

Při stacionárním stavu jsou toky vyrovnané, takže platí

$$k_0 s = k_1 n = k_2 m. \quad (6)$$

Z matematického řešení modelu vyplývá pro doby zadržení v jednotlivých rezervoárech

$$\tau_{zadr}^{(n)} = \frac{1}{k_1}, \quad (7)$$

$$\tau_{zadr}^{(m)} = \frac{1}{k_2}. \quad (8)$$

Jak je vidět ze vztahů (7) a (8), doby zadržení

v jednotlivých rezervoárech závisí jen na hodnotách rychlostních konstant k_1 a k_2 . Je však nutno podotknout, že vzhledem k epizodnímu charakteru srážek je diskutovaný systém ve stacionárním stavu jen výjimečně. Jak vyplývá z teoretického modelu, doba zadržení v půdním rezervoáru činí 0,5 dne a v rezervoáru podzemní vody 33,3 dne.

Experimentální data vynesena do grafu $SI = f$ (rychlost skapu) vykazují komplikovaný průběh který nelze jednoznačně aproximovat regresní funkcí (obr. 4). Zdá se však, že mezi průtokem a indexem nasycení převažuje paradoxně přímá úměra. Pro jednoznačnější interpretaci je třeba získat větší množství dat.

PETROGRAFICKÉ ROZBORY MALT, JEJICH RELATIVNÍ DATOVÁNÍ PODLE STUPNĚ DEGRADACE POJIVA

Petrographic mortar and plaster analysis and their relative age determination according to state of matrix degradation

Miroslava Gregerová

Katedra mineralogie, petrologie a geochemie, PřF, Masarykova universita, Kotlářská 2, 611 37 Brno,
e-mail: mirka@sci.muni.cz

Key words: composition, durability, degradation, recrystallization, building plasters, mortars relative age

Abstract:

The presented paper summarizes the result of the research of historical plasters and mortars from the Church of Saint Venceslas in Moravská Ostrava, the Church of the Transition of Virgin Mary in Brantice and from archaeological survey of the basement of the Church of Saint Catherine in Kelč.

The relative dating of particular building stages of the mentioned churches is based on micropetrographic identification of the sand fraction of mortars (in each stage, a different sand was used) and on the degree of recrystallization (ageing) of the original micritic carbonate. The assessment of the plasters and mortars has to take into account the localization (inner, outer plaster) and the altitude of the sampling site and position of the mortar in the wall (plaster, cast mortar, bedding mortar). The orientation of the sampled wall with respect to cardinal points has also to be documented.

Micropetrographic analysis of the sand fraction of mortars and plasters, together with the assessment of the degree of matrix recrystallization, can in almost 90% cases confirm or exclude the assumed age of the particular building stages.

Úvod

Na „stárnutí“ omítek a malt se podílí celá řada faktorů. Vedle vlastního stáří stavby jsou to vlastní složení maltovin, stupeň vytvrnutí pojiva, pozice v rámci stavby, povaha stavebního kamene, klimatické podmínky, vztlínání podzemní vody, pozice výšková, orientace vzhledem ke světovým stranám, izolace stavby, kvalita údržby, přestavby, využití objektu atd.

Prvním projevem bývá snižování kvality vnějšího pláště. Omítka mění svou strukturu, barvu, snižuje se její pevnost, klesá soudržnost s podkladem a v posledním stádiu omítka přestává plnit svou ochranou a estetickou funkci a opadáva.

Nejvhodnější studijní objekty pro doložení výše zmíněných změn kvality malt a omítek poskytli pracovníci muzeí, v jejichž regionu se objekty nacházejí (Muzeum v Ostravě a detašované pracoviště v Opavě).

Vlastní studium bylo provedeno na maltách pocházejících z kostela sv. Václava v Moravské Ostravě, z kostela sv. Kateřiny v Kelči a kostela Nanebevzetí Panny Marie v Branticích.

Středověké jádro kostela sv. Václava v Moravské Ostravě tvoří polygonálně uzavřený presbytář, obvodové zdi trojlodí a pravděpodobně i čtverhranný kubus západní věže. Vznik této stavební fáze předpokládá autor stavebně historického projektu D. Líbal po polovině 14. stol. Archeologickým výzkumem V. Šikulové v 70. letech byly dále zjištěny relikty základového zdiva v presbytáři a obou bočních lodích, které náleží patrně předchozí stavební fázi, vybudované v závěru 13., případně počátkem 14. století. Archeologický výzkum v r. 1998 odhalil základy původně gotické sakristie, vystavěné v rámci druhé stavební fáze a relikty patek sloupů, které pravděpodobně podepíraly plochý trámový strop do doby, než bylo v 16. století trojlodí zaklenuto.

