

Vytváření pevné struktury vápenných malt s nehydraulickým pojivem

Dagmar MICHŮINOVÁ

Vápenné materiály se vzdušným pojivem¹ se s úspěchem používaly při výstavbě, přestavbě i opravách staveb po staletí; zejména v souvislosti s péčí o stavební památky v posledních několika desetiletích zájem o tyto materiály opět vzrůstá. Děje se tak nejen ve vztahu k praktickému používání vápenných materiálů, ale také v oblasti zkoumání vlastností těchto zajímavých materiálů a dějů, jež s nimi souvisí. Pozornost badatelů se tak soustředí mimo jiné na procesy, jakými dochází k vytváření pevné struktury vápenných malt, omítek a nátěrů, tj. na procesy, které s velkou pravděpodobností mohou souviset s dlouhodobou trvanlivostí historických vápenných materiálů. Pochopení jevů postihujících vytváření a trvání pevné struktury vápenných materiálů má zásadní význam pro odbornou péči o historické vápenné materiály, a proto jsou studovány také na půdě NPÚ, konkrétně v technologické laboratoři NPÚ – ÚP.

Následující text, který je upravenou částí disertační práce na téma vápenných malt se vzdušným pojivem,² je pokusem o stručné přiblížení této problematiky širší odborné veřejnosti pečující o architektonické památky. Hlavní pozornost je přitom věnována významu vody v procesu vytváření a udržování pevné struktury vápenných malt, a aplikaci poznatků do praktické péče o architektonické dědictví.

Tuhnutí vápenných malt

Vytváření pevné struktury čerstvých vápenných malt začíná jejich tuhnutím. Vápenná malta tuhne, je-li umožněn transport záměsové vody z malty. To se děje například odsátím vody z malty podkladem (pokud má dostatečnou savost) a/nebo odpařováním vody volným povrchem malty či konstrukce. Čerstvá malta se v průběhu tuhnutí stává hůře zpracovatelnou, protože vysycháním vody se k sobě přibližují jemné podíly pojiva i kameniva. Protože jemné podíly v maltě mají relativně velký měrný povrch, již jejich prosté shlukování a dokonalejší uspořádávání při tuhnutí se projevuje jistým nárůstem pevnosti malty.³ Podobně je tomu například u obdobného děje fyzikální povahy – u vysychání vlhké hlíny. Význam vody v procesu tuhnutí čerstvé vápenné malty je

tedy zjevný – v případě, že voda z malty nemůže odcházet, malta nemůže tuhnout, a tedy nemůže být započato vytváření její pevné struktury.⁴

Tvrdnutí vápenných malt

Další fáze vytváření pevné struktury vápenné malty se nazývá tvrdnutí. To je na rozdíl od tuhnutí převážně chemický děj; při tvrdnutí se mění chemické složení malty v důsledku karbonatace pojiva.⁵ Při tvrdnutí se vedle složení výrazně mění také fyzikální vlastnosti malty – rostou pevnosti, zvyšuje se odolnost malt proti mrazu, mění se mikrostruktura malt a podobně. Pokud malty s vápenným vzdušným pojivem neobsahují modifikující složky, tvrdnou pouze karbonatací.⁶ Karbonatace začíná okamžikem, kdy se odpařením vody z čerstvé nebo vodou nasycené malty alespoň zčásti zprůchodní její otevřené póry a začne do nich pronikat vzduch a v něm obsažený oxid uhličitý. Plyn za určitých podmínek (viz dále) reaguje s přítomným vápenným pojivem za vzniku

■ Poznámky

1 Termín vzdušné vápno zahrnuje dle ČSN EN 459-1 *Stavební vápno – Část 1: Definice, specifikace a kritéria* vápenná pojiva sestávající převážně z oxidu vápenatého (tedy z nehašeného vápna) nebo z hydroxidu vápenatého (tedy z hašeného vápna). Tato pojiva nemají hydraulické vlastnosti. Vápenné vzdušné pojivo může být například ve formě suchého prášku (hydroxidu vápenatého) – v praxi je toto vápenné pojivo označováno jako vápenný hydrát, další podobou vápenného vzdušného pojiva je pak vápenná kaše, tj. kašovitá suspenze hydroxidu vápenatého s vodou. Také vápenná pojiva s hydraulickými vlastnostmi jsou označována jako vápna. Proto je na tomto místě vhodné připomenout, že vápna, která je možné nechávat v plastickém stavu po dlouhou dobu ve styku s vodou (například při zrání vápenné kaše ve vápenici nebo při odležení čerstvé vápenné malty v maltnici), musí být nutně vápna vzdušná. Hydraulická vápna (obecně hydraulická pojiva) ve styku s vodou začínají vytvářet pevnou strukturu (tvrdnou).

