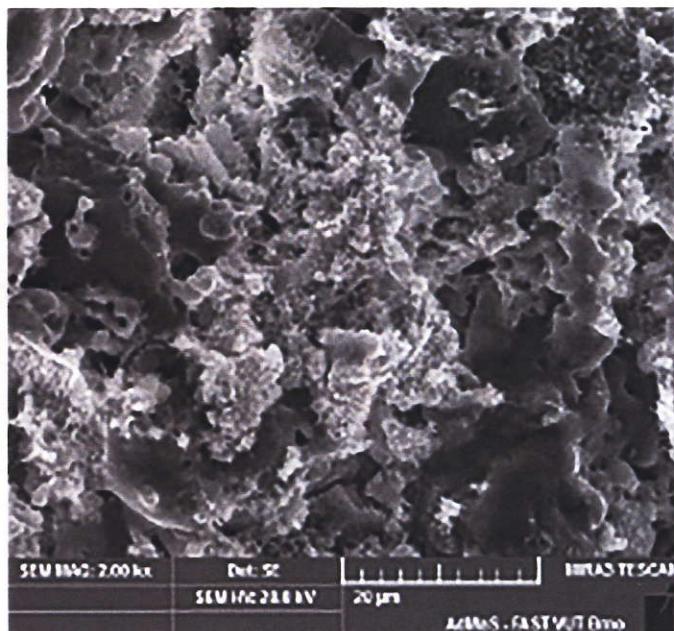
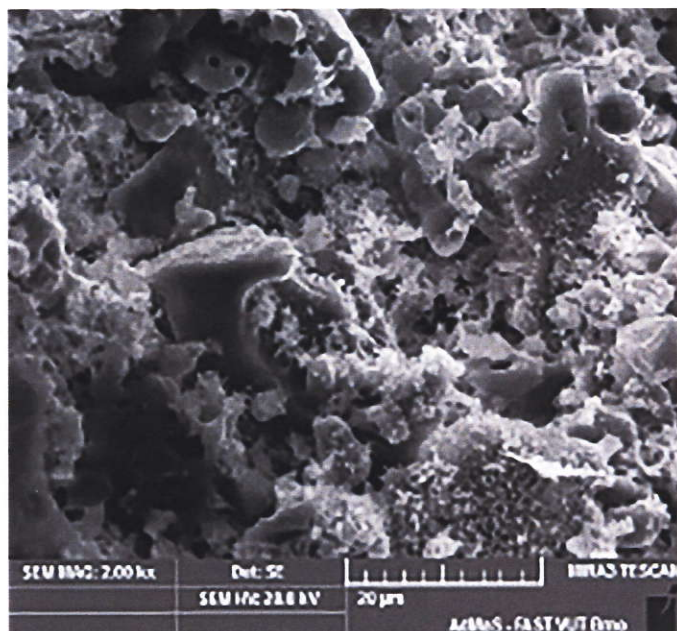
ZÁVĚR

S ohledem na dosažené výsledky je evidentní, že byla vyrobena a analyzována environmentálně šetrná a také i ekonomicky nenáročná malta, která se vyznačuje velmi dobrou odolností vůči působení extrémních teplot, tj. až 1200 °C. Jako optimální pro další výzkum a případné komerční využití se jeví varianta lehké malty L30. Matrice byla v tomto případě modifikována v množství 30 % jemně mletou teplárenskou škvárou, která nahradila primární složku - cement. Kamenivo bylo použito pouze z netradičních surovinových zdrojů (tj. 100 %) a to konkrétně popílkový agloporit. Toto lehké kamenivo je vyráběno samovypalem z popílků. Receptura L30 při vhodné optimalizaci a ověření trvanlivosti, příp. ošetření povrchu vykazuje vysoký potenciál jako správková hmota v oboru sanací železobetonových konstrukcí (malta třídy R3). Aplikace malty L30 by byla vhodná především do podmínek se zvýšeným rizikem vzniku požáru či prostředí vyznačující se stabilně zvýšenými teplotami. Reziduální pevnosti v tlaku dosahují po vystavení teplotě 1000 °C s následným šokovým chlazením cca 14 N/mm² (47 % původní hodnoty), což lze charakterizovat za velmi dobrý výsledek. Nicméně odolnost malty je limitována teplotou cca 1250 °C, kdy dochází k již znatelnému tavení hmoty (dominantně matrice).