Vzorky ložné malty z kostela sv. Kateřiny v Kelči byly odebrány z vnější strany základu presbytáře. Ten byl dle písemných pramenů vybudován patrně v 80. letech 16. století.

V souboru vzorků z kostela Nanebevzetí Panny Marie v Branticích byly zastoupeny jak ložné malty tak i omítky.

Trvanlivost omítek

Pevnost, tvrdost, difúzní charakter omítky či malty záleží na druhu a vlastnostech použitých surovin, na poměru míšení složek a na podmínkách za nichž malta tvrdla. Některé omítky vykazují po staletí své existence lepší vlastnosti než některé horniny použité na jejich stavbu. Příkladem takovéto vysoce kvalitní malty je pevná, hutná, vápenná malta (cca 3 m² z před románského období), která byla odkryta při vykopávkách v Mikulčicích.

Vznik tvorby pevné vápenné malty či omítky závisí na průběhu procesu vysychání vápenné suspenze, které je provázené smršťováním malty. Rozpouštěním křemene v alkalickém prostředí hydroxidu vápenatého vznikají křemičitany vápenaté a poslední přeměnou je karbonatizace.

Na pevnost vápenné malty má největší vliv proces třetí. Vápenné pojivo ve směsi se záměsovou vodou (spolu s rozpustnými alkalickými křemičitany vápenatými) vyplňuje póry mezi částicemi plniva malty. Vlivem vzdušného oxidu uhličitého vzniká uhličitán vápenatý jenž strukturně odpovídá mikritu. Rychlost karbonatizace je největší při relativní vlhkosti 50-60%, v suchém prostředí neprobíhá vůbec a při vyšší relativní vlhkosti se téměř zastavuje vzhledem k obtížnému pronikání plynného CO₂ pórovým systémem zaplněným vodou (Hošek - Muk 1990). Původně vysoká zásaditost čerstvé vápenné malty (udává se pH 12,5-13,5) postupně klesá na hodnotu cca pH 8. Lze říci, že pevnost vápenné maltoviny závisí na parciálním tlaku CO₂ (jeho normální obsah ve vzduchu je cca 0,03%), na množství, druhu a stupni vyhašení vápna (nehašené vápno urychluje proces tuhnutí, ale "blokuje" postup CO₂ do nitra maltoviny), na porositě malty (vyjadřované vodním součinitelem, poměrem pojivo/plnivo, velikostí a distri-

bučním křivkou pískových zrn), vlhkostí a teplotou prostředí.

Šujanová (1981) vyjádřila rychlost karbonatizace standardní vápenné malty při běžných atmosférických podmínkách takto: během dvou dnů se přeměnilo 59% hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý, za 5 týdnů 75% a za dva roky 86%. Vysvětlení musíme hledat v kvalitě a dokonalosti vyhašení vápenného pojiva (všechny zkoumané vzorky od nejstarších dob až do 19. století obsahují zbytky nevyhašeného vápna).

Relativní datování maltovin

Studiem cca 300 vzorků historických omítek z řady objektů od doby románské po středověk bylo ověřeno, že v rámci daného stavebního objektu je možné stanovit relativní stáří maltovin. Toto je založeno na:

identifikaci látkového složení písčité frakce na stupni rekrystalizace karbonátu

známé výškové úrovni a umístění maltoviny ve vlastní stavbě - orientaci vůči světovým stranám

Datováním na základě identifikace složek písčité frakce a jejího vztahu k pojivu se zabývala Gregerová, Vlček (1994).

Jak již bylo uvedeno výše, tuhnutí vápenné maltoviny je vyvoláno přeměnou hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý, a to vlivem vzdušného oxidu uhličitého. Vznikající uhličitán vápenatý je submikroskopických rozměrů a strukturně odpovídá mikritu. Jeho částečným rozpouštěním a následnou rekrystalizací se objevuje (nejprve v pórovém systému maltoviny a následně v pojivu) mikrokrytalický karbonát (sparit). Podíl sparitu roste s časem. Jeho nárůst však není lineární, ale závisí na celé řadě faktorů.

Degradace malty (stárnutí), probíhající za přítomnosti vzdušné vlhkosti (nebo vztláním vody, vlivem deště a sněhu, umístěním maltoviny ve stavbě na různých světových stranách, v různých výškových horizontech, v místech trvalou vlhkostí, nebo cyklickými změnami) se projevuje především v rychlejších nebo pomalejších rozpouštění mikritu a v postupném zvětšování krystalků kalcitu - vznik sparitu. Dlouhodobým studiem malt a omítek bylo ověřeno, že rychleji probíhají tyto procesy např. v maltách a omítkách připravených hašením nedokonale vypáleného vápna než v maltách s vápnem dokonale vyhašeným. Krystalizační tlak novotvořených krystalků kalcitu (které, podle fyzikálně-chemických podmínek v místě jejich vzniku a času, již bývají mikroskopických rozměrů) vede k poklesu pevnosti malt a následovně k jejich opadávání z líce zdiva.

