



národní
úložiště
šedé
literatury

Příprava omítky se zvýšenou mrazuvzdorností pro opravy historických staveb

Slížková, Zuzana
2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-200925>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 17.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Název metodiky: Příprava omítky se zvýšenou mrazuvzdorností pro opravy historických staveb

Dedikace: NAKI DF11P01OVV008 „Vysokohodnotné a kompatibilní vápenné malty pro extrémní aplikaci při restaurování, opravách a preventivní údržbě architektonického dědictví“

Autoři výsledku: Ing. Zuzana Slížková Ph.D., Mgr. Dita Frankeová, Mgr. Cristiana Lara Nunes Paulos, Mgr. Dana Janotová, Bc. Petra Hauková

Název vlastníka výsledku: Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.
Prosecká 76, 190 00 Praha 9, IČ 68378297, DIČ CZ68378297.

ev. číslo: ÚTAM-NAKI 008-2015

PŘÍPRAVA OMÍTKY SE ZVÝŠENOU MRAZUVZDORNOSTÍ PRO OPRAVY HISTORICKÝCH STAVEB

Metodika je výsledkem projektu MK ČR NAKI DF11P01OVV008 s názvem „Vysokohodnotné a kompatibilní vápenné malty pro extrémní aplikaci při restaurování, opravách a preventivní údržbě architektonického dědictví“.

Autoři: Ing. Zuzana Slížková Ph.D., Mgr. Dita Frankeová, Mgr. Cristiana Lara Nunes Paulos, Mgr. Dana Janotová, Bc. Petra Hauková

Oponenti:

Ing. Petr Justa

Mgr. Art. Luboš Machačko

Anotace

Metodika uvádí základní informace pro použití vápeno-metakaolinových omítek, vyznačujících se zvýšenou odolností vůči mrazovým cyklům. Je určena restaurátorům, projektantům, technologům a pracovníkům památkové péče pro využití při návrhu a provádění obnovy omítek na historických konstrukcích v nepříznivých klimatických podmínkách. Metodika předkládá informace o specifických vlastnostech vápenometakaolinových omítek, které jsou modifikovány hydrofobní přísadou (lněným olejem) za účelem prodloužení životnosti omítky.

Klíčová slova

vápenná omítka, vápenometakaolinová omítka, vnitřně hydrofobní vápenná omítka, sanace, oprava, olej

I. Cíl metodiky

V současné době se pro omítání historických zdí používá řada suchých maltových směsí nebo staveništních malt, v nichž je pojivo nejčastěji zastoupeno cementem, vápenným hydrátem nebo jejich kombinací. Problémem vyžadujícím speciální technické řešení je složení omítek pro historické konstrukce vystavené zvláště drsným povětrnostním podmínkám (fasády a zdiva silně zatížená vodou, mrazem a průnikem vodorozpustných solí). Pro opravu většiny historických staveb nejsou vhodným řešením cementové malty z hlediska nízké paropropustnosti (prodyšnosti), příliš vysoké pevnosti, modulu pružnosti a obsahu vodorozpustných solí v cementu vzhledem k vlastnostem historického zdiva. Z hlediska kompatibility s historickým zdivem jsou upřednostňovány malty vápenné, případně v místech více exponovaných vodě a mrazu malty pojené přirozeně hydraulickým vápnem nebo směsným hydraulickým vápnem (s využitím hydraulické nebo pucolánové příměsi ke vzdušnému bílému vápnu).

V posledním desetiletí jsou v oblasti stavební obnovy historických konstrukcí používané vápenné omítky modifikované metakaolinem, protože metakaolin je v ČR relativně snadno dostupný a je účinnou pucolánovou přísadou. Vápenné malty modifikované metakaolinem dosahují vyšších pevností, zrají rychleji, mají vyšší odolnost vůči poškození mrazem a solemi, přičemž si zachovávají dostatečnou pórovitost a paropropustnost, typickou pro vápenné materiály.

