

# Zpevňování omítek vápennou vodou II

– výsledky experimentů a několik praktických zkušeností s využitím vápenné vody při záchraně historických omítaných fasád

Dagmar MICHŮINOVÁ

ANOTACE: Článek popisuje dílčí výsledky výzkumu,<sup>1</sup> který studuje děje probíhající ve vápenných maltách v důsledku jejich ošetřování vodou a vápennou vodou. Výsledky jsou podkladem pro záchranu historických vápenných malt a omítek i pro ošetřování nových malt a omítek s nehydraulickým vápenným pojivem.



1

## Úvodem

V oblasti péče o historický stavební fond u nás i ve světě lze pozorovat silící zájem o poznávání a záchranu historických omítek. Odborná veřejnost si více uvědomuje, že to jsou do značné míry právě autentické omítky (jako dobové povrchové úpravy zdiva), které interiérum i omítaným fasádám staveb propůjčují nezaměnitelný vzhled a atmosféru. A co víc, dochované autentické historické omítky poskytují četné informace o vývoji staveb, o dobových postupech omítání i zdobení zdiva omítkami i o dříve používaných materiálech pro přípravu omítkových malt a nátěrů.

Věrohodné informace o dobových materiálech pro přípravu malt a omítek je však možné získat především z těch historických originálů, jejichž složení nebylo v minulosti nevratně pozměněno materiály použitými při konzervačních nebo restaurátorských zásazích.<sup>2</sup> Hodnota nezměněného složení autentického materiálu se tak pro odborníky stává důležitým faktorem také při výběru prostředků pro záchranu historických vá-

penných malt a omítek. Je to jeden z více důvodů, proč lze sledovat silící zájem o konzervační materiály na bázi vzdušného vápna, ať už se jedná o tradiční materiál jako vápenná voda<sup>3</sup> či dnes módní vápenné nanosuspenze.<sup>4</sup>

## ■ Poznámky

**1** Výzkum s názvem Studium efektivity zpevnění vápenných poréznych anorganických materiálů při používání dostupných konsolidantů zejména na bázi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  byl součástí výzkumného technologického úkolu Studium historických materiálů a technologií a jejich prosazování při obnově památek. Ten byl součástí Výzkumného záměru MK07503233301 – Vědecký výzkum ke zkvalitňování odborně metodického řízení státní památkové péče. V technologické laboratoři NPÚ byl výzkumný úkol řešen v letech 2010 až 2011. V současnosti je úkol řešen v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

**2** K nevratnému zkrácení zásadní informace o typu použitého vápenného pojiva přispívají zejména zpevňovače

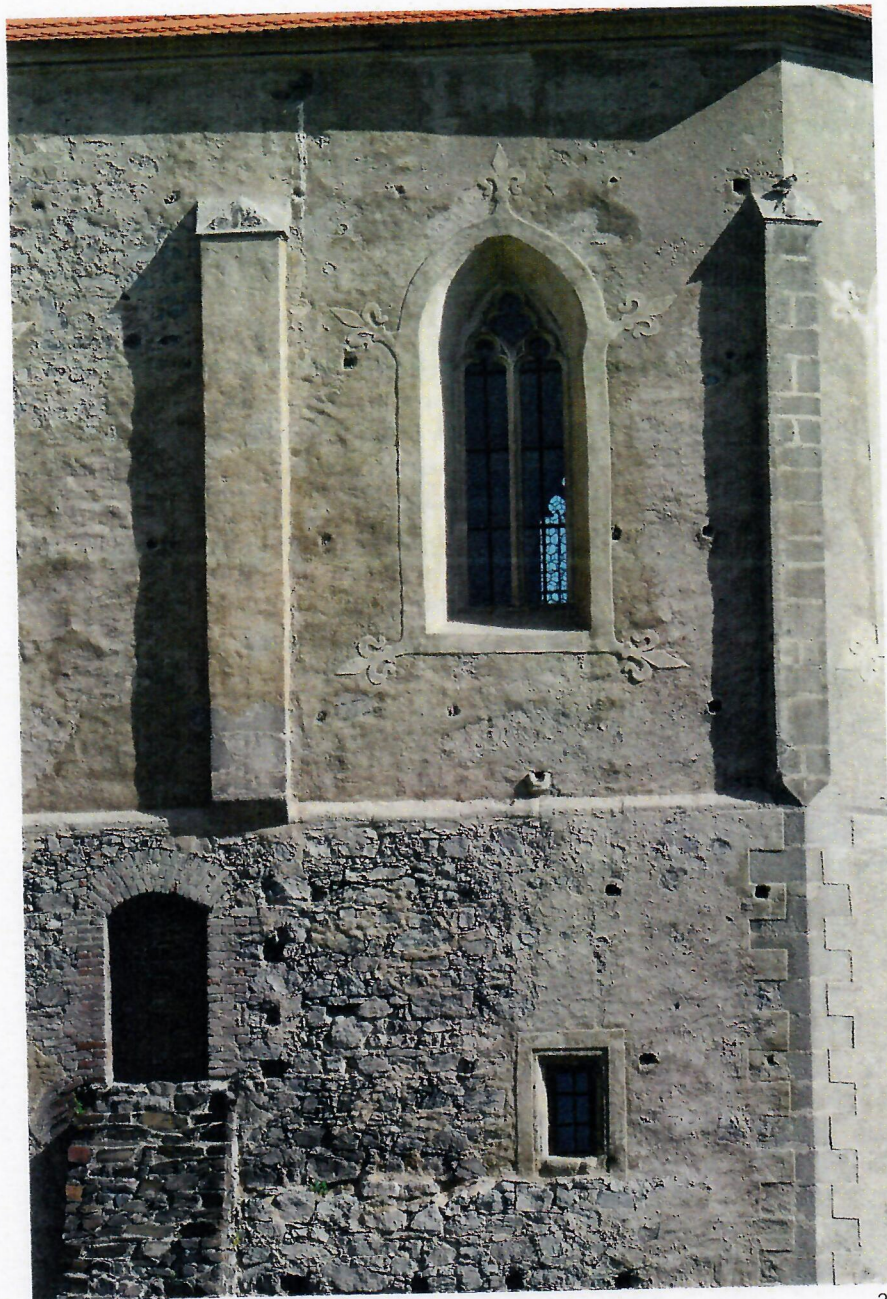
Obr. 1. SH Švihov (okres Klatovy), omítky dvorního nádvoří. Vzácné pozdně gotické roztrhané omítky, fragmenty raně renesančních sgrafit i nové doplňky sgrafit byly v průběhu záchranných prací na fasádách ošetřovány vápennou vodou. Efekt zpevnění vápennou vodou měl překvapivě rychlý nástup s ohledem na velmi degradované omítky před zásahem. Důvodem byl také vysoký podíl vápna v historických omítkách. Záchrana omítek ve vápenném systému probíhala na nádvoří hradu v letech 2003 až 2005. (Foto Dagmar Michoinová, 2005).