Maltoou se vzdušným vápnem – v tomto textu zkráceně, i když nepřesně označovanou vápennou maltou –, se rozumí směs vzdušného vápna (v různém stádiu vytváření pevné struktury), kameniva (dominantně křemenného,

kopaného netříděného písku) a pórů (zaplněných vodou a/nebo vzduchem). Čerstvou vápennou maltou se pak rozumí tvárná směs vápenného vzdušného pojiva, dominantně křemenného kameniva a pórů zaplněných záměsovou vodou.

2 D. MICHŮINOVÁ: *Studium historických postupů přípravy vápenných malt pro péči o architektonický památkový fond*, disertační práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2007, 246 stran s přílohou.

3 J. HLAVÁČ: *Základy technologie silikátů*, 2. vydání, SNTL/ALFA, Praha 1988; W. SCHULZE, W. TISCHER, W. P. ETEL, V. LACH: *Necementové malty a betony*, SNTL, Praha 1990; A. D. COWPER: *Lime and Lime Mortars*, Facsimile edition, first published in 1927, Donhead Publishing Ltd, Dorset 1998; D. MICHŮINOVÁ: *Příprava vápenných malt v péči o stavební památky*, IC ČKAIT, Praha 2006.

4 Voda má zásadní vliv na vlastnosti vápenného vzdušného pojiva již před tuhnutím. Připomeňme proces dlouhodobého odležení vápenné kaše nebo čerstvé vápenné malty. Aby pojivo netuhlo, musí být materiál chráněn hlavně proti vysychání, proti kontaktu se vzduchem a dále pak proti promrznutí. Při delším odležení správně uložené vápenné malty nebo kaše dochází k jistému nárůstu tuhosti materiálu, který se projevuje například zhoršením zpracovatelnosti. K tomuto jevu dochází především v důsledku tixotropního chování vápenného pojiva. Viz například D. MICHŮINOVÁ, cit. v pozn. 2; W. SCHULZE a kol. a A. D. COWPER, cit. v pozn. 3. Intenzivním mícháním malty nebo kaše po odležení lze (i bez přídavku vody) obnovit původní konzistenci a zpracovatelnost kaše nebo malty.

5 Je chyba zaměňovat pojem karbonatace pojivem karbonizace. Přesto se tak často děje. Jako jistá pomůcka pro správné zafixování termínů může posloužit skutečnost, že zatímco karbonatací vznikají karbonáty, tj. uhličitany, karbonizace je proces, při kterém za různých podmínek dochází ke zuhelnování, tj. ke vzniku látek bohatých na uhlík. Nesprávné je také zaměňovat pojem malta a maltovina. Malta je obecně směs pojiva, kameniva a pórů, maltovina je jiný termín pro anorganické stavební pojivo, viz J. HLAVÁČ, cit. v pozn. 3.

6 Jsou-li v maltě obsaženy reaktivní podíly kameniva (například pucolány) nebo hydraulická pojiva, vedle karbonatace pojiva probíhají současně i reakce pucolánů s pojivem a hydratační procesy.

uhličitanu (neboli karbonátu) vápenatého a vody. Přestože karbonatáci lze zapsat poměrně jednoduchou chemickou rovnicí,⁷ průběh a podmínky děje zatím nejsou zcela vysvětleny. Rozpory panují i v tak zásadní věci, jako je stanovení tzv. řídicího děje, tedy děje, který probíhá nejpomaleji a určuje (řídí) celkovou rychlost procesu. Znalost řídicích dějů je pro praxi zásadně důležitá v případě, že chceme procesy efektivně ovlivňovat. Znalost řídicích dějů karbonatace by nám tedy umožnila například vhodným režimem ošetřování zrychlit reakci, což může být velmi užitečné třeba před koncem stavební sezony.