Odolnost a životnost vápenných ani vápenometakaolinových omítek na stavbách zatížených zvýšenou vlhkostí a solemi není dostatečná. Přestože pracovníci památkové péče doporučují na prvním místě provést řadu stavebních opatření (drenáže, odvodnění střechy atd.) pro snížení obsahu vlhkosti a solí v konstrukci, v některých případech je vhodným řešením aplikace speciální omítky na problematické oblasti zdiva. Jednou z možností, jak připravit takovou maltu, je úprava jejího složení vodoodpudivou přísadou (Čechová et al., 2010; Ventolà et al., 2011; Nunes et al., 2014).

Metodika si klade za úkol navrhnout složení a postup přípravy vápenometakaolinové omítky s vysokou mrazuvzdorností a odolností vůči krystalizaci solí a zajistit tak delší životnost omítek při popsáných nepříznivých podmínkách expozice historické stavby.

II. Popis metodiky

II.1. Podstata mrazuvzdornosti omítky

Podstatou vyšší mrazuvzdornosti vápenopucolánové malty je optimalizace její porézní struktury a snížení nasákavosti (v důsledku změny povrchového napětí mezi vodou a stěnami pórů malty). Přimícháním oleje do malty při její přípravě se dosáhne změny fyzikálně-chemických vlastností zatvrdlé malty - snížení kapilární nasákavosti, vzniku velkých kulovitých pórů, snížení povrchové energie a zlepšení mechanických vlastností. Po smísení všech složek malty dochází k reakci oleje s hydroxidem vápenatým, což má za následek vznik bublin a následně zvýšení obsahu vzduchu v čerstvé maltě o 45% vzhledem k maltě bez přídavku oleje. Obsah vzduchu v maltě s přísadou oleje je srovnatelný s hodnotami malt s jinými provzdušňujícími přísadami (Lenartem, 2013). Omezením množství vody proniklé do omítky je výrazně sníženo riziko jejího poškození mrazem. Omítka upravená hydrofobní přísadou má tak delší životnost a zároveň je funkční ochranou zdiva před degradačními účinky pronikající vody. Obsah hydrofobní přísady - nerafinovaného lněného oleje - v maltové směsi je 1,5 % hm. z hmotnosti pojiva malty. Lněný olej jako přírodní látka nezatěžuje životní prostředí a současně má srovnatelné účinky na vlastnosti malty jako moderní syntetické hydrofobní prostředky (Izaguirre et al. 2009; Vejmelková a kol. 2012).

II.2. Příprava malty na staveništi

Složkami pro přípravu malty na staveništi jsou: maltový písek (se spojitou křivkou zrnitosti), vápenný hydrát CL 90 (s velikostí zrn v rozmezí 0-63 μm), metakaolin (s velikostí zrn v rozmezí 0-10 μm), lněný olej (čirý, neupravený) a čistá voda. Tab. 1 uvádí příklady jednotlivých složek malty a jejich výrobců. Poměry jednotlivých složek v maltě pro jádrovou a štukovou vrstvu omítky jsou uvedeny v Tab. 2. Velikost zrn písku je různá podle požadované struktury omítky. Obecně platí, že pro jádrovou omítku se používá hrubší písek (obvykle frakce 0-4mm) a pro vrchní štukovou omítku jemný písek (frakce 0-0,5 mm).

Tab. 1. Příklady složek vápeno-metakaolinové malty s přísadou oleje.

Složka	Výrobce
Vápenný hydrát CL90 Čert'ák	Čertovy schody, a.s.
Metakaolin Mefisto L05	ČLUZ s.r.o.
Maltový písek (frakce 0 - 4 mm)	Straškov
Lněný olej nerafinovaný	GRAC s.r.o.

Zásadním požadavkem při přípravě vápenometakaolinové malty se lněným olejem na staveništi je zajištění důsledné homogenizace oleje ve hmotě malty. Proces homogenizace malty a následné přípravy omítky by měl být následující:

1) Suché složky -vápenný hydrát, metakaolin a písek - se promíchají v míchačce. Míchání všech složek probíhá při nízké rychlosti 2 minuty. Množství připravované v jedné dávce by nemělo přesáhnout 50 l.

2) Část promíchané suché směsi se oddělí do jiné nádoby (asi 10 obj.%). Do této menší nádoby se přidá celková dávka oleje a směs se důkladně míchá ručně lžící asi 3 minuty, tak, že výsledná směs neobsahuje žádné hrudky. Přidá se další dávka suché směsi (asi 10 obj.%) a směs se opět důkladně míchá lžící asi 3 minuty. Takto připravená směs se zapracovaným olejem se vrátí ke zbytku suché směsi do míchačky a směs se znovu promísí v míchačce při nízké rychlosti 2 minuty.

