

## ODOLNOST VÁPENNÝCH OMÍTEK MODIFIKOVANÝCH PUCOLÁNY PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN

### Resistance of lime plasters modified by pozzolana against crack propagation

**Zbyněk Keršner<sup>1</sup>, Pavla Rovnaníková<sup>2</sup>, Pavel Schmid<sup>3</sup>**

*The paper deals with results of fracture experiments on specimens of lime mortars of different composition modified by pozzolana. The determination and comparison of mechanical/fracture parameter values such as volume density, compressive strength, elasticity modulus, effective fracture toughness, and fracture energy are presented.*

#### Úvod

Omítky na bázi vzdušného vápna mají nízkou odolnost proti mechanickému namáhání, kterou lze zvýšit přidávkem pucolánových nebo hydraulických příměsí [1]. Pro obnovu fasád historických objektů, a to jak doplňky stávající malty, nebo náhrada chybějící či rozpadající se malty, je vhodné použít pucolánovou příměs. V poslední době je věnována pozornost metakaolinu, který se vyrábí kalcinací kaolinu při teplotě okolo 750 °C. Metakaolinit, který tvoří podstatnou část metakaolinu, reaguje s vápnem za tvorby hydratovaných křemičitanů a hlinitanů vápenatých. Tyto složky zřejmě zajišťují maltám a omítkám vyšší hodnoty pevnosti, resp. delší životnost [2], která souvisí s množstvím mikro/trhlin vznikajících z různých důvodů. Pro nově koncipované malty pro omítání je proto vhodné stanovit

---

<sup>1</sup>KERŠNER Zbyněk, doc. Ing., CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, kersner.z@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup>ROVNANÍKOVÁ Pavla, prof. RNDr., CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, rovnanikova.p@fce.vutbr.cz

<sup>3</sup>SCHMID Pavel, Ing. Ph. D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, schmid.p@fce.vutbr.cz

lomově-mechanické parametry, které umožňují kvantifikovat odolnosti proti šíření trhlin. Touto problematikou se zabývá i tento příspěvek.

### **Zkušební tělesa**

Pro určení hodnot lomově-mechanických parametrů byla vyrobena zkušební tělesa s nominálními rozměry 40×40×160 mm z vápenných malt s různými druhy pucolánů. Druh pucolánu v maltách uvádí Tab. 1, přičemž hmotnostní díly vápna a pucolánu byly ve všech případech 2,08 a 0,48 k 7,5 dílům písku. Po 28 dnech uložení v běžných laboratorních podmínkách (50±5 % R. H., 21±1 °C) byla tělesa opatřena uprostřed délky zářezem (koncentrátorem napětí) hloubky 13 mm.

*Tab. 1 Druh pucolánu v maltách*

Označení vzorků	VPM2	VPM9	VPM10	VPM11	VM29
Druh pucolánu Mefisto	K05	L10	L05	L03	–

### **Lomové testy**

Ke zkouškám výše zmíněných těles sloužil mechanický lis Heckert FPZ 100/1. Zatěžování zkušebních vzorků probíhalo spojitě za konstantního přírůstku průhybu uprostřed rozpětí. Diagramy zatížení–posun (průhyb uprostřed rozpětí), tzv. I–d diagramy, byly zaznamenávány pomocí měřicí ústředny HBM SPIDER 8. K vyhodnocení těchto diagramů byla užitá metoda efektivního prodloužení trhliny, která umožňuje v použité úpravě získat (vedle odhadu hodnoty statického modulu pružnosti z přibližně lineární úvodní pasáže I–d diagramu) řadu veličin, kvantifikujících různým způsobem odolnost materiálu těles proti šíření trhliny – např. efektivní prodloužení trhliny, efektivní lomovou houževnatost, efektivní houževnatost či specifickou lomovou energii [3–7]. U všech těles byla také určována hodnota objemové hmotnosti a na zlomcích po lomových experimentech informativní hodnota pevnosti v tlaku.

### **Výsledky**

Přehled výsledků zkoušek těles pěti vyšetřovaných malt uvádí Tab. 2. Výsledky jsou prezentovány ve formě aritmetických průměrů hodnot sledovaných vlastností (určovaných zpravidla ze tří měření, pouze v případě vzorků malt VPM2 se jednalo o čtyři měření); proměnlivost jednotlivých měření uvádějí příslušné variační koeficienty (COV).