Z prací autorů, kteří se karbonatáci vzdušného vápna v souvislosti s vápennými materiály zabývali a zabývají, lze nastínit vývoj názorů na tento děj. Donedávna se předpokládalo, že rychlost karbonatace je řízena difuzí plynného oxidu uhličitého materiálem, tj. zjednodušeně řečeno, že nejpomalejším dějem je proces, při němž se CO₂ ze vzduchu dostává k Ca(OH)₂ v maltě.⁸

Jak tato teorie koresponduje s ději známými z praxe? Ve vodě probíhá difuze plynného oxidu uhličitého prostředím zhruba 1000krát pomaleji než ve vzduchu, proto by měla být podle této teorie i rychlost karbonatace zásadně ovlivněna vlhkostí malty. Jsou-li póry malty nebo vápenné kaše zcela zaplněny vodou, reakce by neměla probíhat ani po dlouhá desetiletí. Tato skutečnost platí a příkladem může být dlouhodobé odležení vápna v jámách – dokud suspenze vápna ve vodě nevyschne, karbonatace opravdu neprobíhá. Podobně je tomu při odležení čerstvé malty.

Teorie, že rychlost karbonatace pojiva je ovlivňována hlavně difuzí oxidu uhličitého materiálem, však neodpovídá realitě v situaci, kdy jsou póry materiálu (malty nebo pojiva) zcela suché a naplněné jen suchým vzduchem. V tomto případě by měla být rychlost karbonatace vysoká, ale z praxe i z experimentů¹⁰ víme, že za těchto podmínek karbonatace téměř neprobíhá. Bylo dokonce experimentálně zjištěno, že suché pojivo nekarbonatuje ani v atmosféře se zvýšeným obsahem CO₂, jak uvádí van Balen v roce 1994 v práci citované v pozn. 8. Názor, že řídicím dějem karbonatace je difuze CO₂ materiálem, je postupně opouštěn. Difuzní teorii nahrazuje teorie, ve které je řídicím dějem karbonatace rozpouštění Ca(OH)₂ ve vodě přítomné v pórech malty. Tuto domněnku poprvé uvedl ve své práci vracející se ke karbonatáci v roce 2005 van Balen.¹¹ Indicii o tom, že karbonatace může být za běžných podmínek řízena rozpouštěním Ca(OH)₂ ve vodě v maltě, jsou však i výsledky pokusů publikovaných již v roce 2002.¹² Badatelé studovali na vápenném pojivu vliv teploty a relativní vlhkosti

Tabulka 1

Množství zreagovaného Ca(OH)₂ při karbonatáci pojiva při proměnných klimatických podmínkách po dobu 10 dnů. Výsledky termogravimetrických analýz byly převzaty z práce R. M. Dheilly, cit. v pozn. 10. Zvýrazněny jsou výsledky pro konstantní teplotu 20 °C a rostoucí relativní vlhkost prostředí 30, 60 a 100 %.

relativní vlhkost prostředí v %	teplota v °C	množství zreagovaného Ca(OH) ₂ při karbonatáci v %, v běžné atmosféře, za 10 dnů
30	10	6,5
	20	0
	40	0
60	10	37,1
	20	25,9
	40	19,4
100	10	71,3
	20	47,5
	40	40,2

Tabulka 2

Množství přeměněného CaCO₃ při karbonatáci vápenných malt shodného složení při konstantní teplotě 20 °C, v průběhu 90 dnů, pro odlišné režimy ošetřování opakovaným vlhčením malt po jejich vysušení. Malta "0" – malta bez ošetření; malta "15" – malta 15krát ošetřená; malta "30" – malta 30krát ošetřená. Výsledky gravimetrického testu,¹⁶ převzato z D. Michoinová, cit. v pozn. 2.

označení malty	počet postoupených ošetřovacích cyklů	množství přeměněného CaCO ₃ v %
"0"	0	46,9
"15"	15	95,2
"30"	30	99,5

prostředí na rychlost karbonatace pojiva. Z výsledků v tabulce 1 vyplývá, že například při konstantní teplotě prostředí a zvyšující se relativní vlhkosti prostředí (tedy i zvyšující se vlhkosti pojiva) roste rychlost karbonatace pojiva. Ve studovaném intervalu hodnot byl tedy rostoucí obsah vody v pojivu pro průběh karbonatace příznivý.¹³