na bázi vodného koloidního roztoku kyseliny křemičité nebo esterů kyseliny křemičité. Ty, zejména při opakované aplikaci, vnášejí do omítky v kyselině rozpustný oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ). Při analýzách takto zpevněných omítek nově vnesený  $\text{SiO}_2$  mění tzv. modul hydraulicity pojiva a výsledky analýzy pojiva se tím posouvají od vzdušných vápen k pojivům hydraulickým. Příkladem je popis postupu zpevnění omítek na sýpce hradu Pernštejn. Informace jsou čerpány z textu BISKUP, E. Záchrana vzácných omítek SH Pernštejna. *Spektra*. Roč. 9. č. 2. 2009. s. 74–75. Při zpevnění bylo na  $1 \text{ m}^2$  aplikováno 3 až 5 l konsolidantu KEIM Silex OH a 100 OH, jak uvádí publikace. Z nich se z 1 l vylučuje 310 a 396 g gelu  $\text{SiO}_2$ . To při uvedené spotřebě představuje nárůst hmotnosti  $1 \text{ m}^2$  omítky až o téměř 2 kg, modul hydraulicity takto ošetřené omítky se po aplikaci takových zpevňovačů posune do oblasti odpovídající silně hydraulickým pojivům, jako třeba portlandský cement. Přitom z průzkumů, které v letech 2004–2008 prováděla technologická laboratoř NPÚ, vyplývá, že omítky byly původně vápenné nehydraulické.

**3** Vápenná voda je čirý bezbarvý nasycený roztok vápna (hydroxidu vápenného) ve vodě. Využívá se např. pro zpevnění historických omítek, kde je žádoucí, aby zpevněním nedošlo ke změně optických vlastností povrchu omítek a změně složení omítky.

**4** Vápennými nanosuspencemi se v daných souvislostech rozumí suspenze nano částic vápna (hydroxidu vápenného) v organických rozpouštědlech, zejména v alkoholech. Jsou to komerčně dostupné prostředky, které se zatím spíše experimentálně používají pro zpevnění kamene

Obr. 2. SH Švihov (okres Klatovy), jižní fasáda kaple Nanebevzetí Panny Marie, současný stav. Záchrana pozdně gotických omítek kaple probíhala ve vápenném systému v letech 2008 až 2009. (Foto Gabriela Čapková, 2012).



I přesto a současně právě proto, že korektní exaktní hodnocení změn vlastností vápenných malt a omítek při jejich zpevňování je velmi komplikované a časově náročné, tématu se technologická laboratoř NPÚ – ÚP věnuje systematicky již delší dobu.<sup>5</sup> Dopady ošetření omítky zpevňovacím prostředkem není možné hodnotit zjednodušeně jen jednou metodou. Je nutné hodnotit více parametrů různými postupy a dopady interpretovat nepřímě. To bohužel platí jak pro hodnocení v laboratorních podmínkách, tak zejména pro hodnocení in situ.

Již předchozími laboratorními výzkumy, které byly na téma ošetřování vápenných malt vodou prováděny v technologické laboratoři NPÚ, bylo prokázáno, že na vytváření pevné struktury vápenné matrice se zásadním způsobem podílí voda. Ta je totiž nutným prostředím pro karbonataci vápna i pro rekrystalizaci uhličitánové matrice. Oba děje mají vliv na nárůst pevností malt. Cílem současně probíhajícího výzkumu je rozšířit dosavadní poznatky a studovat dopad opakované aplikace tzv. vápenné vody na vytváření pevné struktury vápenných malt a na jejich zpevňování.

### Praktické poznámky k používání vodných vápenných prostředků při záchraně omítek

#### Vápenná voda

Při záchraně historických vápenných omítek, a to zejména na fasádách staveb se vápenná voda využívá v průběhu celého stavebně restaurátorského zásahu. S ohledem ke svým vlastnostem je vápenná voda velmi vhodným prostředkem pro strukturní zpevnění porézních historických vápenných malt a omítek,<sup>6</sup> dále se využívá také na vlhčení zdva před nanášením malt a omítek, zcela nepostradatelná je pak vápenná voda nebo voda pro urychlení tvrdnutí vápenných doplňků (malt, tmelů, omítek, nátěrů apod.).<sup>7</sup> Pro vysokou zásaditost má vápenná voda svůj význam také při likvidaci biofilmu na omítkách.

