

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

**Stanovení vlastností vápenných malt a omítek
na bázi vápenných kaší připravených hašením
různých pálených vápen**

Lenka Černotová

Bakalářská práce

2008

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice (pobočka FR Litomyšl).

Na tomto místě bych chtěla co nejsrdečněji poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Karolu Bayerovi a Ing. Renatě Tišlové, Ph.D., kteří mně poskytli mnohé cenné rady a podporu při vypracování.

V Litomyšli dne 5. 9. 2008

Lenka Černotová

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na porovnání zpracovatelských a užitkových vlastností maltových směsí na bázi bílého vzdušného vápna připravených tradiční a průmyslovou technologií.

V teoretické části je zpracována rešerše shrnující základní informace o složkách malt, jejich přípravě, vlastnostech a užití, doplněné o historický vývoj.

V experimentální části jsou studovány tři typy vápenných pojiv, které se lišily podmínkami výpalu, surovinou a dobou uležení. Testovány byly vápenné kaše připravené pálením z vápence Vitošov tradičním postupem pálení v polní peci. Teplota výpalu se pohybovala v rozmezí 850 – 900 °C a lze toto vápno klasifikovat jako měkce pálené. Další pojivo bylo připraveno z komerčně dostupného páleného vápna z lokality Mokrý u Brna za teploty výpalu 1 000 °C. Z tohoto byly připraveny tři typy pojiva, které se lišily dobou uležení, resp. úpravou vlastností - mícháním. Vlastnosti byly porovnávány s maltou připravenou z dlouhodobě uleželého vápenné kaše z lokality Šosůvka.

Na základě výsledků se jeví jako nejvhodnější malty, jejichž pojivem je měkce pálené vápno vzniklé v polní peci tradiční technologií. Čerstvé malty se vyznačovaly výbornými zpracovatelskými vlastnostmi, vysokou plasticitou a vysokou okamžitou přídržností. Malty připravené z tohoto typu pojiva rychle karbonatizovaly. Dlouhodobě odleželého vápno z lokality Šosůvka nespĺnilo přepokládané očekávání na dobré zpracování, malta se vyznačovala menší objemovou stálostí a vyžadovala nanášení v tenčích vrstvách. Tvrdě pálená vápna lze charakterizovat horšími zpracovatelskými i užitkovými vlastnostmi, které se zlepšují s dobou uležení. Na závěr je nutné říci, že hlavní vliv na kvalitu vápenných malt nemá pouze výchozí surovina a podmínky přípravy, důležitým faktorem je také samotný průběh dalšího zpracování pojiva – hašení a následně jeho uležení. Dále má významný vliv způsob přípravy a zpracování malt.

Klíčová slova

hašení vápna, malta, omítka, plnivo, pojivo, vápenná kaše, vápno

Abstract

This bachelor work focuses on the comparison of manufacturing and utility properties of white-lime based mortar mixtures, prepared in a traditional, and industrial way.

There is a research elaborated in the theoretical part of this work, summarizing basic information about the components of the mixtures, about preparing, their properties and applications, completed with the historical development. In the experimental section there are three types of lime binders studied, differing in burning-conditions, raw material and the period of out-standing. The lime pulps, prepared in a traditional way by burning Vitošov limestone in a traditional kiln were tested. The temperature of burning was between 850-900 °C, so this lime can be as soft-burnt classified. Another binder was prepared from a commercially available lime from the Mokrá u Brna locality with 1000 °C burning temperature. There were three types of binder prepared from it, differing in the period of maturing, or in the modifying of the properties by mixing. The properties were compared with those of another lime pulp originated at Šošůvka locality.

Evaluating the results of the research, those mixtures appears most suitable, that were prepared by traditional technology in the kiln, soft-burned. These fresh mortars were characterized by excellent manufacturing properties, high plasticity and good immediate adhesion. The mortars prepared from this binder were quickly carbonating. The lime, matured in a long term, dishonoured the requirements of good manipulation, the mortar was characterized by low volume constancy and allows only a thin layer spreading. Hard-burnt limes can be characterized by worse manufacturing and utility properties, that are getting better with the longer term of maturing. It must be said at the end, that it is not only the raw material and the conditions of preparing, that has the main influence on the quality of lime mortars, the following process of working the binder out (burning, slaking and maturing the lime) is also an important factor. Preparing the mortars, suitable technology is conclusive.

Keywords

lime slaking, mortar, plaster, filler, binder, lime paste, lime

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Ateliér restaurování malby a sgrafita
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka ČERNOTOVÁ**
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Restaurování a konzervace nástěnné malby a sgrafita**

Název tématu: **Stanovení vlastností vápenných malt a omítek na bázi vápenných kaší připravených hašením různých pálených vápen .**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Autorka zpracuje literární rešerši na téma přípravy a zpracování vápenných malt a omítek. Zvláštní pozornost bude věnována historickým postupům a technologiím jejich přípravy v různých časových obdobích.

V praktické části práce otestuje vlastnosti připravených malt a omítek a ohodnotí je vzhledem k použitému pojivu. Jako pojiva budou použity vápenné kaše připravené hašením pálených vápen získaných různou technologií výpalu. Studentka provede měření vybraných vlastností malt – ohodnocení zpracovatelských a uživatelských vlastností, měření fyzikálních charakteristik. Výsledky doplní odpovídající diskusí.

Při psaní, úpravě textu i příloh bude dodržovat pravidla psaní bakalářských prací stanovených FR UPCE.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Kol. autorů, Vápno, STOP, 2001.

Michoinová, D., Příprava vápenných malt v péči o stavební památky, Informační centrum ČKAIT, Praha 2006.

Wingate, M., Small-scale lime burning, A practical introduction, ITDG Publishing, 1985.

Cement and Concrete Research

Journal of American Ceramic Society

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Karol Bayer

Katedra chemické technologie FR

Datum zadání bakalářské práce:

30. října 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. srpna 2008

L.S.

doc. Jirí Novotný, akad. sochař

děkan

MgA. Luboš Machačko

vedoucí ateliéru

due

Obsah

1.	Úvod	5
2.	Teoretická část	6
2.1	Malty pro omítky	6
2.2	Pojiva	10
2.2.1	Vzdušné vápno	11
2.2.1.1	Historie výroby vápna	11
2.2.1.2	Vápno na našem území	12
2.2.1.3	Výroba vzdušného vápna	13
2.2.1.4	Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna	17
2.3	Plniva	18
2.4	Aditiva	19
2.5	Typy omítek	23
2.6	Složení omítek v různých historických obdobích	25
2.6.1	Románská architektura (11., 12. a pol. 13. stol)	25
2.6.2	Gotická architektura (13. – 15. stol)	26
2.6.3	Omítky renesance a manýrismu (konec 15. – poč. 17.stol)	27
2.6.4	Barokní omítky (17 – 18. stol)	28
2.6.5	Klasicizující a historizující omítky (přelom 18. - pol. 19. stol).....	29
2.7	Chemicko-technologický průzkum omítek jednotlivých historických období	29
2.7.1	Gotická architektura (13. – 15. stol.)	30
2.7.2	Renesance (konec 15. – poč. 17.stol.).....	31
2.7.3	Baroko (17 – 18. stol.)	34
2.7.4	Klasicismus a historizující směry	36
3	Praktická část	37
3.1	Použité materiály	39
3.1.1	Plnivo	39
3.1.2	Pojiva	40
3.2	Typy použitých vápenných kaší	41
3.3	Použité metody	42
3.3.1	Granulometrie	42
3.3.2	Silikátová analýza (zjednodušená).....	42
3.3.3	Stanovení sušiny	43
3.3.4	Poměr obsahu vody a sušiny v pojivu	43
3.3.5	Sledování užitkových vlastností	44
3.3.6	Pevnost v tahu čerstvé malty	44
3.3.7	Zkouška objemové stálosti vytvrdlých malt, plasticita čerstvých malt	46
3.3.8	Optimální tloušťka nanášené vrstvy	47
3.3.9	Termická analýza	47
3.4	Vyhodnocení a diskuse výsledků	48
3.4.1	Stanovení vlastností vápenných kaší a stanovení sušiny	48
3.4.2	Příprava maltových směsí	50
3.4.3	Aplikace směsí na podklad	50
3.4.4	Okamžitá pevnost v tahu	54
3.4.5	Zkouška objemové stálosti vytvrdlých malt, plasticita čerstvých malt	55
3.4.6	Optimální tloušťka nanášené vrstvy	60
3.4.7	Hodnocení stavu malt po šesti měsících	64
3.4.8	Termická analýza	67
4	Závěr	71
	Literatura	74
	Seznam obrázků	75
	Seznam tabulek	76

1. Úvod

Jakožto student restaurování a konzervace nástěnné malby a sgrafita si plně uvědomuji, že malby nejsou samostatným objektem, ale součástí celku, který je nutno pojímat v celé jeho šíři. Jen na základě tohoto komplexního pochopení je možné zvolit nejlepší způsob obnovy. Z tohoto pohledu je nutné za nedílnou součást nástěnných technik považovat i omítky, jejichž kvalita a charakter výrazně ovlivňují vlastnosti celého celku.

Faktorů, které ovlivňují kvalitu omítek je celá řada. Pokud se zaměříme pouze na vápenné omítky, které se v restaurování uplatňují velmi často, lze jejich zpracovatelské i finální vlastnosti výrazně ovlivnit kvalitou pojiva a následnou technologií a zpracováním malt.

Cílem této práce bylo stanovit a porovnat vlastnosti vápenných malt připravených z vápenných kaší, které byly zhotoveny hašením pálených vápen připravených různou technologií a které se lišily dobou uležení. Součástí práce bylo ohodnotit vliv nejdůležitějších faktorů na jejich vlastnosti, tj. zejména postup při přípravě pálených vápen, doba uležení.

2. Teoretická část

2.1 *Malty pro omítky*¹

Malty jsou směsi pojiv (maltovin) s plnivou (písky, drtě atd.), přísadami a s vodou. Mají kašovitou konzistenci, a využívají se ke spojování stavebních prvků a k úpravě povrchu staveb. Obsah a typ pojiv, plniva, přísad a množství vody určují výslednou kvalitu směsi.

Typy malt:

- jílové
- sádrové
- vápenné
- vápenné modifikované pucolány
- z hydraulického vápna
- cementové
- nastavované (vápno - hlínové, vápno - sádrové, vápno - cementové)
- speciální (odsolovací apod.)

Jílové – jsou historicky nejstarší, používaly se na spojování nepálených cihel, později i na omítání. Pojivem byl jíl nebo jílové hlíny, někdy se přidávalo i vzdušné vápno, které vázalo částičky neplastických složek. Jíly jsou charakteristické vrstevnatou strukturou, vysokou plasticitou, značným smrštěním při vysychání, bobtnáním vodou, nerozpustností ve vodě.

¹ Kotlík P.: *Stavební materiály historických objektů*. 1. vyd. 1999
Michoinová, D. : *Příprava vápenných malt ve stavební památkové péči*
Rovnaníková, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002

Plnivem byl písek doplněný o vláknité materiály (řezanka, plevy, pazdeří, proutí, smrkové jehličí, piliny, štětiny apod.), které měly zmírnit tahové napětí při vysychání plastických hlín. Poměr závisel na kvalitě pojiva (většinou se pohyboval v rozmezí - pojivo ku plnivu 1:1 až 1:3).

Sádrové malty - v současnosti se podobně jako v minulosti užívají hlavně k omítání nebo štukové výzdobě interiérů (důvodem jejich nevhodnosti pro užití v exteriéru je částečná rozpustnost síranu vápenatého ve vodě a tudíž jeho neschopnost odolávat vzdušné vlhkosti). Vlastnosti maltovin na bázi síranu vápenatého zásadně ovlivňuje typ použité „sádry“ (od poměrně rychle tuhnoucího hemihydrátu až po tzv. vysokopálené sádry obsahujících značný podíl bezvodého síranu vápenatého – anhydritu). Vedle plniva, pojiva a vody obvykle mohou sádrové maltoviny obsahovat ještě zpomalovač tuhnutí případně jiné přísady, které upravují fyzikálně-mechanické vlastnosti výsledné malty. Objemový poměr pojiva a plniva, které není vždy nezbytné v potazu na účel použití malty, většinou bývá 1:1 může však být až 1:3 (se stoupajícím množstvím plniva klesá citlivost omítek k vlhkosti okolí, rychleji vysychají). Sádro není vhodné používat v kombinaci s některými hydraulickými pojivy (např. cementem). Tato kombinace může mít za následek vznik ettringitu nebo thaumasitu, které díky své krystalické struktuře způsobují rozpad malt. Omítky, jejichž pojivem je sádra, jsou citlivé na zvýšené teploty, vlhkost a vodu.

Vápenné malty – na historických objektech našeho regionu jsou nejrozšířenějším typem malt. Mezi vápenné pojiva se řadí tzv. vzdušná vápna (podrobnější popis v kapitole 2.2.1). a vápna hydraulická. Tzv. vzdušná vápna vytvrzují reakcí s oxidem uhličitým ze vzduchu – karbonací. Hydraulická vápna nebo vápna s hydraulickými vlastnostmi tvrdnou i reakcí s vodou – hydratací (obvykle kombinace karbonatace a hydratace). Vlastnosti vápenných malt jsou opět ovlivněny typem a kvalitou pojiva, typem plniva, poměrem míchání, způsobem zpracování, případně různými aditivy.

Vápenné malty modifikované pucolány – *pucolán* je křemičitý nebo křemičito–hlinitý materiál (obsahující amorfni SiO_2 , reaktivní formy Al_2O_3 a bezvodné

hlinitokřemičitany), který je přidáván do vápenných (nebo někdy i cementových) malt za účelem dosažení hydraulických vlastností pojiva. Samostatně nejsou pucolány schopné hydraulické reakce, avšak v jemně mleté formě a za přítomnosti vlhkosti jsou schopné reagovat s hydroxidem vápenatým i za běžných teplot, při čemž vznikají sloučeniny s výraznou pojivou schopností.

Pucolány lze rozdělit podle původu na:

- přírodní (tufy, tufity, perlit, diatomit...),
- technogenní (pálené jíly – metakaolin, cihelná moučka, popely, popílky ze dřeva, slámy, uhlí a dalších přírodních materiálů).

Vznik pevnější a odolnější struktury výsledné omítky závisí na mnohých faktorech (druh pucolánu, pucolánové aktivitě, velikosti zrn, kvalitě použitého vápna, okolních podmínkách – teplotě, R_h , CO_2). Při reakci pucolánů vznikají produkty, které jsou stálé ve vodě. Na základě tohoto faktu a výše zmíněných zkvalitnění mají tyto malty resp. omítky z nich vytvořené, delší životnost než omítky čistě vápenné.

Malty z hydraulického vápna – jsou známy již z historie. Díky obsahu hydraulických oxidů (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) připomínaly charakterem portlandský cement. Hydraulické vápno obsahuje složky, které hydratují za vzniku sloučenin odolných proti vodě. Je charakterizováno tzv. hydraulickým modulem H_M :

$$H_M = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Podle něj vápna dělíme na :

- silně hydraulická $H_M = 1,7$ až 3 (před použitím se nehasí),
- středně hydraulická $H_M = 3$ až 6 (před použitím nutná reakce s vodou),
- slabě hydraulická $H_M = 6$ až 9 (před použitím nutná reakce s vodou).

Hašení u hydraulických vápen probíhá průmyslově, na trh se dodávají v práškové formě. Malty s hydraulickým pojivem jsou charakteristické vyšší pevností

a odolností proti vnějším atmosférickým podmínkám, ve srovnání s maltami s čistě vápenným pojivem. Na základě tohoto mají předpoklad delší životnosti.