Za povšimnutí v tabulce 1 stojí i teplotní závislost rychlosti karbonatace při konstantní relativní vlhkosti prostředí. Z výsledků vyplývá, že při konstantní relativní vlhkosti prostředí (a tedy i při konstantní vlhkosti pojiva) s rostoucí teplotou rychlost karbonatace klesá. Také tento výsledek naznačuje, že rozpouštění vápna je velmi zásadní pro průběh karbonatace, i když v tomto případě je interpretace výsledků poněkud náročnější na souvislosti a znalosti, které vyplývají z fyzikálně-chemických dějů.¹⁴ V souvislosti s předpokladem, že řídicím dějem karbonatace je rozpouštění Ca(OH)₂ ve vodě v maltě, Van Balen v práci cit. v pozn. 11 vyzdvihuje význam tradičního postupu opakovaného vlhčení vápenných malt. Tento postup, variantně s vápennou vodou, byl v minulosti hojně používán, například pro zlepšení kvality omítek nebo po natírání vápnem.¹⁵ V disertační práci cit. v pozn. 2., která se zabývala právě studiem a významem tradičních postupů přípravy a ošetřování vápenných malt, byl význam opakovaného vlhčení vápenných malt při konstantní teplotě studován. Závislost četnosti ošetření na míře karbonatace po 90 dnech je uvedena v tabulce 2.

Z výsledků v tabulce 2 vyplývá, že s rostoucí četností ošetřovacích cyklů (tj. opakovaného vlh-

■ Poznámky

7 Ca(OH)₂ + CO₂ → CaCO₃ + H₂O.

8 D. R. MOOREHEAD: *Cementation by the carbonation of hydrated lime. Cement and Concrete Research*, 1986, no. 16, s. 700–708; K. VAN BALEN, D. VAN GEMERT: *Modeling lime mortar carbonation. Materials and Structures*, 1994, no. 27, s. 393–398; S. MARTÍNEZ-RAMÍREZ, F. PUERTAS, M. T. VARELA BLANCO: *Carbonation process and properties of a new lime mortar with added sepiolite. Cement and Concrete Research*, 1995, no. 25, s. 39–42; K. VAN BALEN: *Carbonation of lime hydrate. Presentation on carbonation of lime – "Weaker may be better: insights into the durability of lime"*. Department of Civil Engineering, Kuleuven R Lemaire International Centre for Conservation, June 11 at GCI, 2000, Katholieke Universiteit Leuven. Záznam ze dne 12. 6. 2003.

9 K. VAN BALEN, 1994, cit. v pozn. 8.

10 D. R. MOOREHEAD, cit. v pozn. 8; R. M. DHEILLY, J. TUDO, Y. SEBAI BI, M. QUÉNEUDEC: *Influence of storage conditions on the carbonation of powdered Ca(OH)₂. Construction and Building Materials*, 2002, no. 16, s. 155–161.

11 K. VAN BALEN: *Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. Cement and Concrete Research*, 2005, no. 35, s. 647–657.

12 R. M. DHEILLY a kol., cit. v pozn. 10.

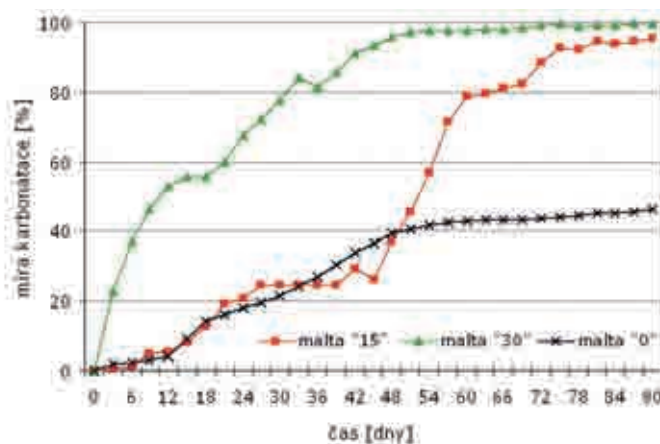
13 To je v rozporu s difuzní teorií a zjednodušeně lze závislost vysvětlit tím, že množství rozpuštěného (a následně zreagovaného) CO₂ a Ca(OH)₂ se zvyšovalo s rostoucím množstvím vody přítomné v pojivu.

14 Pro zájemce o tuto problematiku je vysvětlení uvedeno v disertační práci D. MICHINOVÁ, cit. v pozn. 2.

15 D. MICHINOVÁ, cit. v pozn. 2; A. D. COWPER a D. MICHINOVÁ, cit. v pozn. 3; W. MILLAR: *Plastering Plain and Decorative*. Facsimile edition, first published in 1897, Donhead Publishing Ltd, Dorset 1998.