Velkou výhodou vápenné vody je možnost přípravy prostředku přímo na stavbě rozpuštěním vápna (vápenného hydrátu nebo vápenné kaše) ve velkém nadbytku čisté pitné vody. Po usazení

#### ■ Poznámky

a omítek s obsahem uhličitánu vápenatého v situacích, kde není žádoucí kontakt zpevňovaného substrátu s vo-

dou, tedy např. při záchraně omítek s nástěnnými malbami. Více k tématu např. MACHAČKO, Luboš. Konsolidace historických omítkových vrstev v druhém NP ambitu bývalého kláštera Coeli Rosa v Dolních Kounicích pomocí vápenné nanosuspence CaLoSIL. *Zprávy památkové péče*. 2012, roč. 72, č. 2, s. 122–128. MACOUNOVÁ, Dana. *Restaurování vápencové sochy anděla z domu čp. 48 v Kutné Hoře s využitím nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého / Testování možností využití nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro konsolidaci organodeteritického vápence*: bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování. 2011.

**5** Z česky publikovaných prací např. MICHŮINOVÁ, D. Konsolidace omítek vápenou vodou I. *Zprávy památkové péče*. 2002, roč. 62, č. 5, s. 130–134. MICHŮINOVÁ, D. Konzervační, hydrofobizační a spevňovacie prostriedky pre vápenné omietky a vápenné nátery. In *Vápno a vápen-*

*né technológie pri obnove pamiatok, zborník z mezinárodného odborného kurzu a seminára, Banská Štiavnica, 5.–16. september 2005*, Spolok Banskej Štiavnice '91, 2006, s. 38–44. ISBN 80-969475-3-2. MICHŮINOVÁ, D. Vytváření pevné struktury vápenných malt s nehydraulickým pojivem. *Zprávy památkové péče*. 2009, roč. 69, č. 3, str. 207–212. – KOTLÍK, P.; KUNEŠ, P. Vybrané aspekty aplikace organokřemičitých zpevňovačů na vápenné omítky. *Zprávy památkové péče*. 2011, roč. 71, č. 3, s. 193–200.

**6** Přehled preferovaných vlastností zpevňovacích prostředků je uveden např. v MICHŮINOVÁ, D. Zpevňování historických omítek – dílčí vyhodnocení experimentu. In *Sborník semináře Historické omítky*. Praha : STOP, 2005, s. 25–34 nebo MICHŮINOVÁ, D. 2002 a 2006 cit. v pozn. 5., KOTLÍK, P., KUNEŠ, P. cit. v pozn. 5.

**7** Více k tématu MICHŮINOVÁ, D. 2009, cit. v pozn. 5.



3



4

Obr. 3. SHaZ Bečov nad Teplou (okres Karlovy Vary), detail omítky ze západní fasády donjonu Horního hradu. Dochované autentické barokní omítky nanesené přes raně renesanční omítky poskytují četné informace o vývoji staveb, o dobových postupech omítání, o zdobení zdíva omítkami i o dřívě používaných materiálech pro přípravu omítkových malt a nátěrů. Tyto hodnoty je žádoucí uchovat v nezkraslené míře i po konzervaci, která ve vápenném systému na Horním hradě probíhá od roku 2010. (Foto Dagmar Michoinová, 2012).

Obr. 4. SH Švihov (okres Klatovy), kaple Nanebevzetí Panny Marie, severojižní nárožní fasády, omítková bosáž. Zachování a nezkraslená prezentace pozdně gotických omítek na fasádě stavby dává možnost i po několika staletích dohledávat stopy po původní výzdobě fasády. Zde se jedná o zbytky červených pásů, které na bosáži zdůrazňovaly přechod mezi omítkou a kamenem. (Foto Dagmar Michoinová, 2008).

vápna v rozpouštěcí nádobě vznikne nad bílou usazeninou čirý nasycený roztok vápna ve vodě (vápenná voda). K aplikaci je třeba používat zcela čirý roztok, bez bělavého zákálu. Proto je vhodné čirou vápennou vodu před nanášením na fasádu přefiltrat z rozpouštěcí nádoby do zásobní nádoby, kde již nesmí vznikat bílá usazenina vápna na dně.

Nanášení vápenné vody se pro všechny výše uvedené účely provádí jemným kropením nebo poléváním substrátu vápennou vodou do jeho únosného nasycení.<sup>8</sup> Nanášení vápenné vody natíráním štětcem se nedoporučuje. Další aplikaci vápenné vody je doporučováno provádět vždy po vyschnutí substrátu.<sup>9</sup> Postup je možné mnohokrát opakovat (na stavbě se obvykle provádí po celou dobu trvání záchrany omítek, a to obvykle na začátku a na konci každé pracovní směny). Postup je možné kdykoli přerušit, aniž by se tím zablokovaly další práce spojené se záchranou fasády. Během stavební sezóny lze provést až 100 ošetřovacích cyklů. Kontrolou stavu omítek lze postupně pozorovat postupné zlepšování soudržnosti omítek.<sup>10</sup>

Vápenná voda je na základě četných praktických zkušeností účinná zejména při zpevnění vápenných malt a omítek, které obsahují alespoň 20 hmotnostních % uhlíčitanu vápenatého ve formě pojiva.