Cementové malty – portlandský cement je hydraulické pojivo (na našem území používaný od roku 1890) vyráběné jemným rozemletím křemičitanového slinku s hlavní přísadou sádrovce. Vzniklý křemičitanový slinek se pak mele s přísadou sádrovce na finální produkt. Tvrdnutí cementu je čistě hydraulicko – hydratační reakce hydraulických sloučenin s vodou. Od hydraulických vápen se kromě vlastností (např. vyšší pevnost po vytvrnutí) liší i přítomností hydraulické sloučeniny – tricalciumsilikátu (alit), který vzniká při pálení slinku za vysokých teplot. Tato sloučenina je původcem počátečních i konečných pevností hydratovaného cementu (po velmi rychlé reakci s vodou). Pevnou strukturu cement získává hydratací, při níž vznikají hydratované produkty (křemičitany a hlinitany vápenaté), mající gelový nebo krystalický charakter. Cementové (či vápeno-cementové) omítky se svým charakterem (především vysokou pevností, nízkou porositou) jeví v mnohých případech jako nevhodné při opravách historických objektů, na kterých byly původně použité vápenné malty. Výjimkou jsou v tomto případě památky z minulého nebo konce 19. století, při jejichž stavbě již byly tyto malty často užívány.

Nastavované malty – jsou to malty obsahující dvě pojiva. např. vápno – sádrové, užívající se k omítání hlavně interiérů. Tyto mají díky své kombinaci, kdy obsah jednotlivých pojiv může být různý, buď převládá vápno nebo naopak sádra (podle potřeby požití), výhodně upraveny vlastnosti výsledné malty. Oproti čistě vápenným maltám mají vyšší pevnost a rovněž vyšší konečnou tvrdost.

Speciální malty – z širokého výčtu všech speciálních malt zmiňme např. alespoň v oblasti památkové péče často užívané odsolovací a sanační malty. Bližší charakteristika a přehled jednotlivých druhů malt, které do této skupiny spadají, již není předmětem této práce.

2.2 Pojiva²

Pojivem, nazýváme anorganické a organické látky, které po smíchání s kapalinou tvoří plastické pasty (kaše), které po určité době ztvrdnou a tvoří pevné hmoty, v případě malt a betonu se jedná o pojiva, která nazýváme **maltovinami**. Mají anorganický původ a po smíchání s vodou a vybraným plnivem tvoří plastické dobře zpracovatelné směsi. Ty mohou být použity na různé účely (zdění, štuková výzdoba, spárování kamenného zdiva, různé typy omítek). Výroba a použití anorganických pojiv je spojeno v historii se starými kulturami.

Maltoviny, jako druhy pojiva můžeme rozdělit do skupin podle různých hledisek:

Způsob výroby (teplota výpalu):

- bez výpalu – jílové,
- odvodněním – sádra,
- rozkladem – **vápno**,
- slinutím – křemičitanové cementy,
- tavením – hlinitanové cementy.

Průběh tuhnutí a tvrdnutí:

- **vzdušné maltoviny** – po rozmíchání s vodou tuhnou a tvrdnou na vzduchu buď vysycháním (hlína, částečně vápno), vázáním vody (sádra), nebo vázáním oxidu uhličitého (vápenný hydrát) – ve vodě jsou nestálé a neměly by být aplikovány na místech, kde je trvalá vlhkost.
- **hydraulické maltoviny** – po zatuhnutí na vzduchu tvrdnou i pod vodou a mohou být trvale vystaveny jejím účinkům (hydraulické vápno, cementy).

Předmětem bakalářské práce bylo zkoumání pojiv ze skupiny vzdušných vápen, proto je tento typ pojiva v následující kapitole charakterizován podrobněji.

² Jirásek, J., Vavro, M.: *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3 - elektronická verze

2.2.1 Vzdušné vápno

Patří mezi typické představitele **vzdušných pojiv** a zároveň je jedním z nejdéle používaných pojiv vůbec. Hlavní složkou vzdušných vápen je **oxid vápenatý** (CaO) resp. hydroxid vápenatý $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s různým podílem **oxidu hořečnatého** (MgO), vyráběný pálením poměrně čistých, vysokoprocentních nebo dolomitických vápenců pod mez slinutí, tj. na teploty 1000 – 1 250 °C. Podle obsahu MgO se vzdušné vápno zpravidla dělí na:

- **vápno vzdušné bílé** s obsahem MgO pod 7 %,
- **dolomitické vzdušné vápno** s obsahem MgO nad 7 %.

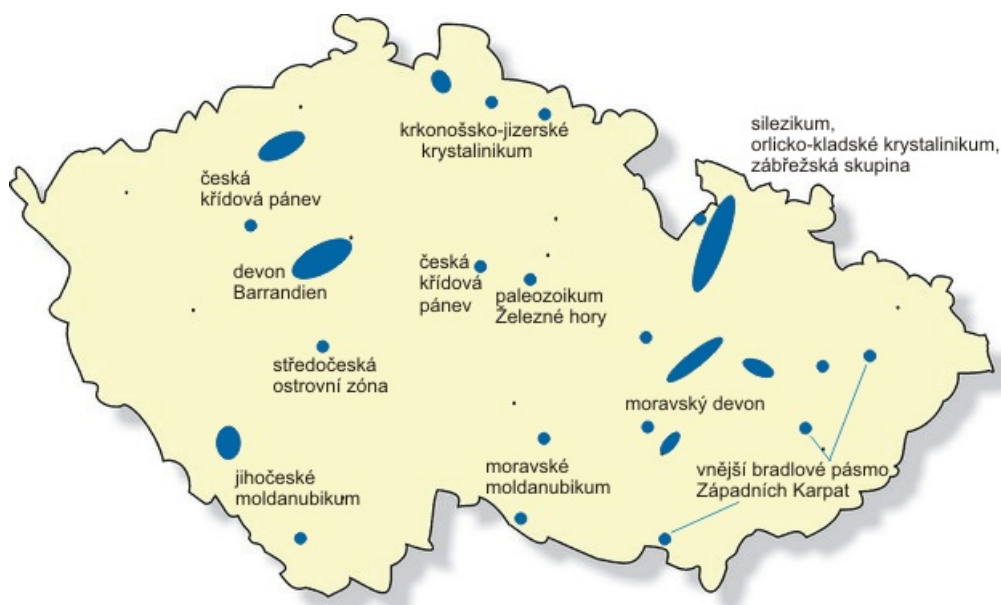
2.2.1.1 Historie výroby vápna

Vápno je používáno již od starověku. (Zmínky o něm lze nalézt v knihách Mojžíšových a ve Starém zákoně). První nálezy vápenných pojiv pocházejí ze staveb, nacházejících se na území dnešní Sýrie, které jsou datovány do doby přibližně 7000 let př.n.l. Prokazatelně se používalo v době výstavby egyptských pyramid, což je potvrzeno na základě analýz malt těchto historických staveb. Užívalo se ve směsi se sádrov v procentuálním zastoupení přibližně 45 % sádry, okolo 40 % uhličitanu vápenatého a zhruba 15 % nerozpustného zbytku. Pojivo tedy bylo zřejmě připravováno pálením sádrovce, znečištěného uhličitanem vápenatým a následně bylo ostřeno vápencem. Z Egypta se výroba a použití rozšířila rovněž do Fénicie, Mezopotámie a dále do Číny, Řecka a Říma. K velkému rozmachu v použití vápna společně s výrazným zdokonalením technologie došlo v období Římské říše. Římané považovali vápno za nepostradatelné stavivo, které používali na všech významných stavbách. V řadě případů se ale jednalo, z dnešního pohledu, o hydraulické vápno, připravované smícháním páleného vápna a přírodních pucolánů (vulkanických popelů a skel). S pádem římského impéria dochází rovněž k úpadku „vápenných“ technologií .

2.2.1.2 Vápno na našem území

Na našem území se vápno začalo používat nejdříve u sakrálních staveb a obytných staveb panovníků a šlechty. Pravděpodobná první zmínka o výrobě vápna u nás pochází z roku 999, kde se hovoří o vápence, kterou vlastnil Břevnovský klášter benediktinů. Velkého rozmachu dosáhlo použití vápna zejména za vlády Karla IV., který nechal vybudovat řadu významných staveb. V té době se vápno pálilo z vápenců z Podolí, Bráníka, Zlíchova a Radlic. Zejména tzv. staropražské vápno z Bráníka bylo velmi ceněno a pod názvem „Pasta di Praga“ se vyváželo do Benátek, Německa či Anglie. (Bohuslav Balbín v díle „Miscellanea historica regni Bohemiae“, vydaném na konci 17. století vyzdvihuje kvalitu českého vápna, především bělost vápence a čistotu z něj vyrobeného pojiva). Na konci 18. století bylo známé velmi kvalitní hydraulické vápno, pálené Františkem Hergetem na Zlíchově. Největší rozvoj výroby vápna pak nastal v polovině 19. století v souvislosti s rozvojem průmyslové výroby, kdy vyvstala potřeba stavět rozsáhlé účelové stavby. Ve třetí čtvrtině 19. století se v českých zemích začal vyrábět cement, který vápno vytlačil z některých aplikací. Přesto si vápno zachovalo svoji pozici jako základ zdících malt a omítek a také jako nátěrová hmota. Vápno se začalo používat i v dalších odvětvích, zejména v metalurgii, chemickém průmyslu nebo zemědělství. Vápenictví se vedle Prahy v průběhu historie svého vývoje rozvíjelo všude, kde byl dostatek vhodných surovin (obr. 1), tj. v severních Čechách (okolí Lovosic), v Pošumaví, v Železných horách (okolí Prachovic a Vápenného Podola) a v Podkrkonoší (okolí Vrchlabí, Albeřic). Na Moravě byly významné vápenky v Jeseníkách, Štramberku, Tlumačově, v oblasti Moravského krasu, Brně a v Mikulově. Vápenky vyráběly převážně vápno vzdušné, v Čížkovicích a Tlumačově se vyrábělo vápno hydraulické. Hydraulické vápno, vyráběné z vápenců z lomu u Kurovic v okolí Tlumačova mělo vynikající vlastnosti a bylo známo pod názvem „kurovina“ .

V současné době vyrábí vápno v České republice pět společností. Ročně se u nás vyrobí zhruba 1200 kt vápna, z čehož asi 160 kt představuje vápenný hydrát .



Obr. 1 Ložiskové oblasti vápenců v České republice

2.2.1.3 Výroba vzdušného vápna

Vzdušné vápno se vyrábí pálením vápence (uhličitanu vápenatého - CaCO_3 vyskytující se v přírodě s různým obsahem příměsí) nebo ze sráženého uhličitanu vápenatého, který odpadá při různých chemických výrobcích. Tuto surovinu je nezbytně nutné před pálením technologicky upravit.

Charakteristické vlastnosti a faktory ovlivňující kvalitu:

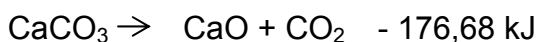
- **Suroviny pro výrobu (kvalita vápenců)** – hlavní součástí vápenců je uhličitan vápenatý, pro výrobu vápna jsou u nás nejpoužívanější přírodní čisté vápence, které obsahují od 95 – 100 % uhličitanu vápenatého, výpalem vzniká velmi čisté vápno. Další složky, které mohou být ve vápenci vedle uhličitanu vápenatého obsaženy, jsou jílové minerály (vhodné pro výpal – hydraulických vápen) a také určité množství uhličitanu hořečnatého (vhodné pro výpal – dolomitických vápena).

- **Příměsi ve vápně:**

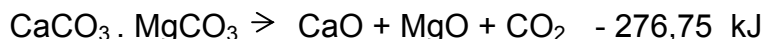
- *Primární znečištění* – při usazování, které je homogenní.
- *Sekundární znečištění* - infiltrací vod unášející různé látky, které jsou ve vápencích nerovnoměrně koncentrovány.

- **Postup výpalu (teplota a rychlost výpalu)**

Výpal probíhá – v různých typech pecí a pecních agregátů při teplotách 1000 až 1250 °C. V současnosti se pro výpal používají ostře tříděné vápence, tj. frakce 80 – 100 mm nebo 120 – 180 mm. Výpalem vzniká pálené (nehašené) vápno, které je po chemické stránce tvořeno převážně oxidem vápenatým (CaO), vzniklým dekarbonizací vápence (uhličitanu vápenatého, CaCO₃). Proces dekarbonizace je popsán následující chemickou reakcí:



Z hlediska hmotnostní bilance uvedené rovnice platí, že při úplném rozkladu CaCO₃ na CO₂ a CaO vznikne ze 100 kg CaCO₃ 56 kg CaO a 44 kg CO₂. Dekarbonizace uhličitanu vápenatého začíná, v závislosti na vnějších podmínkách, již od 600 °C. Vyšší teplota používaná ve výrobních zařízeních zajišťuje, že výrobní proces probíhá dostatečně rychle. Dekarbonizace podvojného uhličitanu hořečnato-vápenatého (dolomitu) probíhá podle velmi podobné rovnice:



- **Možnosti způsobu výpalu:**

- *měkké pálení* - reaktivní velmi kvalitní vápno, teplota kolem 900 °C,
- *tvrdé pálení* - dnes hlavní způsob výroby, teplota vyšší než 900 °C, rychlejší proces,
- *přepal* - méně reaktivní až nereaktivní, teplota překračující 1250 °C,
- *nedopal* - dosažení nízké teploty, nedokončený proces výpalu.

Platí, že s vyšší teplotou a vyšší rychlostí výpalu vzrůstá podíl hutnější a méně reaktivní struktury a výsledný produkt je označován jako **tvrdě pálené**

vápno, vhodné pro výrobu autoklávovaného pórobetonu (např. výrobky typu YTONG nebo HEBEL). **Měkce pálená vápna**, vhodná pro výrobu malt a omítek, naopak vznikají výpalem při nižších teplotách, jsou reaktivnější, pórovitější a vykazují nižší objemovou hmotnost, větší měrný povrch a vyšší aktivitu a vydatnost než vápna tvrdě pálená - (viz tab. 1).

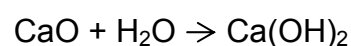
Tab. 1 Vliv teploty výpalu na pórovitost vápna

Teplota výpalu	900 °C	1300 °C
pórovitost	53 %	34 %
objemové smrštění	10 %	22 %
objemová hmotnost	1200 kg·m ⁻³	1700 kg·m ⁻³

- **Typy zařízení pro výpal:**

- *kontinuálně pracující šachtové pece* - v současnosti u nás užívané,
- *jámy* - jejichž stěny byly obloženy kamenem, který nepodléhal tepelnému rozkladu a které byly uzavřeny „víkem“ z větví, omazaných jilem - historický způsob výroby,
- *nálevkové pece* - které měly tvar komolého kužele, postaveného na menší základnu (výpal zde trval 4 až 5 dní),
- *milíře*,
- *kruhové pece* - původně vyvinuté pro výpal cihel,
- *komorové pece*.

Druhou částí výroby je **hašení vápna**. Hašením se pálené vápno (oxid vápenatý – CaO) přeměňuje na hydroxid vápenatý – Ca(OH)₂. Tomuto úkonu byla a měla by být i nadále věnována pozornost, neboť špatným vyhašením lze i velmi kvalitní pálené vápno znehodnotit. Proces probíhá za silného vývinu tepla a je provázen nabýváním vápna na objemu. Jeho vyjádření chemickou rovnicí je následující:



- **Hašení :**

Ovlivňují jej - množství, čistota a teplota použité vody a velikost částic.

Při hašení vznikají různě velké krystalky Ca(OH)_2 a jejich shluky.

- suché hašení – hašení v minimu vody - nutné množství na vznik hydroxidu, prakticky bez přebytku nezreagované vody
- mokré hašení – hašení v nadbytku vody nebo přes roztok
- hašení vápna ve směsi s pískem

Mokré hašení se provádí zkrápěním vrstvy páleného vápna vodou v ploché, otevřené nádobě zvané hasnice (karb). Teplota hašeného vápna nesmí dosáhnout $100\text{ }^\circ\text{C}$ a hašení se provádí za přebytku vody (240 až 320 litrů vody na 100 kg páleného vápna). Po reakci a rozpadu kusů nehašeného vápna ve vodě vzniká tzv. vápenné mléko nebo vápenná kaše – suspenze hydroxidu vápenatého ve vodě. Vyhašené vápno se nechá před použitím určitou dobu odležet. Při procesu hašení je nutné dbát přísných bezpečnostní opatření.