Ve studovaném souboru vzorků maltovin z kostela Nanebevzetí Panny Marie v Branticích lze pomocí těchto metod rozlišit maltoviny dvou stavebních fází. Zařazení malt k jednotlivým fázím je uvedeno v tab. 1.

Malty starší stavební fáze jsou makroskopicky stejně zbarvené, mají stejnou zrnitost, stejné minerální a horninové zastoupení klastů v písčité frakci. Patří mezi malty zrnitostně a látkově nevytřídění. Ve všech můžeme nalézt úlomky pelosideritů a cihlovou drť. Mají poměrně vysokou příměs jílových minerálů. Všechny vzorky

Starší stavební fáze	
č.vz.	lokalizace
1	k. 908, ložná malta ze základů kruchty v boční kapli
2	ložná malta z líce základu vítězného oblouku 1. stavební fáze
3	ložná malta z vnějšího líce základu východní zdi lodi
4	ložná malta z vnitřního líce základu jižní zdi lodi (čtv. A3, k. 956)
5	ložná malta z jižního líce základu stavby presbytáře (čtv. C2, k. 902)
6	čtv. A3, k. 906, ložná malta z vnitřního líce jižní zdi lodi
Mladší stavební fáze	
7	ložná malta z koruny severní zdi lodi
8	vnitřní omítka z koruny severní zdi lodi (kolem roku 1593)
9	mladší vnitřní omítka z koruny severní zdi lodi

Tab. 1 - Rozdělení studovaných malt z kostela Nanabevzetí Panny Marie v Branticích k jednotlivým stavebním fázím.
Tab. 1 - The classification of studied mortars of Transition of Virgin Mary church in Brantice within individual construction phases.

obsahují příměs organické látky, která se svými optickými vlastnostmi nejvíce podobá vaječnému bílku. Ve výbrusových preparátech malt je patrná rekrystalizace mikritového pojiva. Velikost sparitu se pohybuje mezi 0,1 - 0,05 mm.

V relativně mladší stavební fázi je výjimečný vzorek č. 9, který tvoří dvouvrstvá omítka. Rozdíl v rekrystalizaci pojiva a ve složení píscité frakce mezi oběma vrstvami je tak malý, že nelze jednoznačně stanovit zda jde o jednu stavební fázi nebo o mladší opravu.

Ve studovaném souboru vzorků maltovin (viz tab. 2, 3, 4) z kostela sv. Václava v Moravské Ostravě lze rozpoznat tři stavební fáze.

Skupina a) a b), které byly rozpoznány v nejstarší stavební fázi, se liší stupněm rekrystalizace mikritu a mocností sparitových vrstviček. Skupina b) má vyšší podíl sparitu a krystalky jsou větší.

Zcela ojedinělé jsou vzorky malty pocházející z kostela v Kelči. Vzorky ložné malty z kostela sv. Kateřiny v Kelči. Vzorky byly odebrány z vnější strany základu presbytáře. Ten byl dle písemných pramenů vybudován patrně

v 80. letech 16. století. Jde o vzorky pocházející z odkrytých základů kostela v nichž je rekrystalice pojiva a mocnost vláknitých krystalků kalcitu mocná až 5mm, což by odpovídalo přibližně rychlosti rekrystalizace kalcitu 0,5 - 1,25 mm za 100 let.

Souhrn

Výsledky studia provedené na souboru cca 30 vzorků malt a omítek prokázaly, že mikropetrografické rozborů píscité frakce malt a omítek spolu s rekrystalizací pojiva mohou až s 95% pravděpodobností potvrdit či vyvrátit předpokládané stáří jednotlivých stavebních fází. Poměry míšení vápna:písku, doporučené Šujanovou (1981) pro odlišování malt a omítek používaných v době románské, gotické a renesanční nebyly ve studovaném potvrzeny.