3) Přidá se voda a čerstvá maltová směs se míchá po dobu asi 2 min.

4) Na zvlčený podklad (zkropený vodou) se aplikuje první (jádrová) vrstva omítky.

5) Druhá (štuková) vrstva omítky se aplikuje po uplynutí intervalu alespoň 24 hodin. Doba mezi aplikací první a druhé vrstvy závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu.

6) Je důležité dodržovat technologickou přestávku mezi aplikací jednotlivých vrstev a teplotní režim během omítání - teplota vzduchu a podkladu pro omítku nesmí klesnout pod +5 °C a naopak by neměla přesáhnout 30 °C (z důvodu rychlého odpařování záměsové vody při vyšších teplotách). Před nanášením omítky musí být podklad zbavený prachu a nesoudržných vrstev. Použití podhozu je vhodné u nehomogenních či slabě nasákových podkladů.

Tab. 2. Složení vnitřně hydrofobní vápenometakaolinové malty.

Vrstva omítky	Poměr pojivo: písek (objemově)*	Poměr pojivo: písek (hmotnostně)	Pojivo Poměr metakaolin: vápenný hydrát (hmotnostně i objemově)	Poměr voda/pojivo (hmotnostně)	Obsah oleje
Jádrová	1:2,5	1:8	1:3	0,65	1,5% z hmotnosti pojiva
Štuková	1:1	1:3,4	1:3	7,8	1,5% z hmotnosti pojiva

* pro přepočítání objemových dílů na hmotnostní byly použity následující hodnoty objemové hmotnosti složek: vápenný hydrát 0,46 kg/l; metakaolin 0,48 kg/l; písek 1,59 kg/l

Obecné zásady pro přípravu staveništních malt na bázi vzdušného vápna uvádějí související předpisy zejména Směrnice WTA 2-7-01/D Vápenné omítky v památkové péči.

II.3. Vlastnosti vnitřně hydrofobní vápenometakaolinové malty

Vlastnosti čerstvé a zatvrdlé vápenometakaolinové malty ve variantách bez oleje a s obsahem oleje (zkoušky byly provedené na zkušebních hranolech (40x40x160 mm) připravených v laboratoři, po 180 dnech zrání malty při kontrolovaných podmínkách: relativní vlhkost vzduchu 60 ± 10% a teplota 20 ± 5 °C) jsou uvedeny v Tab.3. Zkoušky byly provedeny dle dostupných norem uvedených v Seznamu použité literatury.

Tab. 3: Složení a vlastnosti čerstvé a zatvrdlé vápenometakaolinové malty bez oleje a s obsahem oleje (1,5% z hmotnosti pojiva). Hodnoty odpovídají průměru ze tří vzorků (\pm standardní odchylka), u mechanických vlastností průměru z pěti vzorků.

Označení malty	Vápenometakaolinová bez oleje	Vápenometakaolinová se lněným olejem
Obsah oleje vůči pojivu (hm.%)	0	1.5
Obsah vzduchu v čerstvé maltě (obj.%)	2.2 (± 0.1)	4.0 (± 0.1)
Celková pórovitost (obj.%)	32.9 (± 0.8)	36.1 (± 1.3)
Nasákavost za 48 h (hm. %)	18.2 (± 0.1)	9.0 (± 0.3)
Koef.kapil.nasák. ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1/2}$)	11.4 (± 0.8)	2.5 (± 0.5)
Koeficient rychlosti vysychání	0.53 (± 0.03)	0.57 (± 0.02)
Pevnost v tahu za ohybu (MPa)	1.3 (± 0.2)	1.5 (± 0.2)
Pevnost v tlaku (MPa)	5.0 (± 0.7)	5.5 (± 0.3)
Youngův modul (MPa)	737 (± 4)	661 (± 13)

Test mrazuvzdornosti byl proveden podle normy ČSN 72 2452. Referenční vápenometakaolinová malta bez oleje byla poškozena vlasovými trhlinami již po 2. mrazovém cyklu a po 10. mrazovém cyklu se trhliny rozšířily až do tloušťky přibližně 0,5 mm. Vnitřně hydrofobní malta s olejem byla poškozena až po 20. mrazovém cyklu vlasovými trhlinami. Vlasové trhliny se vyskytly pouze na bočních stranách zkušebních kvádrů, rovnoběžně s rovinou zhuštění. Pohledová plocha maltových těles nejevila po 20. mrazovém cyklu žádné známky poškození.