Suché hašení se provádí ve speciálním mísícím zařízení přímo ve vápence s malým přebytkem vody (60 až 70 litrů na 100 kg páleného vápna). Při hydrataci se přebytečná voda účinkem tepla odpaří a výsledným produktem je práškovitý **vápenný hydrát** (hydroxid vápenatý). Vápenný hydrát je skladovatelný a v okamžiku potřeby se z něj připraví vápenná kaše přidáním potřebného množství vody. Pro stavební účely se vápenný hydrát může používat přímo jen do malt pro zdění, pro jiné účely se musí také nechat odležet. Jednotlivé druhy vzdušného vápna, které jsou vyráběny podle ČSN EN 459-1 uvádí tab. 2.

Tab. 2 Druhy vzdušného vápna podle ČSN EN 459-1.

Označení	Značení	Obsah CaO + MgO [hm.%]	Obsah MgO [hm.%]	Obsah SO ₃ [hm.%]
bílé vápno 90	CL90	≥ 90	≤ 5 (7)	≤ 2
bílé vápno 80	CL80	≥ 80	≤ 5 (7)	≤ 2
bílé vápno 70	CL70	> 70	< 5 (7)	≤ 2
dolomitické vápno 85	DL85	≥ 85	≥ 30	≤ 2
dolomitické vápno 80	DL80	≥ 80	≥ 5	≤ 2
Doplňující třídění	Přípona			
nehašené vápno	Q			
hašené vápno bílé	S			
polohašené vápno dolomitické	S1			
plně hašené vápno dolomitické	S2			

Pozn.: Hodnoty pro obsah oxidů platí pro nehašené vápno.
V případě hašeného vápna a vápenné kaše je nutné odpočíst volnou a vázanou vodu.

2.2.1.4 Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna

Tuhnutí vápenné malty probíhá jako sesychání vápenného pojiva. Je vyvoláno odpařováním přítomné vody a z tohoto důvodu malta vyrobená ze vzdušného vápna pod vodou vůbec netuhne. Hlavním procesem při tvrdnutí vápenné malty je karbonatizace (uhličitanové tvrdnutí).

Ke karbonatizaci dochází působením vzdušného oxidu uhličitého podle rovnice:



Karbonatizace probíhá jen za přítomnosti alespoň malého množství vody v tvrdnoucí maltě a vzhledem k nízké koncentraci CO₂ ve vzduchu (0,03 obj. %) je její průběh velmi pomalý.

2.3 Plniva³

Druhá základní složka malty je kamenivo. Většinou jde o přírodní písek avšak ne vždy je výhradní složkou. Z různých historických období jsou nám známé omítky se specificky pojednanou texturou a barevným efektem, docíleným uplatněním plniva z moučky mramorů, dolomitů (dávají omítkám světlé škály tónů), travertinu zabarvujícího dožluta, hadce barvícího dozelená či porfýru dočervena. Byl-li plnivem písek, jednalo se o písek kopaný v blízkém zdroji stavby. V současnosti se používá i umělé kamenivo vyrobené drcením nebo granulací průmyslových produktů jako je škvára, struska, popílky, cihly apod.

Písek je nezpevněná sypká usazenina o velikosti zrn 0,02 – 2 mm, dále je v něm obsažen objemový podíl jemnozrnného silitu nebo jílu a hrubozrnnějších částic šterku. Z mineralogického hlediska se jedná o směs křemene, živce, slídy, chloritu, limonitu a nejjemnějších frakcí jílových minerálů.

Typy písků :

- těžené (říční)
- kopané

Těžené písky – mají zaoblená zrna, nepřiliš širokou distribuci velikosti částic. Jsou poměrně čisté a neobsahují jílové podíly.

Kopané písky – obsahují zaoblená i ostrohranná zrna, mají širokou distribuci velikosti částic, obsahují určitý podíl odplavitelných součástí jílového charakteru.

Na kvalitu malty má výběr plniva velmi důležitý vliv. V úvahu je zde třeba brát zrnitost, barevnost a obsah jílových složek.

³ Hošek, Jiří. *Historické omítky : průzkumy, sanace, typologie* / Jiří Hošek, Ludvík Losos. Praha : Grada Publishing, 2007.

Kotlík P.: *Stavební materiály historických objektů*. 1. vyd. 1999

Rovnaníková, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002

Zrnitost písku, opět je to vztaženo k účelu použití malty, by měla mít minimální „mezerovitost“ - prostor mezi zrny by měl být vyplněn menšími zrnky. Takovéto plnivo má nejmenší spotřebu pojiva.

Čistota písku souvisí s obsahem jílových frakcí. Obsah těchto u malt zdících by neměl přesáhnout 15 % u malt omítkových by měl být nižší než 3 %. Nepříznivý vliv mají i organické nečistoty a především soli, či látky, ze kterých mohou vznikat.

2.4 Aditiva⁴

Omítky byly v různých časových údobích modifikovány různými příměsemi (přísadami a přísadkami), jejichž úkolem bylo zlepšení vlastností čerstvých i zatvrdlých omítek (tj. zejména přísady upravující zpracovatelnost, přilnavost, hydrofobitu a retenci vody a přísady ovlivňující pórovitost zatvrdlé omítky).

Používané příměsi byly anorganického i organického charakteru.

Anorganické příměsi

Nejvíce se používaly přírodní i technogenní materiály s pucolánovými vlastnostmi:

- vyvřelé nebo sedimentární drobnozrnné materiály,
- pálené keramické hlíny s vysokým obsahem jílových minerálů,
- cihelná moučka a cihelná drť,
- popely a popílky z různých organických materiálů.

⁴ Hošek, Jiří. *Historické omítky : průzkumy, sanace, typologie* / Jiří Hošek, Ludvík Losos. Praha : Grada Publishing, 2007.

Kotlík P.: *Stavební materiály historických objektů*. 1. vyd. 1999

Rovnaníková, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002

Organické příměsi

Používaly se:

- šťávy z nejrůznějšího ovoce,
- pivo,
- zvířecí krev, žluč, moč,
- dále mléko, tvaroh, tuky,
- různé oleje, mýdla apod.

Přírodní organické látky se v historických obdobích používaly ke zlepšení vlastností čerstvých i zatvrdlých omítek. Někdy se přísady používaly cíleně, někdy bylo jejich použití spíše nahodilé.

V tabulce č. 3 jsou uvedeny přísady do malty používané v průběhu historických období.

Tab. 3 Přísady do malty v historických období

Přísady do malty	Období Egypta	Ríše římská (Vitruvius)	Středověk	Novověk	19. století (Vicat, Brunnell)
arabská guma	•		•		•
cukr			•		•
kasein	•				
krev	•	•	•	•	•
kvas			•	•	
lepek			•	•	
melasa					•
mléko		•		•	•
moč			•		
ovocné šťávy	•	•		•	
pivo			•	•	
podmáslí				•	
rostlinné pryskyřice				•	
saze, dřevěné uhlí		•	•		
tvaroh		•		•	•
vaječné bílky	•	•	•	•	•
vejce	•		•	•	•
víno		•			
vlákna rostlinná		•			
vlasý, chlupy		•	•		
živočišné tuky	•			•	•

Při rozborech historických malt lze stanovit přítomnost organických látek, ale mnohdy je jejich druh neidentifikovatelný, neboť prošly změnami, zejména působením mikroorganismů.

Přísady ovlivňují celý proces přeměny maltové kaše v tuhou hmotu. Tento proces lze rozdělit do dvou fází:

1. **koloidace (tuhnutí)** – vyznačuje se vysokým až koloidním stupněm disperze pojiva a plniva
2. **krystalizace (tvrdnutí)** – probíhá zde karbonizace tedy přeměna pojiva v krystalickou hmotu uhličitanu vápenatého, případně jeho směsi s hlinitými a křemičitými sloučeninami.

Při opravách narušených omítek je třeba se vždy rozhodnout, zda dodržet původní recepturu výroby malty nebo použít nové syntetické hmoty s identickými účinky, kde nehrozí biologická koroze, hygienické problémy a nestejná kvalita. Většina nových syntetik je na makromolekulární bázi. Srovnání historických přísad s přibližně identickými účinky ukazuje následující tabulka č. 4.

Tab. 4 Přísady a jejich účinky ve vápenných maltách

Typ přísady	Přírodní látky používané v minulosti	Současné typy syntetických látek
Urychlovače	vaječný bílek, krev, cukr, sádlo, tvaroh, škrob	chlorid vápenatý, trietanolamin
Zpomalovače	cukr, ovocné šťávy, lepek, krev, vaječný bílek, melasa	kyselina vinná, její soli, lignin
Plastifikátory	mléko, vaječný bílek, tuky rostlinné a živočišné, cukr, kalafuna	lignosulfonáty, akrylové latexy, melaminaldehydy
Provzdušňovače	slad, pivo, moč	lignosulfonáty, hydroxid barnatý
Těsnící a hydrofobní přísady	živočišné tuky, oleje, vosky, asphalt, cukerné materiály	stearáty, silikony
Adheziva	kalafuna, kasein, kliš, želatina	akrylová pryskyřice, latex, epoxidy
Zpevňovače	melasa, cukr, tuky, ovocné šťávy, žitné těsto, lepek, sražené mléko, vaječný bílek, rostlinné gummy, kasein, sýr, krev	cement, polyuretany
Ztužovací činidla	krev, kasein, tvaroh, želatina	silikagel, akrylové kopolymery

2.5 Typy omítek⁵

Omítky slouží k vyrovnání nerovností, ochraně, finální úpravě zdiva nebo jako podklad pro konečnou úpravu.

Omítky lze charakterizovat různými vlastnostmi, které se odvíjejí:

- od druhu pojiva,
- druhu a struktury plniva,
- způsobu aplikace,
- povrchové úpravy apod.

Vlastnosti omítek lze hodnotit z hlediska:

- jejich mechanických vlastností,
- odolnosti proti degradaci,
- životnosti,
- optických vlastností,
- estetického vjemu.

Omítky lze dělit v zásadě podle následujících kritérií:

- podle použití:
 - interiérové (kladen důraz na estetickou stránku),
 - exteriérové (důležitý vzhled a odolnost – životnost).
- podle druhu pojiva:
 - jílové,
 - sádrové,
 - sádrovápenné,
 - hořečnaté,

⁵ Kotlík P.: *Stavební materiály historických objektů*. 1. vyd. 1999
Rovnaníková, P. *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002

- vápenné ze vzdušného vápna,
- vápenné z hydraulického vápna,
- vápenopucolánové,
- vápenocementové,
- cementové.
- podle plniva:
 - jemnozrnné,
 - hrubozrnné,
 - s vláknitou výztuží,
 - s organickým plnivem.
- podle technologie aplikace:
 - ručně nanášené (hlazené, utahované, s nerovným povrchem),
 - strukturovaným povrchem, za použití speciálních technik (sgrafito, umělý mramor),
 - strojně nanášené.
- podle funkce, kterou plní:
 - estetickou,
 - tepelně izolační,
 - sanační (pro zavlhlá a zasolená zdiva).
- podle postavení vrstvy:
 - vyrovnávací,
 - jádrová,
 - štuková (lící).
- podle počtu vrstev:
 - jednovrstvé,
 - dvouvrstvé (nejčastější),
 - vícevrstvé (při větších nerovnostech)
- podle barevnosti:
 - probarvené,
 - neprobarvené.

2.6 Složení omítek v různých historických obdobích

Cílem této části práce bylo pokusit se shromáždit co nejvíce informací o složení, charakteru a přípravě malt a omítek v různých historických obdobích. Část informací byla převzata z literárních zdrojů, které byly aktuálně doplněny o údaje z chemicko-technologických průzkumů různých druhů historických omítek časově pokrývající různá časová období - od středověku po 20. století.

Obecně lze říci, že historický vývoj a postup při tvorbě malt a omítek nelze vždy pro dané časové období jednoznačně charakterizovat, což má mnohdy v současnosti za následek někdy velmi obtížnou identifikaci omítky a doby, do níž spadá. V technologii přípravy omítek převládaly zažitě způsoby a materiály, určující byl vždy individuální projev samotného řemeslníka a jeho zvyky - technika nanášení omítek a úpravy jejich povrchu.

2.6.1 Románská architektura (11., 12. a pol. 13. stol)

Toto období je rozmanité hlavně díky mnohým hutím působícím na našem území, které se projevuje zejména ve způsobu zdění, kvalitě a složení omítek. U staveb se uplatňuje použití pravidelného kvádrového zdiva ať už omítnutého či holého. Tam, kde kameny nebyly omítnuty, jsou buď pečlivě vyspárovány podříznutím, nebo je spára provedena plasticky. Tohoto se užívalo v případě, že šlo o architektonicky významné prvky stavby, které neměly být omítány, nebo se tam s omítkou nepočítalo na základě pravidelnosti opracování jednotlivých kamenů zdiva. V případě velkého kolísání pravidelnosti zdiva došlo k vytlačování malty ze spár, ta byla poté jen ledabyly rozetřena přes nepravidelné okraje kvádrů. Spárování bylo do takto rozetřené malty značeno rytím.

Omítky tohoto období jsou většinou nahazované jednovrstvé, srovnané a uhlazené, měkce sledující povrch zdiva, v případě nerovností jej pak vyrovnávají. Liší se navzájem podle zvyklostí dané stavební hutě – složením použitého plniva (někde více prosívané, jinde s větší přísadou jílovité příměsi, či s větším obsahem vápenného pojiva). Malty zdící jsou naopak hrubozrnné

s výraznou jílovitou příměsí, což má za následek nahnědlý až načervenalý odstín a částečně hydraulický charakter.

V pozdně románském období přichází fáze, kdy pro zdění bylo užíváno opracovaných pravidelných kvádrů spojených slabou vrstvou malty přesně do řádků. Při takto pečlivém zdění se spárování přestalo užívat a omítkářská práce se stává jakoby podružnou kamenické. Omítky však byly důležité v interiéru, kde sloužily jako podklad nástěnným malbám. Zvláštní kapitolou je cihlové zdivo, které bylo omítáno vždy (vyjma vystupujících architektonických článků).

Z hlediska složení byly připravované omítky často bohaté na pojivo, typ plniva a použitého vápna byl určován regionálními zdroji surovin.

2.6.2 Gotická architektura (13. – 15. stol)

Na počátku dochází k prolínání s románskou tradicí. Zatímco do architektury pronikají stylově nové prvky, způsob zdění a povrchové úpravy se proměňovaly velmi pozvolna. Pod tlakem nového pojetí architektury, která se stává odhmotněnou a vertikální jsou však změny nevyhnutelné. Začíná se používat lehčího materiálu na stavbu – cihly a objevují se nové způsoby modifikace malt k urychlení jejího tuhnutí a zvýšení viskozity. Novými aditivami byly většinou bílkoviny – vejce, přírodní cukry – pivo, med, atd. tedy běžně dostupné přírodní látky.

U větších staveb v rané fázi bylo užíváno lomového kamene, netříděného, kladeného do vápenné malty v nepravidelných vrstvách, přebytek malty byl roztírán, ale tak aby čela kamenů zůstala čistá. Konstrukce takových zdí byla většinou vytvořena tak, že měly dvě líce zděné a mezi nimi byla výplň tvořená drobným kamenivem nebo sutí zalitá řídkou maltou nebo zasypávaná ve vrstvách směsí jílu a nehašeného vápna posléze zalitá vodou. Tyto konstrukce byly velmi pevné až téměř hydraulického charakteru.

Omítek se výrazně začíná užívat až ve 14. století - příznačné je použití jednovrstvých omítek, hrubě nahazovaných bez dalších povrchových úprav. Často byly provedeny z říčního písku (jak prokazuje oválný tvar plniva) a jsou bohaté na vápno. Omítky vykazují typický znak – četná neprohašená rezidua vápna.

Tyto omítky měly zpočátku skutečně jen funkci vyrovnání zdiva a jejich hrubozrnnost vycházela z požadavku, že musely být nanášeny v silných vrstvách. Písek se tedy neproséval a často se do něj přidávaly hrubší částice (štěrk). Tyto hrubší částice měly při zarovnávaní za následek charakteristické rýhy, tvořící jedinečný rukopis omítkáře.