Autorkou všech fotografií je Dagmar Michoínová.

Obr. 1. Časový průběh změny množství přeměněného CaCO_3 (vyjádřeno v %) při karbonataci vápenných malt shodného složení při konstantní teplotě 20 °C v průběhu 90 dnů, pro odlišné režimy ošetřování opakovaným vlhčením malt po jejich vysušení. Malta „0“ – malta bez ošetření; malta „15“ – malta 15krát ošetřená; malta „30“ – malta 30krát ošetřená. Výsledky gravimetrické analýzy jsou převzaty z D. Michoínová, cit. v pozn. 2.



1

čení prováděného vždy po vyschnutí vápenných malt) za daných podmínek rostl podíl vytvořeného uhličitánu vápenatého (CaCO_3) v maltách. Vliv četnosti ošetřování malt na průběh jejich karbonatace je názorně uveden na obr. 1. Graf demonstruje průběh tří experimentů. Malta označená „0“ nebyla v průběhu 90 dnů ošetřována opakovaným vlhčením. Malta označená „15“ byla vlhčena v průběhu 90 dnů celkem 15krát, a to tak, že ošetřování bylo prováděno až ve druhé polovině experimentu, tedy od 45. dne. Malta označená „30“ byla v průběhu 90 dnů ošetřena 30krát, a to rovnoměrně, po 3 dnech, po celou dobu devadesátidenního experimentu. Nárůst množství uhličitánu vápenatého, který je produktem karbonatace, byl hodnocen tzv. gravimetrickou metodou.¹⁷ Z grafu vyplývá, že ve studovaném intervalu 90 dnů přeměna pojiva postoupila nejméně v případě malty „0“, kdy zreagovalo jen necelých 47 % pojiva, viz také tabulka 2. U malty „15“ je patrný výrazný nárůst podílu uhličitánu po 45. dni, což velmi dobře koresponduje se skutečností, že v tomto období začala být malta opakovaně ošetřována vlhčením. Malta „30“, která byla ošetřována od začátku experimentu, karbonatovala intenzivně zhruba do 50. dne. Poté se podíl uhličitánu limitně blížil ke 100 %. Proces karbonatace byl ukončen. Přesto ošetřování vlhčením pokračovalo až do 90. dne od zahájení experimentu. Ukončení karbonatace v případě malt „15“ a „30“ je v grafu vyjádřeno téměř 100% přeměnou pojiva na uhličitán vápenatý (CaCO_3) v pojivě matici malty, viz také tabulku 2.

Z uvedených teoretických i experimentálních dat lze učinit závěr, že určité množství kapalné vody je pro karbonataci pojiva nezbytné. Kapalná voda v maltě tvoří prostředí pro rozpouštění reagujících složek (a to vápna i oxidu uhličitého). Získaná data odpovídají i našim praktickým zku-

šenostem. Nemůže-li vápenná malta vyschnout, karbonatace neprobíhá. Naopak vyschne-li malta nebo omítka příliš rychle, interval karbonatace je krátký a proces je až do dalšího zvlhnutí malty výrazně zpomalen nebo zastaven. V případě, že je vápenná malta nebo omítka opatřena hydrofobní úpravou, která má za cíl dlouhodobě zamezit průniku kapalné vody do materiálu, proces karbonatace je výrazně zpomalen v daleko delším časovém intervalu. To může mít a má závažné důsledky pro trvanlivost vápenných malt a omítek.

Může-li vápenná malta či omítka vysychat a zůstane-li nasáková, opakované vlhčení za vhodných klimatických podmínek přispívá ke dlouhodobé intenzivnější karbonataci pojiva.¹⁸ Z praxe také víme, že vápenný hydrát musí být ukládán v suchu, tedy musí být chráněn před vlhkostí, aby se zabránilo nežádoucímu znehodnocení pojiva karbonatací,¹⁹ naopak vápennou kaši je ze stejného důvodu nutné dlouhodobě chránit před vyschnutím.