Zkouškou byla prokázána u vnitřně hydrofobní vápenometakaolinové malty s olejem vyšší odolnost vůči cyklickému působení vody a mrazu a lepší mechanické vlastnosti po dvaceti zmrazovacích a rozmrazovacích cyklech oproti referenční maltě stejného složení bez obsahu oleje.

II.4. Oblast použití

Významným funkčním faktorem pucolánové příměsi k vápennému pojivu je vytvoření pojiva na bázi směsného hydraulického vápna, které vykazuje kompromisní vlastnosti mezi vzdušným vápnem a cementem. Omítku je tak možné použít na zdivo, které je vystaveno trvalému nebo občasnému působení vody z vnějšku objektu (déšť a odstříkující voda apod.), kde vápenné malty bez pucolánové nebo hydraulické (cementové) příměsi nejsou dostatečně odolné. Jedná se především o horizontální povrchy architektonických prvků, místa kontaktu fasády se střechou objektu, okolí drenážních trubek apod.

II.5. Souhrn

Metodika uvádí složení a způsob přípravy porézní vápenometakaolinové omítky se sníženou nasákavostí, avšak dostatečně propustné pro vodní páru, bez obsahu cementu. Připravená čerstvá malta se aplikuje na zdivo standardními technikami a nanesená vrstva malty plní po svém zatvrdnutí funkci vnější omítky. Vnitřně hydrofobní vápenometakaolinová omítka s přísadou lněného oleje má při správném provedení delší životnost než jakákoli jiná vápenná omítka díky své nízké nasákavosti

vodou a vyšší mrazuvzdornosti a odolnosti vůči krystalizaci vodorozpustných solí. Je určena pro stavebnictví včetně oblasti obnovy historických staveb a památkových objektů. Z hlediska expozice je omítka vhodná na místa opakovaně zatěžovaná průnikem kapalné vody z vnějšího prostředí (průnikem zatékající vody, dešťové vody hnané deštěm nebo odstříkující vody). Voda pronikající z vnějšího prostředí do stavební konstrukce je nežádoucí z hlediska potenciálního mrazového poškození omítky a případně i zdiva pod omítkou. Pronikající voda je často kontaminovaná vodorozpustnými solemi, které přispívají k degradaci porézní malty a případně i zdiva krystalizačními a hydratačními tlaky při teplotních a vlhkostních změnách. Snížením nasákavosti omítky, ke kterému dochází díky obsahu lněného oleje v maltě, je rychlost průniku vody do omítky i celkové množství nasáknuté vody do omítky velmi nízké. Omítka upravená přísadou lněného oleje má tak delší životnost a zároveň je funkční ochranou zdiva před degradačními účinky pronikající vody.

III. Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, příp. jejich zdůvodnění, a jejich srovnání s postupy v zahraničí

Dosavadní praxe nevyužívá možnosti úpravy vlastností vápenné omítky pomocí provzdušňující hydrofobizační přísady a zároveň pucolánové příměsi k vápnu. V odborné literatuře existuje jen velmi málo studií, které se zabývají vlivem těchto přísad na vlastnosti vápenných malt (Sebrara *akol.* 2009, Paiva *a kol.* 2009, Izaguirre *a kol.* 2009). Výzkum účinků provzdušňujících a hydrofobizačních přísad doposud probíhal zejména s cílem jejich využití v betonech a cementových maltách. Žádná z odborných prací se nevěnuje vlivu hydrofobní přísady na vlastnosti vápenopucolánových malt.

IV. Uplatnění Certifikované metodiky – pro koho je určena a jak bude uplatňována (subjekty s kterými bude uzavřena smlouva o využití výsledku a jakým způsobem bude uplatněna)

Metodika je určena pro technology, restaurátory, řemeslníky v oboru opravy historických staveb, projektanty a pracovníky památkové péče.