V některých místech však stále převládalo románské chápání blokové architektury – kamenné články, tvořící ostění, byly chápány jako armatura. Omítka byla přes ně přetahována až k jejich vnitřnímu okraji. Postupně se však ujímalo zcela odlišné pojetí stavby jako složité struktury – odlehčeného plastického útvaru, kde vše je součástí výtvarného pojetí, jež má zapůsobit na sensuální smýšlení diváka. To se projevilo v použití ozdobných plastických článků – ostění, římsy, opěráky, různé struktury upravovaných povrchů, kde se začínají uplatňovat i vápenné nátěry a barva (ostré, zářivé tóny).

2.6.3 Omítky renesance a manýrismu (konec 15. – poč. 17.stol)

V pozdní gotice a v počátečních fázích renesance se začalo hojně užívat řezaných a škrábaných omítek. Škrábané omítky byly trvanlivější než malby, které bylo třeba po čase obnovovat (škrábaná lineární kresba nahradila malované články). Iluzivní plastičnost byla prováděna šrafovaným stínováním. Takováto výzdoba byla prováděna jednoduchým způsobem, kdy se běžná hruběná jádrová omítka opatřila zatíraným vápenným nátěrem, nebo jen uhladila, tak aby se vápenné pojivo vytlačilo na povrch. Do zavadlé omítky byl poté vyškrabáván (do malé hloubky) kvádrový rastr či jednoduchý ornament. Na větších plochách v potazu na malou hloubku prorytí se někdy ztrácel potřebný kontrast hrubých a hladkých ploch, v takovém případě bylo použito barvy. Do jádrové omítky byly přidávány např. kousky cihel, volen byl spíše barevnější kopaný písek, někdy žíhaný pro dosažení tmavého tónu. Jako další barvicí aditivum byl používán popel nebo spálená sláma - pro našedlý odstín.

Tradice jednovrstvého sgrafita postupně přešla na přejímané pravé sgrafito v pol. 16. stol. Opět se vrátily vícevrstvé omítky – trojvrstvé, které mohly být slabě hydraulické (obsahovaly hydraulické přísady - pucolány, tufy a keramické drtě).

Barevnosti spodních omítek se dosahovalo přidáním dřevěného uhlí. V interiérech bylo užíváno hlazené a leštěné omítky, jejíž povrch se zatáčel vápenným mlékem o po zaschnutí voskoval, aby připomínal strukturou mramor (převzato z antické tradice). Tyto dvouvrstvé omítky se nazývaly „kletované“. Posléze se staly charakteristickými pro toto období a začalo se jich užívat i pro vnější pláště staveb.

2.6.4 Barokní omítky (17 – 18. stol)

V první polovině 17. stol se objevují nové typy omítek – plastické štukové, nanášené modelované, natírané (imitující kámen – tzv. *badigeon*) omítky napodobující mramor a mramorovou inkrustaci, imitující skalní povrch či mořské dno tzv. *grottové omítky*.

Grotty jež byly produktem manýrismu. V baroku byly velmi rozšířeny (v zámeckých suterénech, zahradách). Měly výrazně plastický povrch, a jelikož v jejich blízkosti byla většinou přítomna voda (jezírka, fontány), jádrové omítky a malty musely mít hydraulický charakter. Svrchní omítky, pro docílení plastického efektu, byly plněny korály, mušlemi, ulitami či lesklým pyritem, sklem, struskou. Lesklý a barevně i plasticky pojatý povrch byl žádoucím výsledkem. V době vrcholného baroka se vývoj ustálil na omítkách s hrubou povrchovou strukturou, které se jednoduše docílilo přidáním drobného kameniva.

Důležitou vlastností barokní doby je touha imitace, kámen byl považován pouze za trvanlivý materiál, jehož hrubý povrch je třeba upravovat. Hojně se užívalo štukových omítek (nanášeny byly v silných vrstvách, proto je bylo třeba armovat přísadami - zvířecí chlupy či sekaná lněná koudel) vypichovaných nebo bosovaných. Na počátku 18. stol. se začíná aplikovat při výzdobě fasád sádrovápenný štuk, který má pomoci vyjádřit dynamický ráz baroka. Jsou jím postupně nahrazovány kamenné prvky.

Další inovace spojená s barokem je technika umělých mramorů, jež byla hojně užívána především v interiérech. V celku lze i přes všechny výše uvedené specifika říci, že barokní omítky byly většinou dvouvrstvé, na hrubší jádro se nanášela jemnější vrstva vápenného štku. Před barevným nátěrem byla líčena vápnem. Pozdní baroko je již spojeno s počátky užívání hydraulického vápna a v roce 1780 také Románského cementu.

2.6.5 Klasicizující a historizující omítky (přelom 18. - pol. 19. stol)

Toto období lze charakterizovat jako období intenzivní stavební činnosti. V architektuře se uplatňují historizující slohy, které jsou všeobecně bohaté na dekorativní prvky. S tímto rozvojem souvisí i hledání nových stavebních materiálů, které by uspokojovaly náročné požadavky na rychlou produkci. Jako materiál malt a omítek se uplatňuje stále vápno, pro dekorativní prvky se používá sádra a od poč. 19. století hojně hydraulická vápna a ranné typy cementů.

Omítky pozdního historismu, secese a moderny, jsou již zcela v režii polo až celohydraulických pojiv. Ve 20. letech 20. století se na trhu objevují nové suroviny na přípravu malt – suché cementové směsi (břízolit – několik typů zrnitosti a barevného odstínu, není nutno kamenicky opracovávat, aby bylo dosaženo hruběného povrchu).

2.7 Chemicko-technologický průzkum omítek jednotlivých historických období

Výše uvedené kapitoly představují výsledky shromážděné z literatury⁶. Pro účely této práce byl proveden vedle tohoto ještě rozšířený průzkum zaměřený na poměrové složení vzorků omítek jednotlivých historických období. Vzorky byly získány z archivu Univerzity Pardubice, Fakulty restaurování a jejich výčet je uveden v následujících tabulkách 5, 6a, 6b, 6c, 7a, 7b a 8.

Je nutné říci, že ze získaného souhrnu vzorků k jednotlivým historickým obdobím, nelze stanovit žádné absolutní závěry. Obecně platí, že středověké omítky byly bohatší na pojivo. Co se týče poměru mísení, typu pojiva a plniva jsou zcela jedinečné a poplatné lokalitě a individualitě řemeslné práce.

⁶ Hošek, J., Losos, L., *Historické omítky: průzkumy, sanace, typologie*, Praha: Grada Publishing, 2007
Šujanová, O., *Povrchové úpravy památkových objektů*, Štátní ústav památkové starostlivosti
Bratislava-Hrad

2.7.1 Gotická architektura (13. – 15. stol.)

Tab. 5 Historické období – gotika

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerozložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek	Obsah		
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	[%hm]	[%hm]	[%hm]
1	6 (T 2147)	Státní hrad Pernštejn, sýpka	Pernštejn	plocha fasády, maltový rámeček okna	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen hlavně zrny křemene, živců, slídy a v malé míře obsahuje i drobné horninové úlomky	1:1,4	1:0,9	54,42	45,58	1,74
2	8 (T 2149)	Státní hrad Pernštejn, sýpka	Pernštejn	plocha fasády, hrubozrnná omítka nad slunečními hodinami	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen hlavně zrny křemene, živců, slídy a v malé míře obsahuje i drobné horninové úlomky	1:3,7	1:2,3	74,35	25,65	1,02
3	9 (T 2150)	Státní hrad Pernštejn, sýpka	Pernštejn	plocha fasády, omítka použitá na slunečních hodinách	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen hlavně zrny křemene, živců, slídy a v malé míře obsahuje i drobné horninové úlomky	1:2	1:1,2	61,71	38,29	1,82
4	11	Státní hrad Pernštejn, sýpka	Pernštejn	plocha fasády k hradnímu příkopu, hrubozrnná omítka	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen hlavně zrny křemene, živců, slídy a v malé míře obsahuje i drobné horninové úlomky	1:2,9	1:1,8	69,72	30,28	1,17
5	I/2 (T2002)	Zámek Kunštát	Kunštát	gotická omítka, spodní vrstva	dolomitické vzdušné vápno	středně zrnitý křemenný písek s příměsí dalších silikátových částic			56,7	43,3	1,3

2.7.2 Renesance (konec 15. – poč. 17.stol.)

Tab. 6a Historické období – renesance

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerazložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek			
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	[%hm]	[%hm]	[%hm]
1	1	Hřbitovní kaple sv. Markéty	Rybníky Topanov	fasáda, primární omítkové vrstvy včetně povrchové úpravy	dolomitické vápno	křemičitý písek s příměsí dalších silikátových částic a drobných horninových úlomků			76,29	23,71	1,31
2	425	Zámek v Moravské Třebové, pláště rizalitu	Moravská Třebová	fasáda, nejstarší zachované omítky	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen převážně křemennými zrny a horninovými úlomky	1:3,2	1:1,6	67,77	32,23	0,36
3	1	Zámek, zahradní průčelí	Bučovice	omítka, střední až hrubé zrnitosti, relat. pevná, obsahuje ojediněle částice karbonatiz. vápna	slabě hydraulické vápno	písek, jehož hlavní součástí je křemen			76,6	23,4	2,4
4	2	Zámek, zahradní průčelí	Bučovice	omítka, střední zrnitosti, ze spodní strany mírně drolivá, ojediněle obsahuje částice karbonatiz. vápna	bílé vzdušné vápno	písek, jehož hlavní součástí je křemen			67,1	32,9	1,3
5	1	Tvrz	Košátky	sgrafitová fasáda budovy	bílé vzdušné vápno	jemnozrnný křemenný písek			83,1	16,9	1,4
6	3 (T2330)	Tvrz	Královice	fasáda	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek, převahu tvoří zrna křemene a malou příměs částice různých hlinitokřemičitých minerálů	1:3,5	1:2,1	72,16	27,84	1,66

Tab. 6b Historické období – renesance

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerazložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek			
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	[%hm]	[%hm]	[%hm]
7	4 (T2331)	Tvrz	Královice	fasáda	bílé vzdušné vápno	křemenný písek	1:2,8	1:1,7	67,24	32,76	1,9
8	302	Děkanský kostel, presbytář	Litomyšl	interiér, podkladové omítky nástěnné malby, jemnozrnné vápenné omítky	bílé vzdušné vápno	jemnozrnný křemenný písek se zvýšeným obsahem jemnozrnného silikátového podílu	1:1,1	1:0,6	45,1	54,9	
9	301	Děkanský kostel, presbytář	Litomyšl	interiér, podkladové omítky nástěnné malby, vápenné omítky s hrubší zrnitostí	bílé vzdušné vápno	křemenný písek	1:2,5	1:1,3	64,9	35,1	
10	1/G	Státní Zámek Kratochvíle u Netolic	Kratochvíle u Netolic	původní omítka, tzv. lovecká jídelna v přízemí	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek s příměsí dalších silikátových částic	1:2,2	1:1,3	62,34	37,56	2,07
11	1	dům č.p.338 na Partizánské ulici v Litomyšli	Litomyšl	fasáda	bílé vzdušné vápno	písek (neuveďeno přesněji)			59,2	40,8	1,6

Tab. 6c Historické období – renesance

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerozložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek	Obsah		
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	[%hm]	[%hm]	[%hm]
12	2	Zámek	Mělník	šedá sgrafitová omítka z římsy	bílé vzdušné vápno	písku (tvořený hlavně křemennými částicemi) a poměrně vysoký obsah dřevěného uhlí			37,9	62,1	0,2
13	1	Zámek	Litomyšl	fasáda, severní stěna, východně od portálu	bílé vzdušné vápno (i slabě hydraulické = vodné vápno)	křemičité horniny s hrubšími částicemi pískovce a drobná černá zrna	1:0,7	1:0,9	43,7	44,3	11,96
14	2	Zámek	Litomyšl	fasáda, severní stěna, východně od portálu, ze spáry zdiva	bílé vzdušné vápno (i slabě hydraulické = vodné vápno)	křemičité horniny s hrubšími částicemi pískovce a drobná černá zrna	1:0,6	1:0,8	43,95	48,8	7,3
15	13	Zámek	Litomyšl	2.pol. záp. části severní stěny	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek s příměsí dalších silikátových částic a horninových úlomků	1:0,7	1:0,5	47,99	47,7	4,3
16	2	schodiště mrtvých	Moravská Třebová	omítka z rubu transferu	vápenné	křemenný písek s přítomností železitých sloučenin a glaukonitu	1:1,8		56,1	43,1	0,8
17	3	schodiště mrtvých	Moravská Třebová	omítka z rubu transferu	vápenné	neuveдено	1:1,7		48,5	44,9	0,6

2.7.3 Baroko (17 – 18. stol.)

Tab. 7a Historické období – baroko

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerозložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek			
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	[%hm]	[%hm]	[%hm]
1	5	budova městského muzea	Prostějov	fasády, nadokenní římsa	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek			69,3	30,7	1,4
2	A	Benediktinský klášter	Rajhrad u Brna	Primární omítková vrstva	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek obsahující i další silikátové částice a drobné horninové úlomky	1:5	1:3	78,61	21,39	1,15
3	JK 1G	Kostel sv. Jana Křtitele	Šumperk	vrstva barokního arriccia pod nástěnnou malbou, omítka střední zrnitosti, na povrchu částečně drolivá	bílé vzdušné vápno	písek je tvořen hlavně částicemi křemene a různých hlinitokřemičitanů, v malé míře i horninové úlomky (vulkanické horniny) a ojediněle i částice ilmenitu	1:2,4	1:1,5	63,8	36,2	1,5
4	2,3	Kostel sv. Mikuláše	Jaroměř	omítkové vrstvy ze záklenku ostění a zazdívký okna	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek s obsahem dalších silikátů (křemičitany a hlinitokřemičitany), obsahuje i vyšší podíl železitých sloučenin	1:7	1:2,9	83,9	16,1	1,8
5	A	Kostel sv. Václava	Veliš	východní fasáda věže, pravá konzola	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek s příměsí dalších silikátových částic	1:2,9	1:1,8	64,31	35,69	1,81

Tab. 7b Historické období – baroko

Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerozložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpuštěný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek			
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	Obsah		
6	C	Kostel sv. Václava	Veliš	severní fasáda věže, římsa	bílé vzdušné vápno	křemičitý písek s příměsí dalších silikátových částic	1:2,9	1:1,8	65,86	34,14	1,74
7	A (1458)	Zámecký špýchar, vnější plášť	Žirovnice	Omítka z fasády	bílé vzdušné vápno	písek - obsahuje zrna křemene i další horninové úlomky (slídy, živce), částečně i horninové úlomky	1:2,5	1:1,2	64,86	35,14	1,22
8	1	Arcidiecézní muzeum	Olomouc	omítka z rubu transferu nástěnných maleb	neuvezeno	křemičitý písek	1: 1,7		54,9	43,9	1,2
9	A	Mat.fyz.fakulta, bývalý profesní dům jezuitů	Praha, Malá strana	kolmá stěna v SZ rohu chodby, II.NP, podkladová omítka nástěnná malby	bílé vzdušné vápno	křemenný písek	1:2,53	1:0,84	65,56	34,44	3,5
10	KA	Květná zahrada	Kroměříž	stěna salonku, vyrovnávací omítka na zdivu	vápenné	písek v větším množství železitých částic	1:1,7		62,1	36,5	1,4
11	KB	Květná zahrada	Kroměříž	stěna salonku, bílá omítka -lůžko pro kamennou mozaiku	vápenné	křemičitý písek	1:1,65		62	37,7	0,3