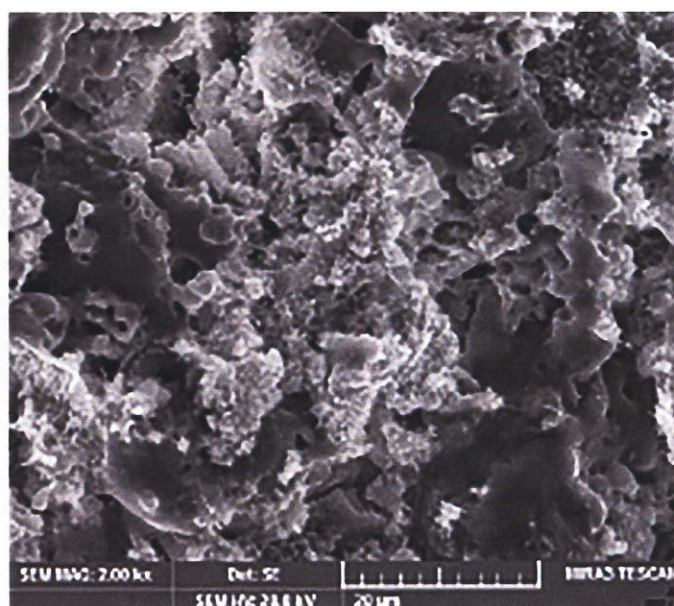
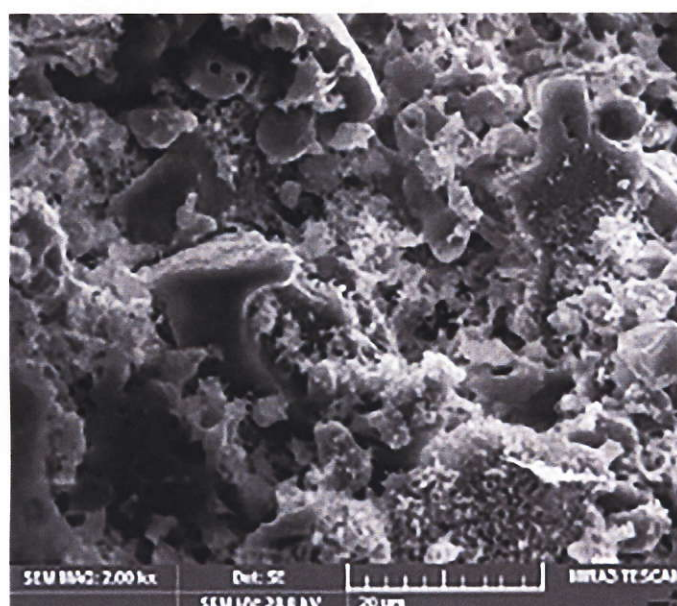
Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 "AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie" podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

LITERATURA

- [1] H. Y. Wang: The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS, Cement and Concrete Composites, Volume 30, Issue 10 (2008), p. 992-999.
- [2] K. M. Anwar Hossain: High strength blended cement concrete incorporating volcanic ash: Performance at high temperatures, Cement and Concrete Composites, Volume 28, Issue 6 (2006), p. 535-545.



Obr. 8: Mikrostruktura malty s pojivem substituovaným škvárou v množství 30 %, po vystavení teplotě 1000 °C, zvětšení 2000x.



Obr. 9: Mikrostruktura malty s pojivem substituovaným škvárou v množství 30 %, po vystavení teplotě 1000 °C, zvětšení 10 000x.

- [3] S. Donatello, C. Kuenzel, A. Palomo, A. Fernández-Jiménez: High temperature resistance of a very high volume fly ash cement paste, *Cement and Concrete Composites*, Volume 45 (2014) p. 234-242.
- [4] I. Türkmen, S. B. Findik: Several properties of mineral admixed lightweight mortars at elevated temperatures, *Fire and Materials*, 37 (5) (2013), p. 337-349.
- [5] F. Koksall, O. Gencel, M. Kaya: Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures, *Construction and Building Materials*, Volume 88 (2015), p. 175-187.

- [6] V. Černý: Quality of the structure of ash bodies based on different types of ash. *Materiali in Tehnologije*. 49 (4) (2015), p. 601-605.

Ing. Tomáš Melichar, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie
stavebních hmot a dílců
Veveří 331/95, 602 00 Brno
melichar.t@fce.vutbr.cz
www.fce.vutbr.cz

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav
technologie stavebních hmot a dílců
bydzovsky.j@fce.vutbr.cz

Ing. Āmos Dufka, Ph.D.

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav
technologie stavebních hmot a dílců
dufka.a@fce.vutbr.cz

Ing. Lenka Vavrušková, Ph.D.

Výzkumný ústav stavebních hmot,
a.s. Hněvkovského 30/65, 617 00
Brno
vavruskova@vustah.cz
www.vustah.cz

Článek byl recenzován