Regenerace uhličitánové matrice

Karbonataci však vytváření pevné struktury vápenných materiálů nekončí. Další fází procesu je tzv. regenerace uhličitánové matrice, kdy se soudržnost matrice za vhodných podmínek obnovuje (regeneruje). To má na vlastnosti vápenných materiálů velmi pozitivní vliv. Mnozí autoři²⁰ dokonce uvádějí, že právě schopnost regenerace uhličitánové matrice je vlastnost, která vápenným materiálům může propůjčovat jejich dlouhodobou trvanlivost. Proces regenerace je zpravidla vysvětlován rekrystalizací a růstem mikrokystalů CaCO_3 z vodného prostředí, tedy vznikem větších krystalů CaCO_3 na úkor zániku krystalů menších. Protože dokonaleji vyvinuté krystaly matrice zlepšují například její mechanické vlastnosti,²¹ také

■ Poznámky

16 Gravimetrický test sledování míry karbonatace je založen na skutečnosti, že s postupující karbonatací vápenného pojiva v maltě roste v souvislosti s přeměnou Ca(OH)_2 na CaCO_3 hmotnost matrice, a tedy i zkušebního tělesa. Ze známého složení malty a ze stechiometrie karbonatační rovnice lze vypočítat hmotnostní nárůsty spojené se vznikem CaCO_3 a vyjádřit nárůst například v procentech.

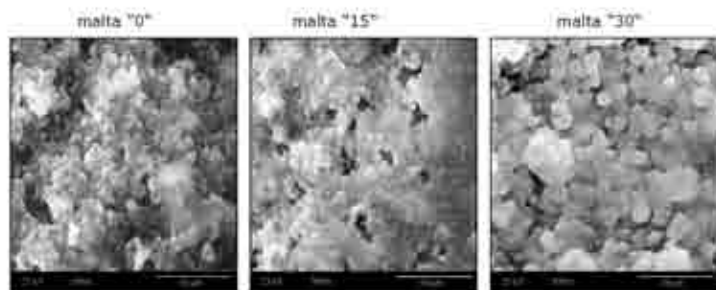
17 Gravimetrické sledování postupu karbonatace bylo prováděno vážením zkušebních těles před ošetřením vlhčením. Ošetření probíhalo po 3 dnech. Nedestruktivním postupem tak lze sledovat časovou závislost procesu.

18 Řízené zrychlení karbonatace pojiva vápenných malt je významné zejména na konci stavební sezony, kdy je žádoucí, aby míra karbonatace pojiva (a tím i například pevnost malty a odolnost proti mrazu) byly co největší.

19 R. M. DHEILLY a kol., cit. v pozn. 10.

20 D. MICHINOVA, cit. v pozn. 2; J. HLAVÁČ, D. MICHINOVA, cit. v pozn. 3; K. VAN BALEN, 1994; K. VAN BALEN, 2000; S. MARTÍNEZ-RAMÍREZ a kol., cit. v pozn. 8; R. M. DHEILLY a kol., cit. v pozn. 10; K. VAN BALEN, 2005, cit. v pozn. 11; D. J. HANNANT, J. G. KEER: *Autogenous healing of thin cement based sheets*, in: Cement and Concrete Research, 1983, no. 13, p. 357–365. W. M. ALLEN, J. L. A. MC DONALD: *Lime as building material*, in: The Structural Engineer, 1993, no. 71, p. 317–318. S. HOLMES, M. WINGATE: *Building with lime*, ITDG Publishing, London 2002. P. DE SILVA, L. BUCEA, D. R. MOOREHEAD, V. SIRIVIVATNANON: *Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure*, in: Cement & Concrete Composites, 2006, no. 28, p. 613–620.

21 P. DE SILVA a kol., cit. v pozn. 20.



2



3



4

Obr. 2. Snímky z elektronového rastrovacího mikroskopu zachycující morfologii vápenné matrice malt shodného složení, ošetřovaných při konstantní teplotě 20 °C v průběhu 90 dní. Ošetřením se rozumí opakované vlhčení malt vždy po vyschnutí. Zleva: malta „0“ – malta bez ošetření; malta „15“ – malta 15krát ošetřená; malta „30“ – malta 30krát ošetřená.

Obr. 3. a 4. Rekrystalizace uhličitánové matrice lící středověké malty ze 13. století z archeologické sondy základového zdiva kostelního dvora při chrámu sv. Martina a Panny Marie v Hainsburgu nad Dunajem, Rakousko. Na snímku jsou dobře patrné nejen odlišné struktury jednotlivých vrstev druhotně transportovaného a rekrystalizovaného pojiva v povrchové vrstvě malty, obdobné struktury jsou zjevné i uvnitř malty, respektive na hranici zrn kamenná.