2.7.4 Klasicismus a historizující směry

Tab. 8 Historické období – klasicismus

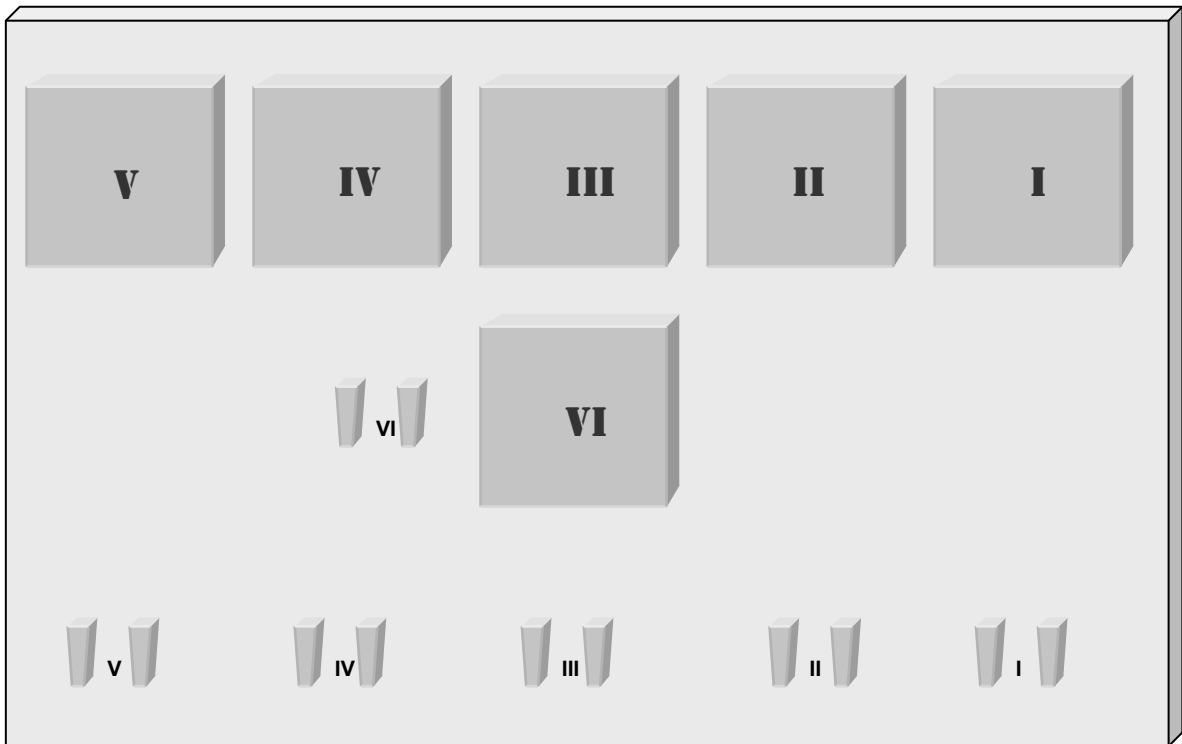
Vzorek číslo	Interní označení	Objekt	Lokalita	Popis vzorku	Typ pojiva	Typ plniva	Poměr plniva a pojiva		Nerozložitelný podíl	Rozložitelný podíl	Rozpustný SiO ₂
							Suchý vápenný hydrát : písek	Vápenná kaše : písek			
							(díly hmotnosti)	(díly objemu)	Obsah		
									[%hm]	[%hm]	[%hm]
1	V2 (T 1366)	Tři Grácie	Lednicko-valtický areál	původní růžová omítka	bílé vzdušné vápno) a obsahují příměs jemně mleté cihlové drti resp. cihlového prachu	křemičitý písek					
2	V15 (T 1376)	Tři Grácie	Lednicko-valtický areál	pravděpodobně původní omítka	bílé vzdušné vápno) a obsahují příměs jemně mleté cihlové drti resp. cihlového prachu	křemičitý písek					
3	G/II (T1884)	Minaret	Lednice	podhledy kleneb přizemí, pata klenby nad římsou sloupu	bílé vzdušné vápno	křemenný písek s příměsí dalších silikátových částic			78,13	21,87	0,98
4	F	Letohrádek Kinských	Praha	fasáda, hlavní průčelí, podkladová omítka	hydraulické vápno	křemíť písek s příměsí silikátových zrn			55,8	44,2	
5	A (1520)	zámek	Vrchotovy Janovice	omítková vrstva z plochy balkónové zdi SV průčelí objektu	bílé vzdušné vápno	písek - obsahuje převážně zrna křemene, v menší míře i další silikátové částice (slídy, živce), případně horninové úlomky	1:1,5		51,6	48,4	1,8

3 Praktická část

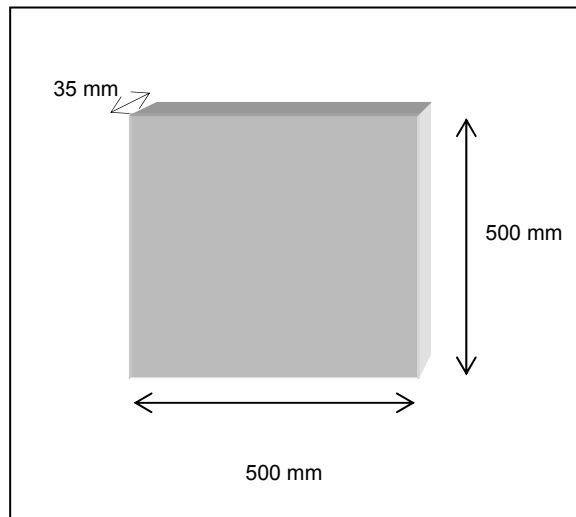
Na základě shrnutí dostupných informací z hlediska historických postupů přípravy, poměrů a použitých surovin bylo přistoupeno k navazující praktické části práce a tedy k přípravě několika druhů malt, lišících se typem použitého vápenného pojiva. Důvodem bylo praktické ověření a vyhodnocení vlastností jednotlivých směsí. Bylo provedeno 6 zkoušek na zdi, k této příležitosti nově vybudované ze starších cihel. Objekt zdi o rozměrech 321×192 cm nese 6 čtvercových zkoušek o rozměrech 50×50cm a výšce 3, 5 cm. (Obr. 2, 3, 4)



Obr. 2 Praktické zkoušky – celkový pohled, 2 měsíce po nanesení



Obr. 3 Schéma praktických zkoušek – celkový pohled



Obr. 4 Schéma zkoušky – detail

3.1 Použité materiály

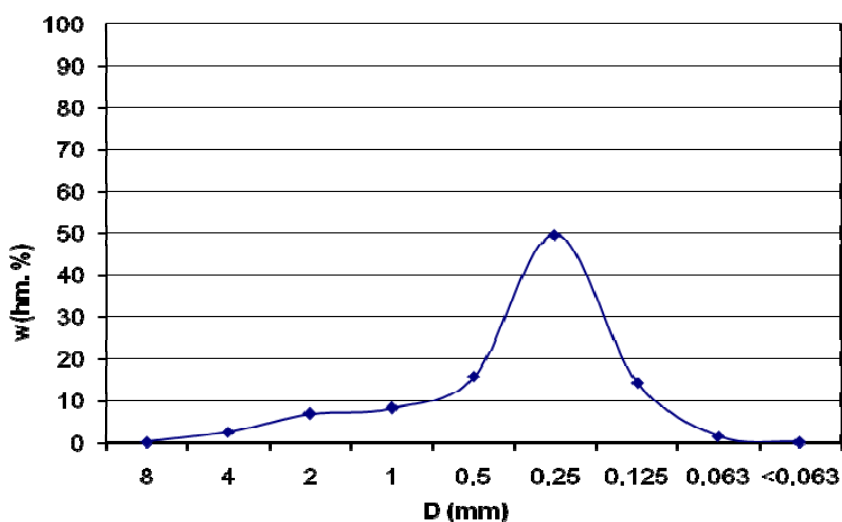
3.1.1 Plnivo

Použité plnivo bylo pro všechny zkoušky shodné, jednalo se o křemenný písek z lokality Dolní Běstovice, jehož křivka zrnitosti je uvedena v grafu (obr. 5) a číselné hodnoty jsou uvedeny v tab. 9. Z křivky zrnitosti (obr. 5) vyplývá, že se jedná o plnivo se středně širokou distribucí zrn, nejvíce jsou zastoupeny frakce v rozmezí 1 - 0,125 mm, které tvoří cca 74 % celkového množství plniva.

Minoritně jsou zastoupeny prachové frakce s $D \leq 0,063$ mm stejně jako hrubé frakce s $D \geq 2$ mm. Podobný typ písku byl často nalezen i v historických omítkách.

Tab. 9 Granulometrie plniva – číselné hodnoty

D	w
[mm]	[hm %]
8	11
4	1,6
2	5,4
1	14,6
0,5	22,9
0,25	24,5
0,125	11,5
0,063	5,9
<0,063	2,6



Obr. 5 Graf křivky zrnitosti použitého plniva

3.1.2 Pojiva

Tab. 10 Rozdělení a popis použitých pojiv

Použitá pojiva		
Rozdělení	Popis	Pokus
podle surovinového zdroje	Šošůvka	I
	Vitošov	II – III
	Mokrá u Brna	IV - VI
podle způsobu hašení	mokrý proces hašení	I – III
	za sucha vyhašený vápenný hydrát	IV – VI
podle doby uložení vápenné kaše	velmi staré (několik let zrající)	I
	1 – 5 měsíce zrající	II, VI
	čerstvě vyhašené	III, IV, V
podle procesů úpravy vlastností	přidání vody	I
	míchání	V

Proces výpalu zkoušky č. II, III byl proveden v polní peci, tradičním způsobem, 12. října 2007 na Černé Hoře v Litomyšli u příležitosti dvou denního symposia zaměřeného především na výrobu (výpal) vzdušného vápna. Výslednými produkty byly kusy vápna z různých částí pece. Pro tuto práci jsem použila kusy ze středu pece. Hašením vznikla vápenná kaše mající výborné vlastnosti.

Pálení vápna v polní peci na Černé Hoře v Litomyšli

V rámci projektu byla podle historické předlohy postavena pec milířového typu, ve které byl proveden pilotní výpal 2 m³ vápence. Jako surovina byl použit vysokoprocenní vápenec z lokality Vitošov, charakteristický vysokým obsahem uhličitanu vápenatého (95-98 %). Stavba pece, vlastní pálení a vybírání pece bylo provedeno v rámci praktického workshopu, následovalo zpracování historickými postupy na různé produkty, které budou použity při restaurování uměleckých děl. Teplota pálení byla udržována mezi 850-900 °C, celý výpal probíhal po dobu tří dnů.



Obr. 6 Historické typy pecí

Obr. 7 Polní pec na Černé hoře

3.2 Typy použitých vápenných kaší

Celkem bylo připraveno 6 malt v poměru pojiva ku plnivu 1:3 (obj.dílů). Pojivem byly vápenné kaše viz tab. 11, které byly zředěny na suspenze s obsahem 50% sušiny, aby byl obsah pojiva pro všechny stejný. Plnivem byl písek, jehož charakteristika je uvedena v kap. 3.1.1.

Tab. 11 Typy použitých vápenných kaší

Vápenné kaše	Typ vápenného pojiva	Datum stáří pojiva	Datum vzniku zkoušky
I	Šošůvka	stáří 8 let	6.2.2008
II	Vitošov, střed pece	stáří 5 měsíců	3.3.2008
III	Vitošov, střed pece	čerstvě vyhašeno	5.3.2008
IV	Mokrý u Brna	čerstvě vyhašeno	11.3.2008
V	Mokrý u Brna	čerstvě vyhašeno, 20 min. mixováno	17.3.2008
VI	Mokrý u Brna	stáří jeden měsíc	13.3.2008

3.3 Použité metody

3.3.1 Granulometrie

Zkouška byla provedena s přesným množstvím odváženého plniva (minimálně 100 g) přesátím přes soustavu sít o definované velikosti oka D (mm). Jednotlivé frakce zachycené na daném síti se vážily a následně bylo vypočteno jejich procentuální zastoupení w (hm %).

$$w_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100$$

w_i - procentuální zastoupení frakce i , (hm %)

m_i – hmotnost frakce i , (g)

m – celková hmotnost navážky, (g)

3.3.2 Silikátová analýza (zjednodušená)

Zkouška byla provedena za účelem stanovení určitých složek malty - poměr plniva a pojiva, obsahu hydraulických podílů, aditiv.

Přesné odvážené množství daného suchého vzorku (20 – 100 g) bylo zakapáno zředěnou kyselinou chlorovodíkovou (1:1), kdy docházelo k rozkladu (odstranění CaCO_3) až do ukončení vývoje CO_2 . Poté bylo nutno roztok odfiltrovat, vysušit a zvážit. Suchá rezidua se následně povařila (100 °C) s 10 % roztokem sody - Na_2CO_3 (díky čemuž jsme byli schopni stanovit hydraulický podíl). Následovalo opětovné odfiltrování a zvážení.

Obsah rozpustného podílu (pojiva) byl stanoven podle následující rovnice:

$$x_{rp} = \frac{(m_1 - m_3)}{m_1} \cdot 100$$

x_{rp} – procentuální zastoupení rozpustného podílu (pojiva) (%)

m_1 – hmotnost suchého vzorku (g)

m_3 – hmotnost vysušených reziduí vzorku po vaření s 10 % Na_2CO_3 (g)

Obsah rozpustného SiO₂ (míra hydrauličnosti) byl stanoven podle následující rovnice:

$$x_{SiO_2} = \frac{(m_2 - m_3)}{m_1} \cdot 100$$

x_{SiO_2} - procentuální zastoupení hydraulického podílu (%)

m_1 - hmotnost suchého vzorku (g)

m_2 - hmotnost vysušených reziduí vzorku po rozkladu v zředěné HCl (g)

m_3 - hmotnost vysušených reziduí vzorku po vaření s 10 % Na₂CO₃ (g).

3.3.3 Stanovení sušiny

Pro každou zkoušku bylo nutno upravit poměrové zastoupení sušiny a vody obsažené ve vápně, aby výchozí hodnoty byly u všech stejné. Sledovaným cílem bylo množství v poměru 50 % sušiny ku vodě.

Nejdříve bylo nutno odebrat malé množství kaše, která byla v mokřém stavu zvážena, poté došlo k vysušení (při teplotě 100 °C po dobu 24 hodin) a opětovnému zvážení.

Obsah sušiny byl vypočítán podle vztahu:

$$\frac{(m(\text{čerstvé}) - m(\text{suché})) \times 100}{m(\text{čerstvé})}$$

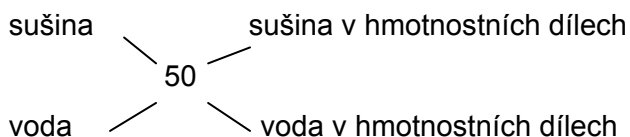
$m(\text{čerstvé})$ - hmotnost čerstvé váp. kaše

$m(\text{suché})$ - hmotnost vysušené váp. kaše

výsledek udáván v procentech

3.3.4 Poměr obsahu vody a sušiny v pojivu

Pomocí křížového pravidla bylo dopočítáno množství vody potřebné dodat do směsi k vyrovnání poměru.



Hotová kaše byla připravena na mísení s plnivem v daném poměru a za daných podmínek.

3.3.5 Sledování užitkových vlastností

Subjektivní pozorování a hodnocení - příprava malty:

- mísení,
- konzistence a plasticita,
- nanášení a následná adheze na svislé ploše zdi.