#### Suspenze vápna ve vápenné vodě

Pro ty omítkové plochy, kde se ani po desítkách aplikací vápenné vody nedostavuje dostatečné zpevnění, je žádoucí hledat účinnější prostředek pro tzv. dozpevnění povrchu. Při záchraně vápenných omítek v tzv. vápenné technologii<sup>11</sup> lze pro dozpevnění použít např. suspenzi vápna ve vápenné vodě, případně barevně vhodně upravenou suspenzi vápna ve vápenné vodě. Další, finančně náročnější alternativou jsou nanosuspenze vápna v organických rozpouštědlech.<sup>12</sup>

Suspenze vápna ve vápenné vodě je na stavbě připravený bělavý (případně ještě barevně upravený), ale vždy ještě průsvitný vodný vápenný prostředek. Připravuje se rozptýlením malého množství vápna (případně pigmentů) ve vápenné vodě za stálého míchání. Ve srovnání s čirou vápennou vodou (s roztokem vápna ve vodě) suspenze obsahuje kromě rozpuštěného vápna další volně rozptýlené částice  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , a to v množství od 10 do 100 g v litru. Řádově vyšší podíl vápna ve vápenných suspenzích zabarvuje tyto konzervační prostředky do běla a také po aplikaci dochází k zákálu substrátu do běla (případně do požadovaného odstínu). Suspenze vápna ve vápenné vodě se používají na dozpevnění pohledově prezentova-

ných ploch omítek, kde se účinnost vápenné vody ukázala být nízká a kde lze slabě zblednutí povrchu omítky barevně korigovat. Významné využití vápenných suspenzí ve vápenné vodě je především při dozpevnění omítek, které mají být následně přemítnuty, případně opatřeny nátěrem. Aplikace vápenných suspenzí ve vápenné vodě se provádí nejčastěji postřikem nebo opatrným tupováním podkladu.

K dozpevnění dochází poměrně rychle (v závislosti na obsahu vápna v suspenzi), a to během prvních nebo několika málo dalších aplikací vápenných suspenzí ve vápenné vodě.<sup>13</sup>

Použití vápenné vody a suspenze vápna ve vápenné vodě tvoří tedy ucelený systém pro zpevnění vápenných omítek. Při jeho použití nejsou omítky, ve srovnání s nevápennými zpevňovači, kontaminovány nežádoucími látkami (systém je kompatibilní s podkladem, v případě nehydraulických omítek je nově vnesené pojivo chemicky identické s pojivem stávajícím), proces zpevnění probíhá postupně, má předvídatelné důsled-

#### ■ Poznámky

**8** Před zahájením strukturálního zpevňování je žádoucí provést tzv. záchraně restaurátorské zajištění omítek v místech, která jsou ohrožena odpadem nebo odpadem po nasycení vápennou vodou. Ošetřované omítky je během zpevnění třeba sytit do únosné míry. Tento postup by měl platit univerzálně pro zpevňování každým zpevňovačem.

**9** Prováděním dalšího cyklu nanášení vápenné vody až po vyschnutí ošetřované omítky se předchází nežádoucímu přetížení omítek, viz pozn. 8.

**10** Pro in situ hodnocení míry zpevnění materiálu jsou zatím nejdostupnější senzorické zkoušky (jemně přejetí rukou po povrchu omítky a sledování soudržnosti povrchu v průběhu zpevnění vždy na vyschlém podkladu, vizuální hodnocení klesající rychlosti vsakování prostředku do povrchu v průběhu zpevnění). Další metody jsou popsány např. v: MACHAČKO, L. cit. v pozn. 4 nebo v: MICHAINOVÁ, D. 2002. cit. v pozn. 5.

**11** Vápenná technologie byla s úspěchem použita např. na těchto publikovaných akcích: GIRSA, V.; HANZL, M.; MICHAINOVÁ, D. S odstupem ke konzervaci severního průčelí hradu Pernštejn. *Zprávy památkové péče*. 2009, roč. 96, č. 1, s. 19–31. – GIRSA, V.; HANZL, M.; JERIE, P.; MICHAINOVÁ, D. Restaurování jižního průčelí Horního hradu SHZ v Českém Krumlově. *Zprávy památkové péče*. 2006, roč. 66, č. 3, s. 199–211. – GIRSA, V.; JERIE, P.; MICHAINOVÁ, D. Konzervace dvorního průčelí jižního paláce hradu Švihova. *Zprávy památkové péče*. 2003, roč. 63, č. 6, s. 404–417.