Byla projednána smlouva o využití výsledku mezi vlastníkem výsledku, kterým je ÚTAM AV ČR, v. i. se sídlem Prosecká 76, 190 00 Praha 9, IČ:68378297, DIČ:CZ68378297 a uživateli výsledku, kterými jsou:

Štukatérství Lukáš Sýkora se sídlem Radlická 897/29, 150 00 Praha 5- Radlice, IČO:63809079 a Gema Art Group a. s. se sídlem Haštalská 760/27, 110 00 Praha 1, IČO:26437741, DIČ:CZ2643774.

V. Seznam použité související literatury

Arandigoyen M, Pérez Bernal JL, Bello López MA, Alvarez JI. Lime-pastes with different kneading water: pore structure and capillary porosity. *Appl Surf Sci* 2005; 252 (5): 1449-59.

Čechová, E.; Papayianni, I.; Stefanidou, M. 2010. Properties of lime-based restoration mortars modified by the addition of linseed oil. In: J. Válek, C. Groot, J.J. Hughes JJ (eds), *Proc. 2nd Historic Mortars Conference, 22-24 September 2010, Prague: RILEM*

Černý R, Drchalová J, Kunca A, Tydlilát V, Rovnaníková P. Thermal and hygric properties of lime plasters with pozzolanic admixtures for historical buildings. In: Vermeir GLG, Hens H, Carmeliet J, editors. *Proceedings Int. Conf. Building Physics, 2003*. p. 27-33.

Chandra, S. & Aavik, J. 1983. Influence of black gram (natural organic material) addition as admixture in cement mortar and concrete. *Cement and Concrete Research* 13 (3): 423–430.

- Falchi, L.; Müller, U.; Fontana, P.; Izzo, F.C.; Zendri, E. 2013. Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application. *Construction and Building Materials* 49: 272–280.
- Grilo J, Santos Silva A, Faria P, Gameiro A, Veiga R, Velosa A. Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Constr Build Mater* 2014; 51: 287-94.
- Izaguirre, A; Lanas, J.; Álvarez, J.I. 2009. Effect of water-repellent admixtures on the behavior of aerial lime-based mortars. *Cement and Concrete Research* 39: 1095-1104.
- Justnes, H.; Ostnor, T.A.; Vila, N.B. 2004. Vegetable oils as water repellents for mortars, Proc. 1st Int. Conf. Asian Concrete Federation, 28-29 October 2004. Chiang Mai: TCA.
- Lenart M. Impact assessment of lime additive and chemical admixtures on selected properties of mortars. *Proc Eng* 2013; 57: 687-96.
- Lu, Z.; Zhou, X.; Zhang, J. 1997. Study on the performance of a new type of water-repellent admixture for cement mortar. *Cement and Concrete Research* 34: 2015-19.
- Perkins P.H. 1986. Repair, protection and waterproofing of concrete structures. New York: Elsevier.
- Ruedrich J, Siegesmund S. Salt and ice crystallization in porous sandstones. *Environ Geol* 2007; 52: 225-49.
- Vries J., Polder R.B. 1997. Hydrophobic treatment of concrete. *Construction and Building Materials* 11 (4): 259-65.
- Ventolà, L.; Vendrell, M.; Giraldez, P.; Merino, L. 2011. Traditional organic additives improve lime mortars: new old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials* 25: 3313-18.
- Vejmelková E, Keppert M, Rovnaníková P, Keršner Z, Černý R. Properties of lime composites containing a new type of pozzolana for the improvement of strength and durability. *Composites: Part B* 2012a; 43: 3534-40.
- Vejmelková E, Keppert M, Rovnaníková P, Keršner Z, Černý R. Application of burnt clay shale as pozzolan addition to lime mortar. *Cem Concr Comp* 2012b; 34 (4): 486-92.
- Vejmelková E, Koňáková D, Cáchová M, Keppert M, Černý R. Effect of hydrophobization on the properties of lime–metakaolin plasters. *Constr Build Mater* 2012c; 37: 556–61.
- Vikan, H. & Justnes, H. 2006, Influence of vegetable oils on durability and pore structure of mortars. In: V.M. Malhotra (ed), Proc. Seventh CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete. May 28-June 3, Montreal: ACI.
- Zhu, Y-G.; Kou, S-C.; Poon C-S.; Dai J-G.; Li Q-Y. 2013. Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites* 35 (1): 32–38.
- ČSN 72 2452. Zkouška mrazuvzdornosti malty, 1968.
- ČSN-EN 1015-18. Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě, 2003.
- ČSN -EN 1015-11. Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku, 2000.
- ČSN -EN 1015-3. Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku), 1999.