3.3.6 Pevnost v tahu čerstvé malty

Na kvádřík z cihly, na jehož rubu je ukotven háček, byla nanesena vrstva maltoviny asi 2 -2,5 cm a přitlačena druhým kvádříkem stejných rozměrů opět s háčkem (viz obr. 9). Oba byly před tím dobře smáčeny. Vzorky byly ponechány hodinu na uležení a poté bylo přistoupeno k stanovování pevnosti v tahu (N/mm²). Horním háčkem byl vzorek pevně ukotven, na spodní háček byla zavěšena nádoba o dané hmotnosti (74,19 g) a postupně přilévána voda (doplňování v průběhu pokusu probíhalo pomocí odměrného válce se stupnicí do 100 ml) do odtržení (viz obr. 8). Výpočet okamžité pevnosti byl vypočítán podle následujících rovnic:

Rovnice pro výpočet síly:

$$F = m \cdot g$$

F - síla (N)

m - hmotnost zátěže (g) + hmotnost nádoby (g)+ hmotnost kvádříku (g)

g - gravitační zrychlení = 9,81 (ms⁻²)

Rovnice pro výpočet tlaku:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ - tlak (N/mm²)

F – síla (N)

A – obsah plochy, na níž síla působí (mm²) = plocha hrany kvádříku = 2500 mm²



Obr. 8 Proces měření okamžité pevnosti v tahu



Obr. 9 Cihlové kvádříky
Pozn.: ($m_1 = 64,56$ g, $m_2 = 62,28$ g)

3.3.7 Zkouška objemové stálosti vytvrdlých malt, plasticita čerstvých malt

Na cihlový podklad, který odpovídá tomu, na němž jsou naneseny zkoušky, byly umístěny novodurové kroužky o průměru 83 mm, po obvodu natřené vazelínou pro snadné sejmutí. Do kroužků byla nahozena čerstvá vápenná omítka stejným postupem, jakým byly vytvořeny jednotlivé velkoformátové zkoušky. Po zahlazení povrchu byly kroužky sejmuty a stanovena plasticita omítkové směsi - do jaké míry je schopna udržet tvar. Poté byly kroužky opět vráceny na obvod. Po šesti měsících došlo ke stanovování objemové stálosti. Hodnoceny byly objemové změny (smrštění) na základě rozdílu průměru čerstvě naneseného a vytvrzelého koláče vápenné malty. Pro zjištění chování maltových směsí na nesavém podkladu byla druhá sada zkoušek provedena na podklad izolovaný polypropylénovou fólií.

Výpočet objemové změny maltového koláče probíhal dle rovnic:

$$\Delta d = d_k - d_i$$

d_k - průměr novodurového kroužku (mm)

d_i - průměr vytvrzelého koláče vápenné malty (mm)

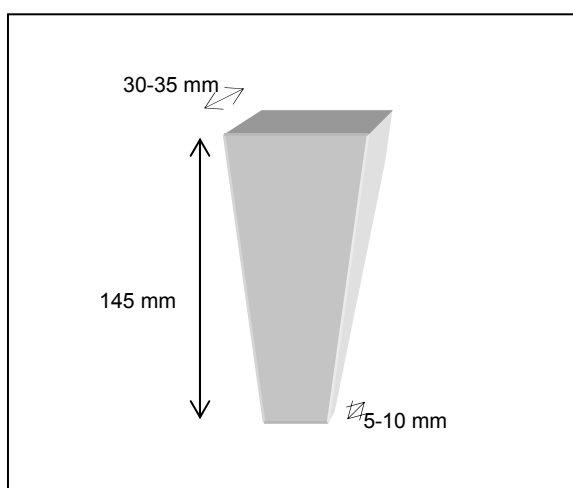
Δd - rozdíl výše uvedených průměrů (mm)

$$w = \frac{\Delta d}{d_k} \cdot 100$$

w - procentuální vyjádření míry smrštění (%)

3.3.8 Optimální tloušťka nanášené vrstvy

Na cihlový podklad viz kap. 3 byly nahozeny klíny (obr. 10). Jejich tloušťka měla sestupný charakter. Tyto byly ponechány na vytvrdnutí po dobu šesti měsíců. Maximální tloušťka klínu byla 3 - 3,5 cm a odpovídala tloušťce omítkové vrstvy běžně nanášené při aplikaci v praxi. U klínů byla sledována (hodnocena) tloušťka omítkové vrstvy, při níž dochází k vzniku trhlin a prasklin ve hmotě omítky.



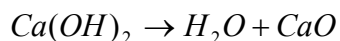
Obr. 10 Schéma klínu

3.3.9 Termická analýza

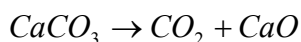
Termogravimetrie (TG) je metoda, která umožňuje sledovat procesy spojené se změnou hmotnosti navážky vzorku při kontinuálním zvyšování teploty za přítomnosti vzduchu (dynamický způsob). Sledují se změny aktuální hmotnosti vzorku s rostoucí teplotou a výsledkem je tzv. termogravimetrická křivka.

Při rozkladu vápenných omítek lze identifikovat dvě maxima, která odpovídají dvěma chemickým procesům a to v prvním případě rozkladu hydroxidu vápenatého (rovnice 1), druhý proces odpovídá rozkladu uhličitanu vápenatého (rovnice 2). Pro analýzu bylo nutno odebrat vzorky omítek z různých hloubek povrchu (0-0,3 mm, 1,5 cm, 2 cm). Cílem bylo porovnat míru karbonatice (obsah CaCO_3) u jednotlivých druhů vápen tří měsíce po vytvoření zkoušky.

rovnice 1 – rozklad hydroxidu vápenatého



rovnice 2 – rozklad uhličitanu vápenatého



Výsledky jsou zpracovány v tab. 19 jako změny hmotnosti (hm %) odpovídající rozkladu CaCO_3 a Ca(OH)_2 , které jsou přepočítány na obsah obou fází (hm %).

3.4 Vyhodnocení a diskuse výsledků

3.4.1 Stanovení vlastností vápenných kaší a stanovení sušiny

Některé z vlastností vápenných kaší jsou uvedeny v tab. 12, avšak jejich bližší charakteristika již není předmětem studia této práce. Pro účely této práce byl stanoven pouze obsah sušiny před použitím na vápenné omítky, výsledky jsou opět uvedeny v tab. 12.

Co se týče procesu hašení na základě různých typů výchozích surovin (vápenné kusy, vápenný hydrát), se postupy se u jednotlivých lišily. Proces mokrého hašení probíhal v železné vaně (exotermická reakce – velký výdej tepla, jiný materiál především plast, který není speciálně vytvořen na vyšší teploty by jí podlehl) za postupného dodávání vody a neustálého promíchávání, až do vytvoření kašovité suspenze. Po vychlazení byla kaše ceděna přes síto, zbavena nevyhašených reziduí a následně uskladněna v kovových uzavíratelných sudech. V případě vápenných hydrátů, již předem za sucha vyhašených, bylo nutné pouze dodat potřebné množství vody na vytvoření kašovité konzistence. Konkrétní určení jednotlivých jsou uvedena v tab. 12.

Vzniklé kaše byly buď ihned použity na vytvoření malty, nebo ponechány na uležení. Doba uležení se u jednotlivých směsí liší. Pohybuje se od několika let až po jeden měsíc. Celkové srovnání viz tab. 12.

Tab. 12 Vlastnosti vápenných kaší a hodnoty sušiny

Vápenná kaše	Surovina	Teplota výpalu	Způsob hašení	Doba uležení	Obsah sušiny
		[°C]			[hm%]
I	Šosůvka	1 000	za mokra	8let	53, 6
II	Vitošov, střed pece	850 - 900	za mokra	5 měsíců	61, 8
III	Vitošov, střed pece	850 - 900	čerstvě vyhašeno, za mokra	čerstvá kaše	61, 1
IV	Mokrá u Brna	1 000	čerstvě vyhašeno, za sucha - vápenný hydrát	čerstvá kaše	64, 6
V	Mokrá u Brna	1 000	čerstvě vyhašeno, za sucha - váp.hydr., míchání 20 min	čerstvá kaše	61,8
VI	Mokrá u Brna	1 000	za sucha - vápenný hydrát	1 měsíc	59, 5

Diskuse:

Z výsledků sušiny je patrné, že nejmenší množství přidané vody bylo zapotřebí dodat k vápenné kaši I. Díky dlouhé době uležení byla její konzistence oproti ostatním velmi tuhá a i po dodání vody na vyrovnání poměru se konzistence příliš nezměnila. To se projevilo při následném míchání malty, viz kap. 3.4.2 a kap. 3.4.3. Z nově připravených směsí se nejlépe jevíly kaše II, III vytvořené z vápenných kusů vypálených v polní peci tradičním způsobem (během sympózia probíhajícího na Černé Hoře v Litomyšli). Vápenný hydrát - kaše IV, V, VI měl v celkovém srovnání také uspokojivou konzistenci.

3.4.2 Příprava maltových směsí

Bylo připraveno 6 malt v poměru pojiva ku plnivu 1:3 (obj.dílů) viz kap.3.1.

Od každé směsi bylo připraveno cca 0,02 m³ následujícím postupem:

Míchání vápenné kaše po dobu 5 minut při nízkých otáčkách, přidání písku a míchání maltoviny po dobu 5 minut, následné ruční zpracování do homogenizace. Maltové směsi se lišily obsahem záměsové vody a dobou míchání potřebné k vytvoření homogenní směsi, rozdíly jsou diskutovány v tab. 13

Tab. 13 Proces úpravy vlastností – přidání záměsové vody, míchání

Vápenná kaše	Obsah přidané záměsové vody	Doba míchání
	[ml]	[s]
I	1200	300
II	0	300
III	0	300
IV	0	300
V	0	1 200
VI	0	300

3.4.3 Aplikace směsí na podklad

Ihned po namíchání malt došlo k jejich nanesení na cihlovou zeď. Aby nedošlo k odsátí vody z malty, byla zeď důkladně předvlhčená vodou. Na zeď byly vytvořeny vzorkové plochy omítek o rozměrech 50×50 cm ve vzdálenosti 10 cm od sebe, tloušťka omítek byla 3,5 cm. Rozměry vzorkových ploch byly přesně dány kovovou formou. Pro snadné sejmutí vzorové formy bylo zapotřebí ji předem vymazat vazelínou. Vzorky omítek byly ponechány v prostředí se zvýšenou relativní vlhkostí (70 – 75 % Rh) a první měsíc zrání denně vlhčeny.

Tab. 14 Subjektivní hodnocení zpracovatelských vlastností

Vápenná malta	Konzistence	Míra adheze	Hodnocení (*)
I	velmi sypká	vyhovující	3
II	sypká	velmi dobrá	2
III	tekutější	výborná	1
IV	velmi řídká	velmi dobrá	2
V	velmi řídká	nevhovující	4
VI	tekutější	výborná	1

* 1- výborná, 2- velmi dobrá, 3- dobrá, 4- méně vyhovující

Diskuse:

Dle subjektivního hodnocení jednotlivých maltových směsí, které bylo založeno především na zpracovatelnosti vzniklé malty, její konzistenci, plasticitě a míry adheze na svislé ploše, byly vyvozeny následující závěry.

K maltové směsi I, kde pojivem bylo osmileté vápno, bylo nutné přidat záměsovou vodu (600 ml), protože její konzistence na počátku byla velmi sypká, netvořila homogenní směs vhodnou na nanášení. Po přidání již splňovala všechny výše uvedené požadavky na užití.

Směs II měla vyhovující konzistenci od počátku podobnou směsi I, jevila se suše, ale dobře se nanášela a držela na svislé ploše.

Směs III v celkovém srovnání měla výbornou konzistenci, tekutější oproti směsím č. I,II, a díky tomu splňovala i všechny ostatní požadavky na zpracovatelnost výborně.

Směs IV trpěla od počátku velmi řídkou konzistencí, díky tomuto se hůře nanášela, avšak dobře držela na svislé ploše, plasticitu měla dostačující.

Směs V opět velmi řídká konzistence, hůře se nanášela. Zpočátku dobře držela, plasticita dostačující, avšak v celkovém srovnání nejhorší ze všech dosud popsaných. Při snímání formy druhý den, po částečném zavadnutí, zkouška odpadla. Špatná adheze k podkladu byla zřejmě způsobená a podpořena konzistencí související s čerstvostí malty, nepomohlo zde ani míchání, jímž se měly vlastnosti upravit. Možným dalším důvodem mohlo být špatné vymazání formy, případně nerovnosti podkladové zdi. Na základě této zkušenosti byla

provedena o pět dní později druhá zkouška stejným způsobem, kde byly výše uvedené možné příčiny sledovány, aby bylo možno zodpovědět si otázku hlavní příčiny jednoznačně. Druhý pokus se zdařil i přes naprosto stejné výchozí podmínky, nezbyvá tedy jiný závěr než, že selhal lidský faktor.

Směs VI - dobrá konzistence, tekutější, díky tomu se velmi dobře nanášela a držela na svislé ploše, velmi dobrá plasticita. V celkovém hodnocení při použití vápenného hydrátu vyšla nejlépe. Její zpracovatelnost téměř odpovídá směsím č. II, III.

V závěrečném uceleném hodnocení lze tedy říci, že nejlépe, co se týče zpracovatelnosti a aplikace, dopadly a to i přes fakt velmi krátkého uležení ba dokonce žádného, směsi II a III, jejichž pojivem bylo vápno připravené tradičním způsobem v polní peci. O něco horší se poté ukázala směs I, u níž byly od počátku předpokládány ty nejlepší výsledky v potazu na její dlouhodobé uležení, avšak samotná praxe při aplikaci je neprokázala. Hodnocení vápenných hydrátů, které pod vlivem odlišných podmínek přípravy a stáří vyzněly každý naprosto odlišně, ač výchozí surovina jim byla shodná, jsou velmi protikladná. Negativní soud však nenáleží všem z provedených zkoušek směsí IV, V, VI. Dokonce je zde nutné vyzdvihnout srovnání směsi III, které se jeví jako nejlepší a směsi VI z vápenného hydrátu, které si byly velmi podobné ve zpracovatelnosti, aplikaci a obě bez úpravy vlastností. Je možno konstatovat, že dopadly srovnatelně – výborně.



I



II



III

Obr. 11 Proces nanášení jednotlivých omítek, v průběhu prvního měsíce tuhnutí – zkoušky I, II, III



Obr. 12 Celkový pohled po 2 měsících vytvrzování

3.4.4 Okamžitá pevnost v tahu

Tab. 15 Okamžitá pevnost v tahu u jednotlivých zkoušek

Vápenná malta	Hmotnost zátěže	Doba udržení	Síla	Pevnost
	[g]	[s]	[N]	[N/mm ²]
I	1 338,75	20	13 133,14	5,25
II	1 338,75	5	13 133,14	5,25
III	838,75	0	8 228,14	3,29
IV	138,75	20	1 361,14	0,54
V	138,75	5	1 361,14	0,54
VI	638,75	10	6 266,14	2,50

Diskuse:

I když lze měření považovat za orientační, protože se jedná o improvizovanou zkoušku (měření nebylo provedeno na standardním zařízení odpovídajícím zkušebním normám), je možné zkoušené směsi navzájem porovnat.

Z provedených pokusů viz tab. 15 vyplývá, že největší okamžitou pevností v tahu disponovaly vápenné malty s pojivem, jež bylo již nějakou dobu před použitím uleželé. Zvláštní je zde srovnání směsi I s osm let starým pojivem a směsi II, kde se staří pohybuje kolem pěti měsíců.

Obecně je známo, že čím déle je kaše uleželá tím lepší jsou její vlastnosti. Z tohoto srovnání lze vyvodit závěr, že kvalita vápenného pojiva směsi II je velmi vysoká, důvodem je jistě samotná výchozí surovina, podmínky pálení a postup hašení. Co se týče malt III, IV a V s čerstvým vápenným pojivem, není hodnocení tak jednoznačné, jak by se dalo očekávat. Jejich pevnost je v celkovém srovnání nižší, avšak výjimkou je zde směs III, která ač s čerstvým pojivem, přesáhla hodnotu měsíc uleželé kaše - směs VI. Je nutné konstatovat, že její vlastnosti nebyly nikterak upravovány a typem pojiva se shodovala se směsí II, o jejichž kvalitách již zde bylo zmiňováno. Vápenné hydráty vyšly v celkovém hodnocení jako nejméně pevné v tahu a to i přes fakt, že např. ve směsi V byly pojivu upravovány vlastnosti mícháním.

Příčinu je možno hledat ve velmi řídké konzistenci kaše a možná také za hypotetickou domněnkou, že šlo o za sucha vyhašený hydrát, který urychlením procesu přípravy a nedostatečným uležením nenabývá takových kvalit jako v opačném případě postupu přípravy.