Výzkumy jsou prováděny za podpory grantu GAČR r. č. 103/99/0941 „Zajištění spolehlivosti a životnosti staveb - ochrana konstrukcí před účinky degračních procesů“.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
pojivo	24	44	36	46	33	41	25	43	39	45	67	53
póry	20	12	16	12	12	12	11	16	17	19	5,6	8,7
písek	56,1	50,3	46,9	42,3	55,3	45,5	63,7	40,9	43,3	36,3	26,4	38,3
Látkové složení píscité frakce												
křemen	25	14	17	17	5,9	7,2	9,7	8	14	13	12	2,9
kvarcity+metakvarcity	9,9	14,9	23,7	14	9,2	18	40	22	17	12	6,7	9
úlomky ostatních hornin	20	11	2,7	8,3	12	4,2	6,4	9,7	8,2	8,5	6,8	8,9
živce	0,6	3,4	3,1	2,5	1,7	3,4	4	1,2	3,4	1,9	1,9	1,4
akcesorie	0,4	7	0,3	0,2	0,8	0,7	0,1		0,3	0,6	0,2	0,8
karbonáty	0,2		0,1	0,3	23	10	3,2		0,2	0,1		14
slídy					2,7	2	0,3		0,2	0,2		1,6

Tab. 2 - Látkové složení studovaných malt a omítek kostela sv. Václava v Moravské Ostravě.
Tab. 2 - Material composition of studied mortars and plasters of St. Venceslav church in Moravská Ostrava.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
vápno	1	1	1	1,1	1	1	1	1,04	1	1,2	2,5	1,3
písek	2,3	1	1,3	1	1,6	1,15	2,6	1	1,16	1	1	1

Tab. 3 - Poměry mezi vápnem a pískem ve studovaných maltách a omítkách kostela sv. Václava v Moravské Ostravě.
Tab. 3 - Rates of lime and sand in studied mortars of St. Venceslav church in Moravská Ostrava.

Nejstarší stavební fáze		
skupina	č.vz.	lokalizace v objektu
a	1	vzorek z vnější strany základu jižní zdi presbytáře (k. 900)
	3	vzorek ze základu opěráku severní zdi trojlodí v prodloužení vítězného oblouku (k. 906)
	4	vzorek ze soklu mezi první dvojicí mezilodních pilířů (k. 908)
	10	vzorek ze vnitřní strany základu věže (k. 917)
b	2	vzorek z vnější strany základu gotické sakristie (k. 904)
	9	vzorek z vnitřní strany severního základu vítězného oblouku (k. 915)
	7	vzorek z vnitřní strany základu jižní zdi trojlodí (k. 912)
	8	vzorek z vnitřní strany jižního základu vítězného oblouku (k. 914)
Mladší stavební fáze		
	5	vzorek z reliktu základového zdiva v severní boční lodi (k. 909)
	6	vzorek z reliktu základového zdiva v jižní boční lodi (k. 910)
	13	vzorek malty ze závěru st. Kostela
Nejmladší stavební fáze		
	12	vzorek malty z vnější strany klasicistní sakristie (1803-1805)

Tab. 4 - Rozdělení studovaných malt z kostela sv. Václava v Moravské Ostravě k jednotlivým stavebním fázím.
 Tab. 4 - The classification of studied mortars of St. Venceslav church in Moravská Ostrava within individual construction phases.

Literatura:

- Gregerová, M. - Vlček, R. (1994): Petrografická a geochemická charakteristika malt a omítek kostela sv. Petra a Pavla v Brně. - Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 1993, 104-105. Brno.
 Hošek, J. - Muk, J. (1990): Omítky historických staveb.- SPN, 143 str. Praha.
 Šujanová, O. (1981): Povrchové úpravy pamiatkových objektov.- Sborník ze semináře SÚPSOP.

VZDUŠNÉ MALTY HISTORICKÝCH STAVEB, JEJICH IDENTIFIKACE, PŘÍČINY DEGRADACE A NÁVRH SANACE

Calcareous mortars and plasters of historical buildings, their identification, causes of degradation and remediation proposition

Miroslava Gregerová

Katedra mineralogie, petrologie a geochemie, PřF, Masarykova universita, Kotlářská 2, 611 37 Brno,
 e-mail: mirka@sci.muni.cz

Key words: *composition, degradation, conservation, building plasters and mortars, replacement, historical structures*

Abstract:

The paper is an overview study oriented on technological classification of mortars and plasters used in various historical epochs in buildings. It summarizes their physical, textural and material parameters that have to be taken into account in remediation. The necessity of such an approach is demonstrated on a case, when the original raw material (limestone) used for lime burning in certain historical era cannot be identified even in case the source area is known. This confirms the presumption that the composition of the current limestone beds differs from the limestone that had been exploited at the same places in the past.

Úvod

Omítky a malty obecně byly na stavbách používány již v dávné minulosti. Chceme-li postihnout druhovou

a typovou rozmanitost maltovin historických objektů a vytvořit předpoklady pro kvalifikované posouzení, případně navrácení původního vzhledu objektu, musíme vyjádřit základní a určující hlediska jejich rozdělení.