ČSN-EN 1015-7 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě, 1999.

RILEM I. 5. Pore size distribution (mercury porosimeter), RILEM 25-PEM, *Matér Constr* 1980; 75 (13): 192-3.

RILEM II.1. Saturation coefficient, RILEM 25-PEM, *Matér Constr* 1980; 75 (13): 196-7.

Arandigoyen M, Pérez Bernal JL, Bello López MA, Alvarez JI. Lime-pastes with different kneading water: pore structure and capillary porosity. *Appl Surf Sci* 2005; 252 (5): 1449-59.

Čechová, E.; Papayianni, I.; Stefanidou, M. 2010. Properties of lime-based restoration mortars modified by the addition of linseed oil. In: J. Válek, C. Groot, J.J. Hughes JJ (eds), *Proc. 2nd Historic Mortars Conference, 22-24 September 2010, Prague: RILEM*

Černý R, Drchalová J, Kunca A, Tydlilát V, Rovnaníková P. Thermal and hygric properties of lime plasters with pozzolanic admixtures for historical buildings. In: Vermeir GLG, Hens H, Carmeliet J, editors. *Proceedings Int. Conf. Building Physics, 2003*. p. 27-33.

Chandra, S. & Aavik, J. 1983. Influence of black gram (natural organic material) addition as admixture in cement mortar and concrete. *Cement and Concrete Research* 13 (3): 423–430.

Falchi, L.; Müller, U.; Fontana, P.; Izzo, F.C.; Zendri, E. 2013. Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application. *Construction and Building Materials* 49: 272–280.

Grilo J, Santos Silva A, Faria P, Gameiro A, Veiga R, Velosa A. Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Constr Build Mater* 2014; 51: 287-94.

Izaguirre, A; Lanás, J.; Álvarez, J.I. 2009. Effect of water-repellent admixtures on the behavior of aerial lime-based mortars. *Cement and Concrete Research* 39: 1095-1104.

Justnes, H.; Ostnor, T.A.; Vila, N.B. 2004. Vegetable oils as water repellents for mortars, *Proc. 1st Int. Conf. Asian Concrete Federation, 28-29 October 2004. Chiang Mai: TCA*.

Lenart M. Impact assessment of lime additive and chemical admixtures on selected properties of mortars. *Proc Eng* 2013; 57: 687-96.

Lu, Z.; Zhou, X.; Zhang, J. 1997. Study on the performance of a new type of water-repellent admixture for cement mortar. *Cement and Concrete Research* 34: 2015-19.

Perkins P.H. 1986. *Repair, protection and waterproofing of concrete structures*. New York: Elsevier.

Ruedrich J, Siegesmund S. Salt and ice crystallization in porous sandstones. *Environ Geol* 2007; 52: 225-49.

Vries J., Polder R.B. 1997. Hydrophobic treatment of concrete. *Construction and Building Materials* 11 (4): 259-65.

Ventolà, L.; Vendrell, M.; Giraldez, P.; Merino, L. 2011. Traditional organic additives improve lime mortars: new old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials* 25: 3313-18.

Vejmelková E, Keppert M, Rovnaníková P, Keršner Z, Černý R. Properties of lime composites containing a new type of pozzolana for the improvement of strength and durability. *Composites: Part B* 2012a; 43: 3534-40.

Vejmelková E, Keppert M, Rovnaníková P, Keršner Z, Černý R. Application of burnt clay shale as pozzolan addition to lime mortar. *Cem Concr Comp* 2012b; 34 (4): 486-92.

Vejmelková E, Koňáková D, Cáchová M, Keppert M, Černý R. Effect of hydrophobization on the properties of lime–metakaolin plasters. *Constr Build Mater* 2012c; 37: 556–61.