**12** Více cit. v pozn. 4.

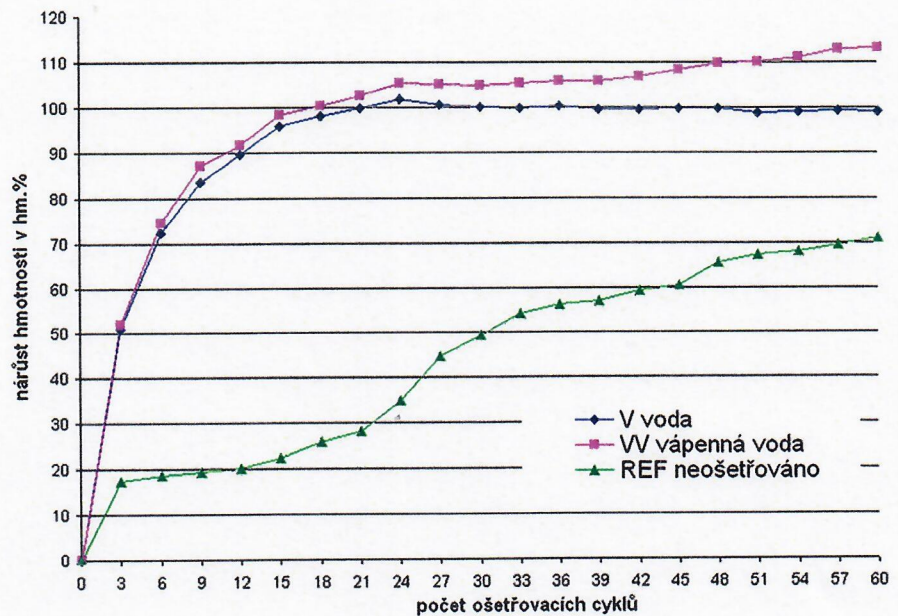
**13** Postup je popsán např. v: GIRSA, V.; HANZL, M.; MICHAINOVÁ, D. 2009, cit. v pozn. 11.

Tabulka 1

ošetřovací prostředek / značení malt	počet cyklů / doba ošetřování	hmotnostní nárůst malt v %	pevnost v tlaku [MPa]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]
- / REF	0 cyklů / 10 týdnů	49,3	0,8	0,4
	0 cyklů / 20 týdnů	71,1	0,6	0,3
voda / V	30 cyklů / 10 týdnů	99,9	1,6	0,7
	60 cyklů / 20 týdnů	99,1	1,7	0,9
vápenná voda / VV	30 cyklů / 10 týdnů	105,2	1,7	0,8
	60 cyklů / 20 týdnů	112,9	1,7	0,9

Tab. 1. Tabulka shrnuje výsledky hmotnostních nárůstů malt z grafu č. 1 a je doplněna o výsledky pevnosti v tlaku a v ohybu malt. Uvedeny jsou průměrné hodnoty z 5 měření.

Graf 1. Graf zachycuje nárůst hmotnosti vápenné malty v závislosti na počtu ošetřovacích cyklů. Přitom hodnota 100 % nárůstu hmotnosti odpovídá kompletní karbonataci pojiva. V každém týdnu byly provedeny 3 ošetřovací cykly, experiment trval 140 dnů.



ky a je možné jej v případě nutnosti kdykoli zopakovat (systém je rekonzervovatelný bez poškození originálních omítek). Právě skutečnost, že postup je mnohokrát opakovat, aniž by se zásadně měnily vlastnosti ošetřovaného originálu (a to i v rámci pozdějších nekonzervačních zákroků), dokládá, že se jedná o velmi šetrnou metodu.

#### Experimenty a jejich uspořádání

Vratně se však k experimentům, které měly za cíl porovnat postup tvrdnutí vápenných malt ošetřovaných čistou vodou a vápennou vodou. Experimenty byly prováděny na maltách o složení 1 : 3 hmotnostních dílů pojiva (vápenné kaše) : kamenivu (křemenném písku), a to na zkušebních trámečcích o rozměrech 20 × 20 × 100 mm. Ošetřování bylo zahájeno ihned po nuceném vyschnutí malt. Dopady obou ošetřovacích prostředků (pitné vody a vápenné vody) byly zkoušeny za shodných podmínek,<sup>14</sup> experimenty se lišily jen složením ošetřovacích prostředků. Pro zajištění konstantní kvality vody pro přípravu obou ošetřovacích prostředků byla používána balená pitná voda.<sup>15</sup>

#### Výsledky zkoušek

Nejprve věnujme pozornost průběhu tvrdnutí malt ošetřovaných vodou a vápennou vodou.

Z porovnání průběhu křivek zachycených na grafu 1 vyplývá, že ve srovnání s neošetřovanou maltou (zelená křivka) malty ošetřované vodou (modrá křivka) i vápennou vodou (růžová křivka) výrazně rychleji karbonatovaly.<sup>16, 17</sup> Kompletní karbonatace bylo v případě malty ošetřované vápen-

nou vodou dosaženo po 18 ošetřovacích cyklech, v případě malty ošetřované pitnou vodou po 21 ošetřovacích cyklech. Porovnáním křivek nárůstu hmotnosti malty během ošetřování vodou a vápennou vodou lze pozorovat vyšší nárůst hmotnosti v případě použití vápenné vody, což však souvisí s vnášením dalšího pojiva do malt (z roztoku vápenné vody). (Graf 1.)

Lze tedy shrnout, že postup tvrdnutí malt, resp. jejich karbonatace, není při daném experimentálním uspořádání ovlivněn tím, zda byla pro ošetřování použita pitná voda nebo vápenná voda. Množství vápna nově vneseného do malty ošetřované vápennou vodou je v grafu na obr. 1 prokazatelně patrné v oblasti, kde růžová křivka přesahuje hodnotu

a to na dobu 15 minut. Doba ponoru byla zvolena tak, aby došlo k průniku vlhkosti do celého objemu ošetřovaných zkušebních těles. Vysychání probíhalo v neupravených laboratorních podmínkách a probíhalo do konstantní vlhkosti těles. Detailně jsou postupy přípravy těles, podmínky uložení a zkoušení a další náležitosti popsány v etapové zprávě úkolu za roky 2010 a 2011.