Obr. 5. Povrch omítky jižního průčelí Horního hradu v Českém Krumlově v místě přechodu nehlazené plochy a hlazené okenní šambrány. Ze struktury velmi pevné, i když klimaticky značně exponované gotické omítky zůstaly i po několika staletích čitelné i drobné detaily, ze kterých lze studovat postup nanášení omítky. Z četného výskytu dilatačních prasklinek lze odhadnout, že omítková malta byla připravena s nadměrným množstvím záměsové vody (dilatace při tuhnutí), porušení celistvosti povrchu v tomto případě nevedlo k destrukci materiálu.

Obr. 6. Pevná a na málo nasávkavém kamení velmi silně ukotvená zdicí malta rozetřená přes líc zdiva. Velmi stabilní situace dochovaná na severní fasádě nejstarší (gotické) části státního zámku Jánský Vrch v Javorníku. Za povšimnutí stojí i kamenivo malty, jehož největší frakce dosahují průměru nad 20 mm.



5



6

zde platí, že odhalení dějů, které tento proces ovlivňují, může být pro péči o historické vápenné materiály velmi přínosné.

Regenerace uhličitánové matrice nebo přesněji rekrystalizace matrice souvisí s tzv. Ostwaldovým zráním,²² tedy se skutečností, že malé krystaly jsou rozpustnější než velké.²³ K regeneraci mikrokrytalů CaCO₃, které vznikly primárně karbonatací, může ve vápenných materiálech docházet jen v přítomnosti kapalné vody a jen za vhodných klimatických podmínek, tj. například za teploty nad bodem mrazu.²⁴

Podobně jako tomu bylo u procesu karbonatace, také u procesu regenerace uhličitánové matrice se v disertační práci²⁵ podařilo prokázat, že opakované vlhčení vyschlých vápenných malt má na regeneraci pozitivní vliv. Jak je patrné z tabulky 3, s rostoucím počtem ošetřovacích cyklů došlo při srovnatelné míře karbonatace pojiva malt „15“ a „30“ k nárůstu mechanických vlastností malty „30“ ošetřené 30krát ve srovnání s maltou „15“, ošetřenou za stejných podmínek jen 15krát. Vedle toho byl u malty „30“ pozorován elektronovou rastrovací mikroskopii výskyt větších krystalů CaCO₃ ve srovnání s maltou „15“, což je patrné na obr. 2.

Odpovídající změny byly zaznamenány také v distribuci pórů v matrici, v odolnosti malt proti mrazu nebo při nedestruktivním vyšetření rychlosti šíření ultrazvukových vln v maltách „15“ a „30“, jak uvádí disertační práce.²⁶

Lze tedy opět shrnout, že také pro regeneraci uhličitánové matrice je rozhodující přítomnost určitého množství kapalné vody ve vápenné maltě, a to za vhodných klimatických podmínek.

Odpovídají výše uvedené výsledky a závěry našim praktickým zkušenostem? Praktické zkušenosti s pozitivním vlivem vody na regeneraci pojiva vápenných malt a omítek jsou podmíněny vzácnou možností častého a blízkého kontaktu s historickými omítanými fasádami nebo například s archeologickými nálezy vápenných malt. A také, jako v jiných případech, schopností pozorovat, poznávat a hodnotit unikátní vlastnosti těchto materiálů. Kdo tyto možnosti a schopnosti má, patrně potvrdí, že na řadě ploch omítek v místech, která jsou do jisté míry opakovaně smáčena vodou, je jejich stav lepší než v místech, která jsou trvale ve srážkovém stínu.²⁷

Také zpevňování vápenných omítek jejich opakovaným vlhčením vodou vnesenou do systému tzv. vápennou vodou²⁸ je jistou indicií o schopnosti uhličitánové matrice rekrystalizovat, tedy regenerovat. Tato procedura, doporučovaná ve

Tabulka 3

Vlastnosti vápenných malt shodného složení, ošetřovaných při konstantní teplotě 20 °C v průběhu 90 dnů. Ošetřením se rozumí opakované vlhčení malt vždy po vyschnutí. Malta „0“ – malta bez ošetření; malta „15“ – malta 15krát ošetřená; malta „30“ – malta 30krát ošetřená.

malta	počet ošetřovacích cyklů	% zreagovaného CaCO ₃	pevnost v tahu za ohybu [MPa]	pevnost v tlaku za ohybu [MPa]
„0“	0	46,9	0,34	0,77
„15“	15	95,2	0,45	1,35
„30“	30	99,5	0,65	1,92

starší odborné literatuře,²⁹ byla ještě v nedávné minulosti na stavbách rutinně prováděna.³⁰ Ostatně, nejsou historické vápenné materiály dochované na mnohých našich památkách nejlepším důkazem schopnosti vápenných materiálů regenerovat a odolávat tak staletím?