V Tab. 3. jsou tyto informace shrnuty v podobě relativních hodnot aritmetických průměrů sledovaných parametrů, přičemž se výsledky

vztahují vždy k průměrným hodnotám získaným u vzorků malty bez pucolánu (VM29).

*Tab. 2: Vybrané lomově-mechanické parametry malt: průměr (COV v %)*

	VPM2	VPM9	VPM10	VPM11	VM29
Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	1682 (1,3)	1722 (1,0)	1742 (0,4)	1747 (0,6)	1744 (1,1)
Pevnost v tlaku (zlomky) [MPa]	4,1 (11,2)	2,7 (9,9)	2,7 (5,2)	5,6 (2,0)	0,76 (10,5)
Statický modul pružnosti [GPa]	5,5 (16,4)	5,4 (10,6)	6,1 (10,7)	6,2 (27,2)	2,4 (21,9)
Efektivní lomová houževnatost [MPa.m <sup>1/2</sup> ]	0,082 (27,8)	0,086 (20,2)	0,092 (17,8)	0,204 (18,3)	0,031 (10,3)
Specifická lomová energie [J.m <sup>-2</sup> ]	6,0 (23,8)	11,6 (14,7)	11,5 (11,1)	53,9 (13,3)	3,6 (15,7)

*Tab. 3: Relativní [-] průměrné hodnoty parametrů malt (1,0 ... VM29)*

	VPM2	VPM9	VPM10	VPM11
Objemová hmotnost	0,96	0,99	1,00	1,00
Pevnost v tlaku (zlomky)	5,39	3,55	3,55	7,37
Statický modul pružnosti	2,29	2,25	2,54	2,58
Efektivní lomová houževnatost	2,65	2,77	2,97	6,58
Specifická lomová energie	1,67	3,22	3,19	14,97

## Závěry

Vyhodnocení odezvy sad těles pěti studovaných malt prokázalo očekávané obecně značně křehké chování. Ve všech případech však způsobil přidavek pucolánu značné zhouževnatění materiálů: z hlediska efektivní lomové houževnatosti šlo o více než 2,5násobek (VPM2) až 6,5násobek oproti referenční maltě (VM29), z hlediska specifické lomové energie o více než 1,5násobek (VPM2) až dokonce zhruba 15násobek (VM11). Podle informativních hodnot tlakové pevnosti lze také jako mnohem odolnější hodnotit vzorky malt s pucolány oproti srovnávací vápenné: VPM11 více než 7x, VPM2 více než 5x a VPM9, resp. VPM10 přes 3,5x. Pucolány způsobily také ztužení materiálu, hodnoty statických

modulů pružnosti však byly tentokrát prakticky vyrovnané – zvýšení činilo asi 2,3 (VPM2, VPM9) až 2,6 násobky (VPM11) hodnot oproti vzorkům vápenné malty.

Lze uzavřít, že přídavek pucolánu způsobil u materiálu těles ze všech studovaných malt stáří 28 dní značné zvýšení odolnosti proti mechanickému namáhání včetně šíření trhlin.

*Prezentované výsledky byly získány za finanční podpory grantu GA ČR 103/09/0780, přičemž bylo částečně využito výsledků projektu MŠMT 1M06005 (centrum CIVAK).*

## Literatura

- [1] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002, 92 stran, ISBN 80-866657-00-0.
- [2] FRÍAS, M., CABRERA, J. Influence of MK on the reaction kinetics in MK/lime and MK-blended cement system at 20 °C. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 4, 2001, 519-527.
- [3] FRANTÍK, P., KERŠNER, Z. Vyhodnocení lomového experimentu s katastrofickou ztrátou stability. In *Staticko-konštrukční a stavebnofyzikální problémy stavebných konstrukcí*. Štrbské Pleso, 141–142, ISBN 80-8073-677-4 (sborník abstraktů) a ISBN 80-8073-678-2 (CD), 2006.
- [4] KARIHALOO, B. L. *Fracture mechanics of concrete*. Longman Scientific & Technical, New York, 1995.
- [5] RILEM TC-50 FMC (Recommendation, 1985) Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend test on notched beams. *Materials & Structures*, Vol. 18, 285–290.
- [6] STIBOR, M. *Lomové parametry betonu a jejich určování*. Disertační práce, Brno:STM FAST VUT v Brně, Brno, 2004.
- [7] VESELÝ, V. *Parametry betonu pro popis lomového chování*. Disertační práce, Brno:STM FAST VUT v Brně, 2004.