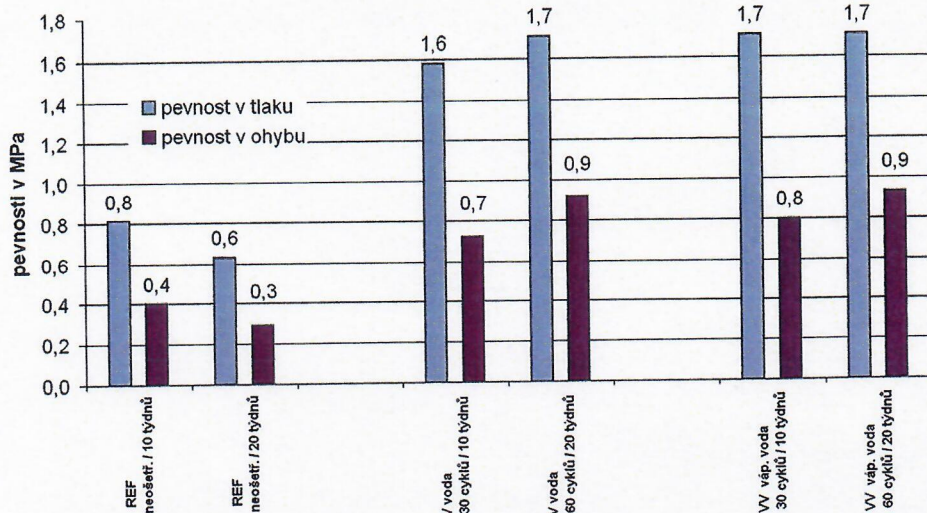
**15** Dobrá voda – přírodní nesyčená, nízké mineralizovaná a odželezená voda z Byňova, ČR. Vápenná voda se připravovala rozpuštěním  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  v Dobré vodě. Teoretické množství  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  v roztoku při 20°C je 1600 mg/l, s rostoucí teplotou vody klesá; pH vápenné vody se pohybovalo od 10,5 do 11. Nasycenost vápenné vody byla kontrolována právě měřením pH roztoku.

**16** Nárůst hmotnosti vápenné malty zachycuje jednak postup karbonatace (v souvislosti s přeměnou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  na  $\text{CaCO}_2$ ) a také druhotné ukládání pojiva z vápenné vody (v případě ošetřování vápennou vodou). Metodika měření je uvedena např. v MICHONOVÁ, D. *Studium historických postupů přípravy vápenných malt pro péči o architektonický památkový fond*: dizertační práce. Brno, 2007. 214 s., 246 s. s příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební.

**17** Pro neošetřovanou maltu a maltu ošetřovanou čistou vodou byl obdobný trend výsledků publikován v práci MICHONOVÁ, D. 2009 cit. v pozn. 5.

#### ■ Poznámky

**14** Parametry malt (složení malt, příprava, tvar a velikost těles) byly shodné. Aby se eliminovaly faktory, které by mohly nežádoucím způsobem ovlivnit postup karbonatace a rekrystalizace malt (zejména vlhkost, teplota, koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře), shodné byly také podmínky uložení, ošetřování a zkoušení malt. Ošetřování bylo prováděno ponorem těles do vápenné vody a do čisté vody,



Graf 2. Graf zachycuje pevnosti v tlaku a v ohybu studovaných malt v závislosti na počtu ošetřovacích cyklů. Neošetřované malty jsou označeny REF, malty ošetřované vodou jsou označeny V a malty ošetřované vápennou vodou VV.

100 hm%. Celkově se množství uhlíčitanu vápenatého v maltě ošetřované vápennou vodou zvýšilo během 60 ošetřovacích cyklů téměř o 13 hmotnostních %. Přepočtem tohoto výsledku lze dojít k údajím, že při 100 násobném ošetření lze do 1 m<sup>2</sup> povrchu omítky nově vnést kolem 200 g CaCO<sub>3</sub>. Tento údaj je v poměrně dobrém souladu s hodnou vypočítanou ze spotřeby vápenné vody při ošetřování reálné omítky.<sup>18</sup>

Sledovány byly také vybrané mechanické vlastnosti ošetřovaných malt. Zkoušky byly prováděny opět za shodných podmínek a to na tělesech neošetřovaných (označených REF, po 10 a 20 týdnech uložení v laboratorních podmínkách) a na tělesech ošetřených 30krát a 60krát vodou (označených V) a vápennou vodou (označených VV). Výsledky hodnocení pevnosti v tlaku a ohybu jsou uvedeny v tabulce 1 a v grafu 2.<sup>19</sup>

Z porovnání hodnot pevnosti v tlaku a ohybu studovaných malt<sup>20</sup> vyplývá, že ve srovnání s neošetřovanou maltou (REF) malty ošetřované vodou (V) i vápennou vodou (VV) dosáhly více než dvojnásobného nárůstu obou hodnocených pevností. Vyšší pevnosti zjištěné u malt ošetřovaných vodou a vápennou vodou souvisí s vyšším stupněm karbonatace a rekrystalizace jejich pojiva.

Graf dále ukazuje, že pevnosti malt ošetřovaných vodou (V) a vápennou vodou (VV) jsou srovnatelné. Lze tedy konstatovat, že ani postup tvrdnutí malt, resp. jejich rekrystalizace, není při daném experimentálním uspořádání ovlivněn tím, zda byla použita voda nebo vápenná voda.

Vliv nově vneseného pojiva na zpevnění malt byl v daném uspořádání minimální, dominoval vliv karbonatace a rekrystalizace pojiva.