Závěrem

Na rozdíl od empirických znalostí našich předků a jejich vyvinutého citu pro materiál se postupně snažíme děje související s optimálními podmínkami pro používání a ošetřování vápenných materiálů nejprve vědecky vysvětlovat a na základě toho se učíme opět s těmito materiály správně pracovat. Zjišťujeme například, že za vhodných podmínek voda, respektive možnost opakovaného vlhčení vápenných malt, omítek i nátěrů dokáže zrychlit procesy, které jsou zásadní pro vytvoření pevné struktury a patrně i pro dlouhodobou trvanlivost těchto materiálů.³¹ Naproti tomu zavlhnutí vápenných materiálů za nevhodných klimatických podmínek je dokáže znehodnotit. Vápenné materiály tedy mohou být za určitých podmínek velmi trvanlivé a i v klimaticky poměrně náročném prostředí střední Evropy mohou odolávat zubu času po dlouhá staletí. Jsou to však současně materiály velmi snadno zranitelné. Neodborným zásahem nebo neznalostí je lze snadno zcela zničit, nevratně poškodit anebo změnit jejich unikátní vlastnosti, a tím provzdušit bránu pro jejich hlubší poznávání. Nejen proto bychom měli k historickým vápenným materiálům přistupovat s velkou rozvahou a opatrností.

Článek vznikl díky finanční podpoře Ministerstva kultury ČR a NPÚ v rámci programu Vědy a výzkumu, úkolu VZ MK 07503233301 – Vědecký výzkum ke zkvalitňování odborně metodického řízení státní památkové péče.

■ Poznámky

22 L. MARTOVSKÁ, M. ŠÍŠKOVÁ: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*, záznam ze dne 5. 6. 2007. http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/.

23 Ostwaldovo zrání je přenos látky z drobnějších částic na částice větších rozměrů, probíhající v reálné polydisperzní soustavě v důsledku vyššího tlaku páry (Kelvinova rovnice) nebo větší rozpustnosti (Ostwaldova-Freundlichova rovnice) menších částic. Tento přenos probíhá až do vzniku soustavy dostatečně hrubě disperzní, v níž jsou rozdíly rozpustnosti nebo tlaku páry částic s různým rozměrem již velice nepatrné a rychlost procesu se stává zanedbatelně malou.

24 Obdobné regenerační děje probíhají velmi pravděpodobně také při regeneraci poškozené (degradované) uhličitánové matrice. Pak lze uvažovat o sekundární regeneraci.

25 D. MICHOLINOVÁ, cit. v pozn. 2.

26 D. MICHOLINOVÁ, cit. v pozn. 2.

27 Podobné rekrystalizační děje, probíhající však ve větším měřítku a v daleko delším časovém intervalu až mnoha tisíciletí, jsou popsány při tzv. krasových jevech. Na některých místech dochází při styku vápenců s vodou k rozpouštění uhličitánu vápenatého a jinde, v místě odparu vody z roztoků, pak ke vzniku krasových útvarů (krápníků).

28 Vápenná voda je nasycený roztok hydroxidu vápenatého (vzdušného vápna) ve vodě, který se mimo jiné stále více používá pro odbornou a šetrnou péči o historické vápenné materiály, zejména historické omítky.

29 A. D. COWPER, cit. v pozn. 3; W. MILLAR: *Plastering Plain and Decorative*, in: Facsimile edition, first published in 1897, Donhead Publishing Ltd, Dorset 1998; B. ŠTORM: *Základy péče o stavební památky*, 1. vydání, SÚPPOP, Praha 1965; S. HOLMES, M. WINGATE: *Building with lime*, 3rd ed., ITDG Publishing, London 2002.

30 Pozitivní zkušenosti se zpevňováním povrchu historických vápenných omítek vápennou vodou má v současnosti již řada památkářů, restaurátorů i omítkářů.

31 Procesy závisí vedle diskutované teploty a vlhkosti i na dalších dějích, jejichž popis je nad rámec tohoto článku.