3.4.5 Zkouška objemové stálosti vytvrdlých malt, plasticita čerstvých malt

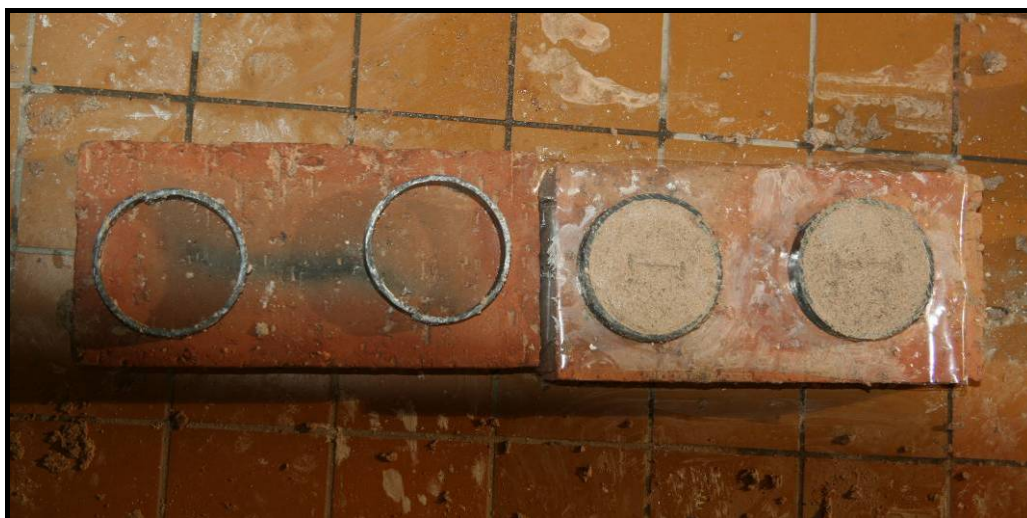
Tab. 16 Celkové srovnání okamžité plasticity čerstvých malt a objemové stálosti vytvrzelých malt (po šesti měsících)

Vápenná malta	Míra smšštění po vytunutí		Subjektivní posouzení plasticity
	Savý podklad	Nesavý podklad	
	[%]	[%]	
I	2,11	2,11	výborná
II	0	0	výborná
III	0,92	0,73	velmi dobrá
IV	0	0	vyhovující
V	0	0	vyhovující
VI	0	0	velmi dobrá

Diskuse:

Hodnocení okamžité plasticity odpovídá i teoretickým předpokladům, které mu předcházely. Zde se právě potvrdilo, že malty I a II s dlouhodobě uleželým pojivem mají pevnější konzistenci a tudíž vynikající okamžitou plasticitu. Čerstvě připravené tekutější směsi IV a V na tom byly o poznání hůře. Ojedinělou výjimku tvořila směs III, která ač byla čerstvou, přesto se výsledkem blížila směsím I a II. Tato skutečnost se poté ještě více potvrdila po šesti měsících uležení, kdy došlo na hodnocení objemové stálosti daných směsí. K alespoň nepatrnému smrštění došlo právě u zmíněné směsi III a směsi I s osm let starým pojivem (viz obr 18). Z čehož lze opět vyvodit závěr, že kvalita pojiva směsi III je vynikající. U ostatních provedených zkoušek (např. i u směsi II, u níž byl velký předpoklad) ke změně objemu nedošlo. Jako jeden z hlavních možných důvodů je třeba uvést atmosférické podmínky především relativní vlhkost, která se v místě provedení pokusů v jarních a letních měsících pohybuje v rozmezí 70 - 80 %. Dále pak i nedostatečnou dobu na vyzrání. Čerstvost pojiva zde na základě předchozího srovnání nelze zařadit .

Zkoušky probíhaly na dvou typech podkladů (savý a nesavý) a i zde byly výsledky překvapující, směs III zareagovala podle předpokladu a to jest, že na nesavém podkladu bylo smrštění menší než na savém. Směs I měla překvapivě stejné výsledky u obou pokusů.



Obr. 13 Proces nanášení vápenné malty I – celkový pohled



Obr. 14 Proces nanášení vápenné malty I - ihned po nanesení (savý podklad)



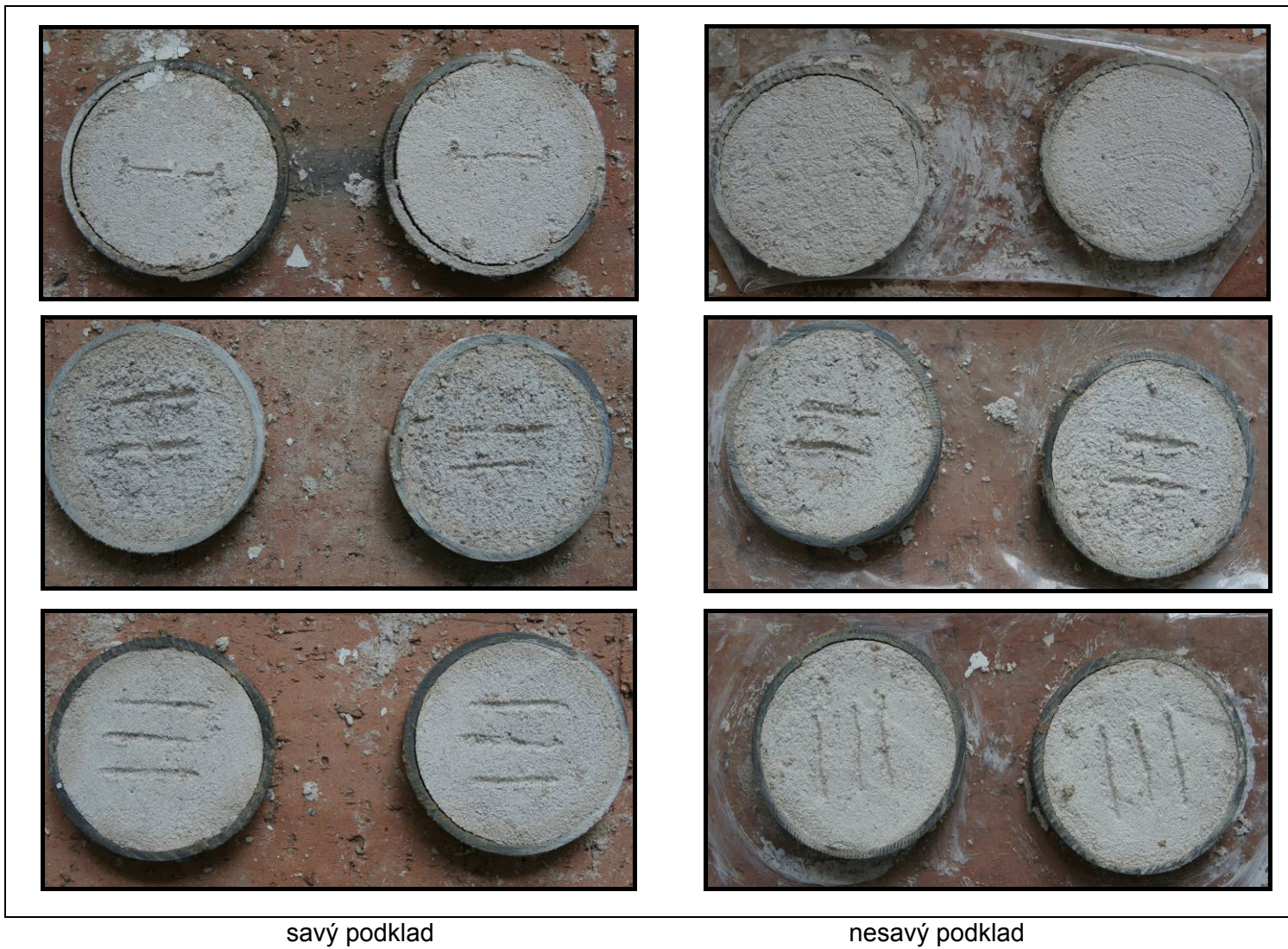
Obr. 15 Proces nanášení vápenné malty I - ihned po nanesení (nesavý podklad)



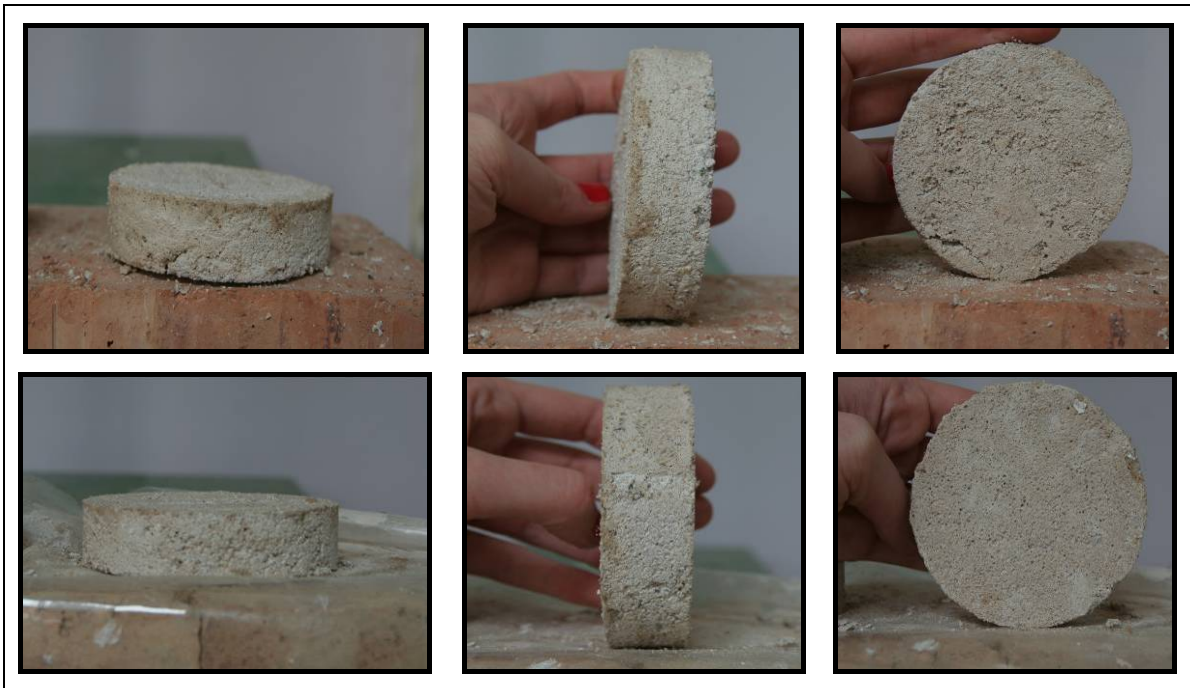
Obr. 16 Zkouška okamžité objemové stálosti (plasticity)



Obr. 17 Maltové koláče po třech měsících tvrdnutí (savý podklad I, III, IV, V, VI)



Obr. 18 Maltová koláče po šesti měsících tvrdnutí, objem. změny pouze u malt I, III



Obr. 19 Vytvrzelé maltové koláče po šesti měsících, savý a nesavý podklad

3.4.6 Optimální tloušťka nanášené vrstvy

Tab. 17 Stav maltových klínů po šesti měsících tvrdnutí

Vápenná malta	Tloušťka omítkové vrstvy, při níž dochází ke vzniku prasklin (doba uležení šest měsíců)
	[mm]
I	20
II	-*
III	-*
IV	-*
V	-*
VI	-*

* během šesti měsíců vytvrzování nedošlo ke vzniku prasklin v hmotě omítky

Diskuse:



Z dosavadních výsledků vyplývá a opět je to i potvrzením faktu stáří pojiva, že k jediné viditelné prasklině (obr. 21, 22) došlo u klínu vytvořeného ze směsi I (osm let uleželé pojivo) a to v tloušťce 20 mm. Míru smrštění a vysokou pevnost nelze této směsi odepřít. Příčinu neporušené kompaktnosti ostatních lze hledat opět v atmosférických podmínkách (Rh 70 – 80 %) a snad možná také v ještě příliš krátké době na úplné a jednoznačné vyhodnocení.



Obr. 20 Proces nanášení na zeď



Obr. 21 Stav klínů po šesti měsících tvrdnutí

	Stav bezprostředně po nahození
	Stav po měsíci tvrdnutí
	Stav po 6 měsících tvrdnutí

Obr. 22 U malty I jako jediné došlo ke vzniku praskliny v tloušťce 2 cm

3.4.7 Hodnocení stavu malt po šesti měsících

Tab. 18 Subjektivní hodnocení stavu malt po šesti měsících

Vápenná malta	Adheze k podkladu (po 6 měsících)	Kompaktnost	Hodnocení *
I	výborná	nevyhovující - praskliny, trhliny v hloubce omítky	4
II	výborná	velmi dobrá, salinita v levém horním rohu	2
III	výborná	výborná - drží tvar povrch je uzavřeným jednotným celkem	1
IV	výborná	dobrá, sypká, drolivé okraje	3
V	výborná	nevyhovující – sypká, barevné skvrny, drolivé okraje	4
VI	výborná	výborná – drží tvar povrch je uzavřeným jednotným celkem	1

* 1- výborná, 2- velmi dobrá, 3- dobrá, 4- nevyhovující

Diskuse:

Hodnocení byla podrobena především rozdílná kompaktnost jednotlivých zkoušek, která je patrná na první pohled. Co se týče adheze k podkladu je u všech provedených zkoušek dobrá, vizuální průzkum však v tomto případě není zdaleka dostačujícím kritériem posouzení. Do obsahu této práce již bližší průzkum parametrů adheze nespadá. Směsi III a VI vykazují kompaktní povrch bez prasklin a trhlin v hloubce omítky viz tab. 18 a následná obrazová příloha. Velmi dobrá je také kompaktnost směsí II a IV.

Za nejhorší v celkovém srovnání lze poté považovat směs I a V, které z hlediska charakteru jsou zcela odlišné. U směsi I je malta tvořena dlouhodobě uleželým pojivem naproti tomu stojí čerstvá směs V z vápenného hydrátu. U obou povrch pozbývá kompaktnosti, důvody tohoto jsou pro každou směs specifické. Směs I je velmi pevná, ale po vytvrnutí podléhá smršťování – ztrácí objemovou stálost, což má za následek zřetelné praskliny a trhliny v hloubce omítky (viz kap 3.4.5). Směs V, která je připravovaná z čerstvé kaše (tedy s větším obsahem vody), má sypký a drolivý povrch. Nedrží čtvercový tvar, do kterého byla

na počátku vytvořena. Dochází zde ke ztrátám hmoty okrajových částí. Obě zmíněné směsi jsou svým stavem nevyhovující. Vedlejším efektem, který se u směsi II objevil, je salinita. Příčinou je zasolený podklad - starší již dříve užívané cihly.

I	II	III
IV	V	VI

Obr. 23 Schéma jednotlivých zkoušek I - VI



Obr. 24 Jednotlivé omítky po šesti měsících tvrdnutí– zkoušky I, II, III, IV, V, VI



Obr. 25 Celkový pohled po šesti měsících tvrdnutí

3.4.8 Termická analýza

V tabulce jsou uvedeny hodnoty změny hmotností v průběhu termické analýzy. Δm označuje změnu hmotnosti navážky, která odpovídá rozkladu CaOH_2 , resp. CaCO_3 (viz rovnice 1 a 2). w odpovídá množství těchto dvou složek vypočítaných na základě výše uvedených rovnic. Míra karbonatace byla vypočítána jako podíl CaCO_3 a celkového obsahu pojiva. Termogravimetrické křivky všech vzorků jsou prezentovány v grafech (obr. 26 – 30).