Toto konstatování však neplatí univerzálně. Při jiném experimentálním uspořádání<sup>21</sup>, které také studovalo zpevnění vápenných malt vápennou vodou, se vliv nově vneseného pojiva projevil. Stalo se tak při uspořádání, které bylo navrženo badateli z Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v. v. i. Tam byly pro hodnocení zpevnění vápennou vodou použity malty velmi chudé na pojivo, o složení 1 : 9 objemového dílu vápenného hydrátu : říčním písku<sup>22</sup> a byla testována tělesa ve tvaru tenkého dutého válce.

Přitom bylo zjištěno, že opakované nanášení vápenné vody na maltu velmi chudou na pojivo vede k nárůstu její pevnosti v tlaku ve srovnání s toutéž chudou maltou, opakovaně vlhčenou jen destilovanou vodou.<sup>23</sup>

Při tomto experimentálním uspořádání lze tedy konstatovat, že dopad nově vneseného pojiva dominoval nad dopadem karbonatace a rekrystalizace původního pojiva. Pojiva, kterého bylo v maltách velmi málo.

Výsledky těchto dvou rozdílných experimentů lze ve vztahu ke zpevnění omítek vápennou vodou interpretovat tak, že při aplikaci vápenné vody u malt bohatších na pojivo efekt karbonatace a především rekrystalizace původního pojiva dominuje nad efektem vnášením nového pojiva; zatímco u malt na pojivo velmi chudých naopak dominuje vnášení nového pojiva omítky nad efektem rekrystalizace původního pojiva.

Sloučením obou popsaných a ověřených efektů lze proto vyslovit odůvodněnou domněnku, že zpevnění omítek vápennou vodou je proces, který zahrnuje kombinovaný efekt – vedle nově vneseného pojiva ke zpevnění omítek zásadním

způsobem přispívá i voda. Právě voda totiž tvoří prostředí pro karbonataci a rekrystalizaci pojiva. A právě se schopností rekrystalizovat (regenerovat) pojivo řada badatelů spojuje dlouhodobou trvanlivost vápenných materiálů.<sup>24</sup>

### Soulad experimentálních výsledků s praxí

Získané laboratorní výsledky jsou ve velmi dobré shodě s pozorováním in situ. I u velmi povrchově degradovaných omítek gotických či renesančních, které jsou obvykle velmi bohaté na pojivo,<sup>25</sup> bývá zpevnění vápennou vodou velmi účinné již po několika cyklech ošetření. Naopak

### ■ Poznámky

**18** Při provedení 100 ošetřovacích cyklů vápennou vodou na ploše 1 m<sup>2</sup> bylo do omítky teoreticky vneseno 160 g Ca(OH)<sub>2</sub>, tedy přibližně 213 g CaCO<sub>3</sub>. Údaj publikovala Prof. Rovnaníková v práci ROVNANÍKOVÁ, P.; KNOR, J. Analýza výsledků konsolidace vápenné historické omítky vápennou vodou na hradě Pernštejně. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2006*. Brno : ČSS WTA CZ, 2006. s. 61–69. ISBN: 80-02-01866-4.

**19** Detailně jsou postupy hodnocení pevností popsány v etapové zprávě úkolu za roky 2010 a 2011.

**20** Viz pozn. 20.

**21** Experimenty a jejich výsledky jsou popsány v práci DRÁČEK, Miloš., et al. A Nano Approach to Consolidation of Degraded Historic Lime Mortars. *Journal of Nano Research*, 8, 13. 2009.

**22** Hmotnostní poměr vápenného hydrátu a křemenného písku byl přibližně 1 : 25. Taková malta obsahuje jen cca 4 hmotnostní % uhlíčitanu vápenatého v podobě pojiva.

**23** Ošetřování bylo v rámci tohoto experimentu prováděno 51krát a 161krát.

**24** ELERT, K.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; PARDO, E.S.; HANSEN, E.; CAZALLA, O. Lime mortars for the conservation of historic Buildings. *Studies in Conservation*, 2002, no. 47, s. 62–75. – HOLMES, S.; WINGATE, M. *Building with lime*. 3rd ed. London : ITDG Publishing, 2002. ISBN 1-85339-547-1. – SCHULZE, W.; TISCHER, W.; ETTTEL, W.-P.; LACH, V. *Necementové malty a betony*. Praha : SNTL, 1990, ISBN 80-03-00188-9. – HANDISYDE, C. C. *Building Materials Science and Practice*. 6th ed. London : The Architectural Press, 1967. – LAWRENCE, M.; WALKER, P.; D'AYALA, D. Non-hydraulic Lime Mortars. *Journal of Architectural Conservation*, 2006, No. 10, n. 3, s. 7–33. – BALEN, K. VAN. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research*, 2005, no. 35, s. 647–657. – BALEN, K. VAN; GEMERT, D. VAN. Modeling lime mortar carbonation. *Materials and Structures*, 1994, no. 27, s. 393–398. – HANNANT, D. J.; KEER, J. G. Autogenous healing of thin cement based sheets. *Cement and Concrete Research*, 1983, no. 13, s. 357–365.

Obr. 5. SH Švihov (okres Klatovy), kaple Nanebevzetí Panny Marie, severojižní nárožní fasády, omítková bosáž. Zachování informací o složení původních (pozdně gotických) stavebních materiálů je důležité také v případě nátrů na omítkách. Vápenná technologie záchrany prodlouží trvanlivost i výpovědní hodnotu historických originálů. (Foto Dagmar Michoinová, 2008).

např. u mladších zejména barokních jádrových omítek nebo zdicích malt, tedy materiálů chudších na vápenné pojivo,<sup>26</sup> je efekt zpevnění vápennou vodou poměrně pomalý a často je nutné následné dozpevnění.