Vikan, H. & Justnes, H. 2006, Influence of vegetable oils on durability and pore structure of mortars. In: V.M. Malhotra (ed), *Proc. Seventh CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*. May 28-June 3, Montreal: ACI.

Zhu, Y-G.; Kou, S-C.; Poon C-S.; Dai J-G.; Li Q-Y. 2013. Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites* 35 (1): 32–38.

ČSN 72 2452. Testing of frost resistance of mortar. (in Czech) Prague: Czechoslovak Standardization Institute, 1968.

NORMAL – 29/88, Misura dell'indice di asciugamento. Roma CNR/ICR (1991).

UNE-EN 1015-18. Methods of test for mortar for masonry, Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, 2003.

UNE-EN 1015-11. Methods of test for mortar for masonry, Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, 2000.

UNE-EN 1015-2. Methods of test for mortar for masonry, Part 3: Determination of consistency of fresh mortar 1999.

UNE-EN 1015-7. Methods of test for mortar for masonry, Part 7: Determination of air content of fresh mortar, 1999.

RILEM I. 5. Pore size distribution (mercury porosimeter), RILEM 25-PEM, *Matér Constr* 1980; 75 (13): 192-3.

RILEM II.1. Saturation coefficient, RILEM 25-PEM, *Matér Constr* 1980; 75 (13): 196-7.

VI. Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (případně výstupy z originální práce)

C. Nunes, Z. Slížková, D. Křivánková, D. Frankeová (2012) Effect of linseed oil on the mechanical properties of lime mortars, in *Proc. 18th International Conference of Engineering Mechanics*, J. Náprstek and C. Fischer (eds.) Prague: ITAM, 955-967

C. Nunes, Z. Slížková, D. Křivánková (2012) Frost resistance of lime-based mortars with linseed oil, in *Proc. Czech/German Symposium: Experimental Methods and Numerical Simulation in Engineering Sciences*, O. Jiroušek, D. Kytýř. (eds.), Prague: Czech Technical University, 23-26

Z. Slížková, D. Křivánková, C. Nunes, D. Frankeová (2012) Vliv metakaolinu a lněného oleje na vlastnosti vápenných malt. [Impact of metakaolin and linseed oil addition on lime mortar characteristics] Praha : ÚTAM

C. Nunes and Z. Slížková (2013) Linseed oil for durability improvement of lime-metakaolin mortar. in *Proc. 1st International Conference on Concrete Sustainability*, Tokyo: Japan Concrete Institute

D. Křivánková, C. Nunes, Z. (2013) Mrazuvzdornost vápenných omítek. in *Proc. Metakaolin 2013*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, P. Rovnaník, P. Rovnaníková (eds.) 23-32

D. Křivánková, C. Nunes, Z. Slížková, D. Frankeová, K. Niedoba (2013) High-performance repair mortars for application in severe weathering environments: frost resistance assessment. in *Proc. 3rd Historic Mortars Conference*, Glasgow: University of West of Scotland

C. Nunes and Z. Slížková, Freezing and thawing resistance of lime mortar with metakaolin and a traditional water repellent admixture (submitted to the journal Cement and Concrete Composites - revised document submitted on the 27th of March 2015)

C. Nunes and Z. Slížková (2015) Lime-based repair mortars with water-repellent admixtures: laboratory durability assessment. in Proceedings of the 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historic Buildings and Structures, Green Lines Institute: Porto

Nunes, Cristiana Lara; Slížková, Zuzana. Hydrophobic lime based mortars with linseed oil: Characterization and durability assessment. Cement and Concrete Research. 2014, 61-62, July-August, s. 28-39. ISSN 0008-8846.

Nunes, Cristiana Lara; Slížková, Zuzana; Janotová, Dana. Lime-based mortars with linseed oil: sodium chloride resistance assessment and characterization of the degraded material. Periodico di Mineralogia. 2013, Roč. 82, č. 3, s. 411-427. ISSN 0369-8963.

Slížková, Zuzana; Frankeová, Dita; Hauková, Petra; Janotová, Dana. Problémy jakosti vápenných malt s přídavkem metakaolinu aplikovaných při opravách architektonického dědictví. In Heřmánková, V.; Anton, O. (ed.). Zkoušení a jakost ve stavebnictví. Brno: VUT Brno, 2011, S. 375-384. ISBN 978-80-214-3438-9.