### Závěrem

Hledání prostředků, které by šetrně zpevnily strukturu, a tím prodloužily trvanlivost historických malt a omítek, je náročný úkol. S ohledem na hodnoty historických omítek je navíc prostor pro výběr prostředků limitován odbornými hledisky památkové ochrany originálů (šetrnost zásahu, materiálová kompatibilita, uchování vzhledu i projevu stárnutí originálů po zásahu, předvídatelnost interakce prostředku s originálem, rekonzervovatelnost zásahu, preference tradičních materiálů apod.).

Kritériím pro strukturální zpevnění historických vápenných materiálů vyhovují bezesporu vápenné vodné prostředky, výzkumu, kterému se v posledních několika letech věnuje zaslouženě větší pozornost.

Výsledky získané v rámci nejnovějších experimentů ukazují, že pro vytváření pevné struktury vápenných malt, se kterým přímo souvisí i strukturální zpevnění vápenných omítek a malt, je zcela zásadní kontakt pojivové matrice malty nebo omítky s vodou. Voda vytváří prostředí pro karbonataci vápna, nepostradatelná je také pro rekrystalizaci pojiva malt (uhličitanové matrice) s dostatečným podílem uhličitanového pojiva.

V případech použití čiré vápenné vody (roztoku vápna ve vodě) jsou karbonatace a rekrystalizace navíc doprovázeny postupným vnášením nového vápenného pojiva do povrchové vrstvy ošetřovaného substrátu. Ke zpevnění malt a omítek dochází při použití vápenné vody kombinovaným efektem strukturálního a povrchového zpevnění.

Tyto výsledky jsou v souladu s pozorováními z praxe, kdy se vápennou vodou rychleji zpevňují omítky bohaté na pojivo, zatímco omítky chudé na pojivo je často třeba dozpevnit prostředky bohatšími na vápno.

Experimentálně se tedy podařilo vysvětlit, proč je vápenná voda účinná i přesto, že podíl nově vneseného pojiva do materiálu je velmi malý.



5

Současně výsledky racionálního experimentálního bádání opakovaně ukazují, že empirické zkušenosti našich předků, zkušenosti založené „jen“ na smyslovém vnímání světa, mají i v 21. století svůj význam, a proto mají můj trvalý obdiv.

Velkou výhodou aplikace vápenné vody při záchrane historických malt a omítek je fakt, že postup zpevňování lze plynule regulovat četností ošetření. Pozvolným nárůstem strukturálního zpevnění, které je doprovázeno plynulým gradientem zpevnění materiálu do hloubky, je minimalizováno riziko obávaného přezpevnění povrchu omítek.

Vápenná voda patří mezi ty preferované materiály, které nezkrasují složení originálu, nově vnesené pojivo je v případě vápenných nehydraulických malt chemicky identické s původním pojivem. Jedná se tedy o prostředek materiálově kompatibilní, a tedy s předvídatelnou interakcí prostředku s originálem.

I opakovaná aplikace vápenné vody uchovává vzhled originálů, které i po ošetření ušlechtilé stárnou.

Vápenná voda se řadí mezi tradiční materiály,<sup>27</sup> které jsou z výše zmíněných důvodů odborníky favorizovány při péči o stavební vápenné materiály.

Na stavbě je důležitá i pro další postupy záchrany omítek, jako je vlhčení podkladu před nánášením doplňků nebo při ošetřování nových vápenných vysprávek a doplňků.

Vápenná voda je finančně minimálně náročná (zejména ve srovnání s ostatními komerčně dostupnými zpevňovacími), je snadno dostupná a její aplikace není po zaškolení obsluhy složitá.

Pro tyto své velmi příznivé charakteristiky je vápenná voda univerzální a nepostradatelný prostředek při záchrane historických malt a omítek.

Proto by měla získat větší podporu ve stavební a restaurátorské praxi, a to zejména při záchrane historických omítaných fasád.

Výstup vznikl díky institucionální podpoře MK ČR na DKRVO.

### ■ Poznámky

**25** Historické omítky a často i malty jsou materiály poměrně bohaté na pojivo. Za malty bohaté na pojivo, tedy za malty s vysokým podílem pojiva lze pokládat malty, kde je podíl pojiva v maltě v podobě uhličitanu vápenatého vyšší než 25 hmotnostních %.

**26** Za malty chudé na pojivo, tedy za malty s nízkým podílem pojiva, lze pokládat malty, kde je podíl pojiva v maltě v podobě uhličitanu vápenatého nižší než 10 hmotnostních %. Takové materiály jsou však v případech historických vápenných omítek spíše výjimkou.

**27** O významu vápenné vody v konzervační a restaurátorské praxi se dočteme např. v následujících pracích, které jsou řazeny chronologicky: PETR, F. Několik kapitol z technologie konzervačních prací. *Zprávy památkové péče*. 1953, roč. 13, č. 1–4. – ŠTORM, B. *Základy péče o stavební památky*. 1. vyd. Praha: SÚPPOP, 1965. – PETERSON, S. Lime Water Consolidation. In *Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings*, Rome: ICCROM Symposium, 1982. – HOŠEK, J, MUK, J. *Omítky historických staveb*. 1. vyd. Praha: SPN, 1989. ISBN 80-04-23349-x. – SOULIKIDIS, TH. a kol. Amelioration of the properties of hydrated lime for the consolidation of the surface or/and the mass of Building Materials of Monuments. In *ICCROM 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Berlín, 1996.