Tab. 19 Souhrn výsledků vyvozených z termické analýzy jednotlivých omítek

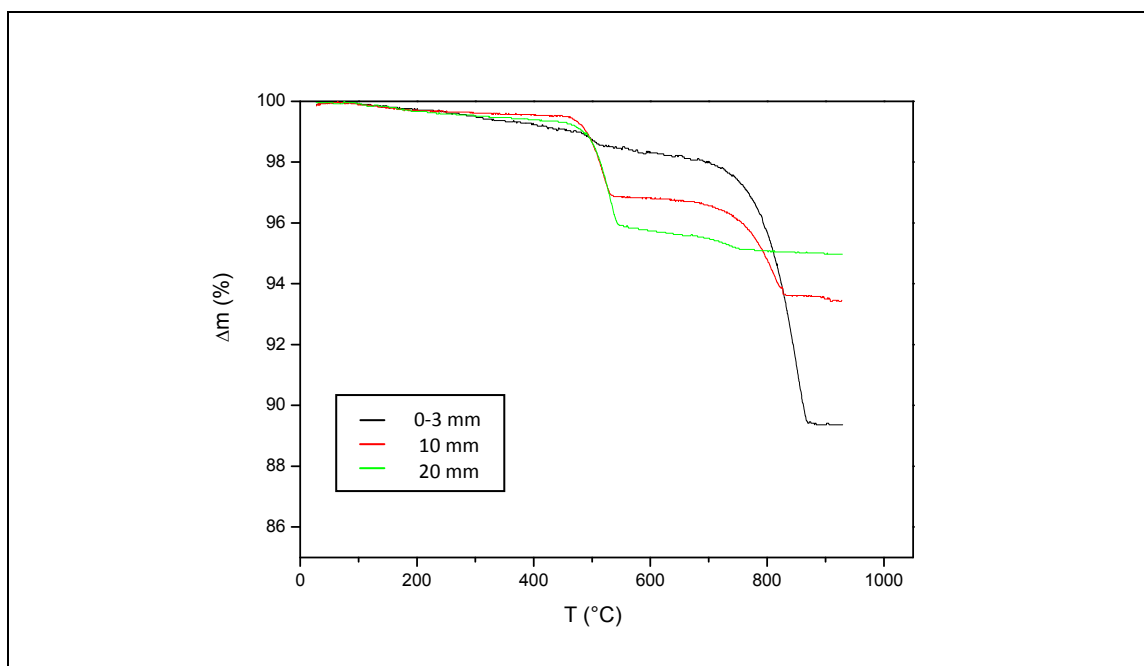
Vápenná malta	Hloubka	$\Delta m \text{ CaOH}_2$	$\Delta m \text{ CaCO}_3$	$w\text{CaOH}_2$	$w\text{CaCO}_3$	Míra karbonatace po 3 měsících
	[mm]	[hm %]	[hm %]	[hm %]	[hm %]	[hm %]
I	0-3	0,43	8,57	1,77	19,49	80,9
	10	2,63	2,97	10,83	6,75	46,85
	20	3,39	0,41	13,95	0,93	8,49
II	0-3	-	5,02	-	11,42	85,37
	10	-	4,01	-	9,12	-
	20	-	5,92	-	13,46	-
III	0-3	-	5,05	-	11,48	82,65
	10	2,15	1,89	8,85	4,30	38,1
	20	-	5,15	-	11,71	-
IV	0-3	0,72	2,12	2,96	4,82	-
	10	nestanoveno	nestanoveno	-	-	-
	20	1,16	2,67	4,77	6,072	-
V	0-3	0,44	3,68	1,81	8,37	72,30
	10	-	4,56	-	10,37	-
	20	1,72	1,00	7,08	2,27	32,47
VI	0-3	-	5,25	-	11,94	78,24
	10	1,22	2,05	5,02	4,66	47,13
	20	1,82	0,61	7,49	1,39	19,61

Diskuse:

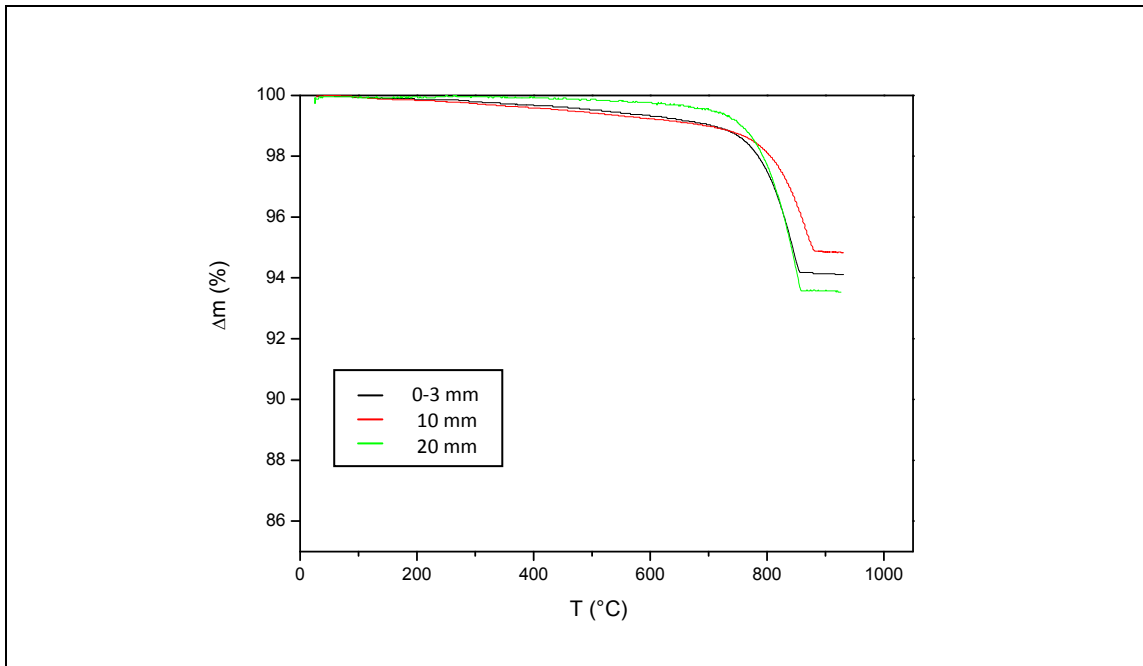
Míra karbonatace byla u všech panelů testována po 3 měsících a termickou analýzou bylo zjištěno, že karbonatace probíhá ve všech vrstvách omítky. Nejvýraznější je u povrchu omítek a úměrně se snižuje s hloubkou.

Nejlepší přeměna na uhličitan vápenatý je patrná u omítek I, II a III, připravených z osmileté vápenné kaše (I) a měkce pálených vápen z polní pece (II,III). Karbonatace pojiva se pohybovala kolem 80 % v povrchových vrstvách. V ostatních vrstvách nelze míru karbonatace jednoznačně určit, neboť hodnoty se výrazně odlišují. Možnou příčinou může být chybný odběr vzorků zvláště ve větších hloubkách, kdy mohlo docházet ke kontaminaci z vyšších vrstev. Z těchto důvodů nejsou ve sloupci vyjadřujícím míry karbonatace uvedeny všechny výsledné hodnoty.

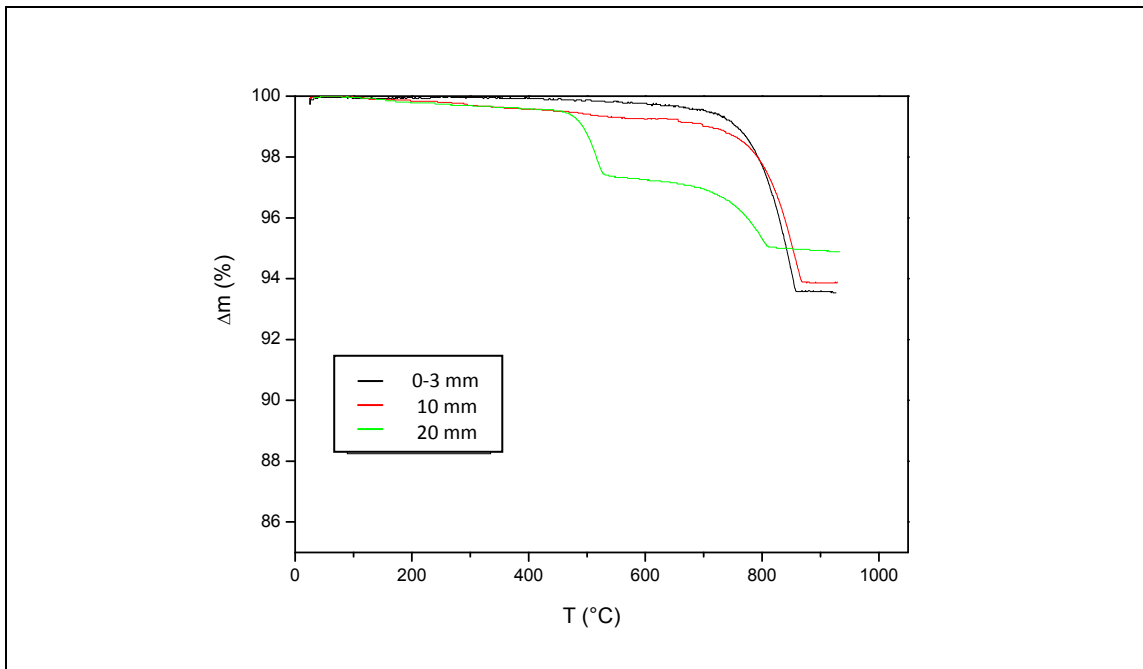
Z výsledků je patrné, že doba uležení nemá výrazný vliv na rychlost karbonatace a spíše rozhodují vlastnosti pojiva dané podmínkami výpalu. Omítky připravené z průmyslově vyráběného hydrátu karbonatizují pomaleji a úprava vlastností šleháním (V), respektive uležením (VI) nemají vliv na průběh zrání omítky.



Obr. 26 Graf termické analýzy - vzorek I

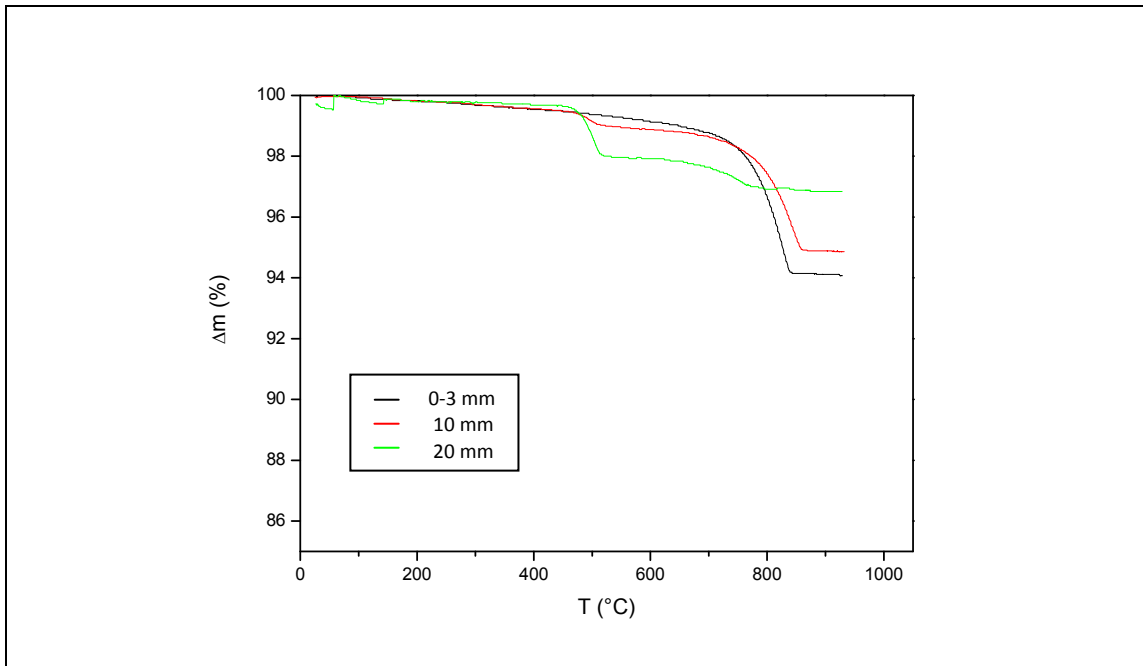


Obr. 27 Graf termické analýzy - vzorek II

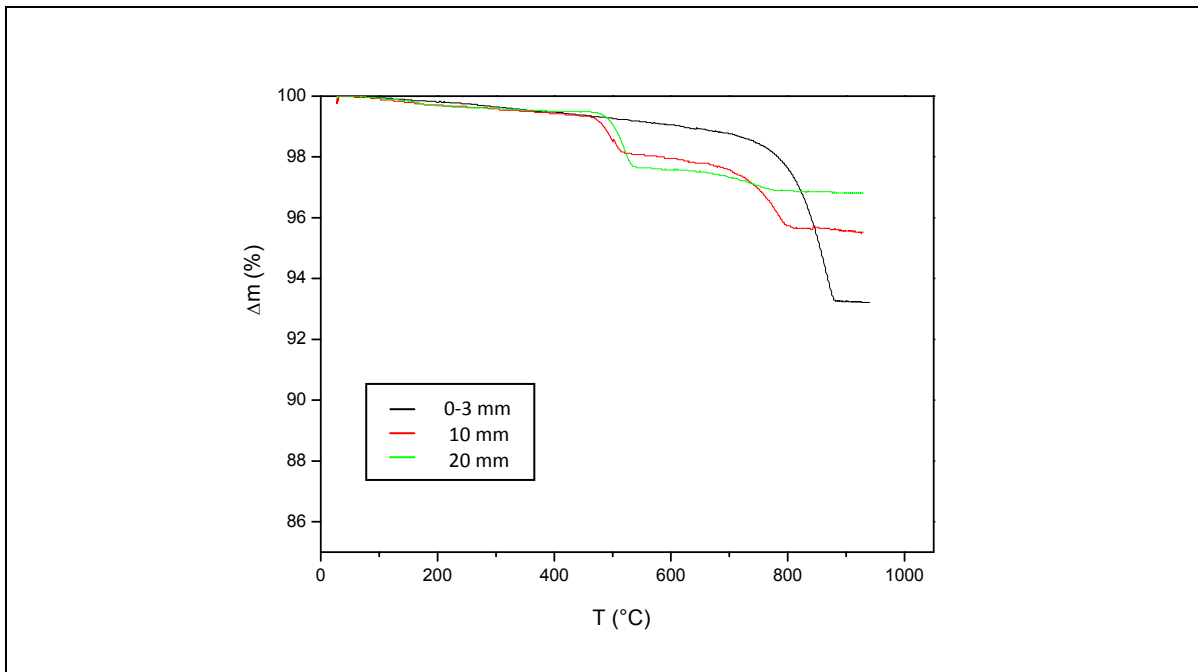


Obr. 28 Graf termické analýzy - vzorek III

Vzorek IV: nezpracováno graficky (výsledky nedodány z laboratoře)



Obr. 29 Graf termické analýzy - vzorek V



Obr. 30 Graf termické analýzy - vzorek VI

4 Závěr

Cílem této práce bylo studium různých typů vápenných malt, které byly připraveny s různým typem pojiva, které se lišilo výchozí surovinou, způsobem přípravy a dobou uležení. Testovány byly vápenné kaše připravené z páleného vápna z lokality Vitošov, dlouhodobě uležená kaše z lokality Šošůvka a pojiva připraveného z páleného vápna z lokality Mokrý u Brna. Pálené vápno Vitošov bylo produkováno tradičním způsobem, výpalem v polní peci s použitím dřeva jako paliva. Toto vápno lze charakterizovat jako tzv. měkce pálené, neboť teplota výpalu byla 850 – 900 °C. Vápenná kaše z lokality Šošůvka byla uležená několik let. Třetí skupinu pojiv tvořily vápenné kaše připravené z průmyslově páleného vápence. Toto pojivo představovalo tzv. tvrdě pálené vápno při vysokých teplotách cca 1 000 °C.

Celkem bylo testováno šest typů malt - dvě byly připraveny z vápenné kaše Vitošov, jedna ze Šošůvky a tři malty z vápenného hydrátu z Mokrý u Brna. Jedna skupina vápenných kaší (Vitošov, Mokrý u Brna) byly použity ihned po vyhašení a jejich vlastnosti byly porovnávány s uleželými pojivy. Jeden měsíc bylo uležené pojivo z Mokrý u Brna, pět měsíců z Vitošova, příkladem několikaletého pojiva byla Šošůvka. Plnivem malt byl ve všech případech plavený říční písek, jehož granulometrie odpovídala historickým recepturám. Poměr míšení pojiva ku plnivu byl 1:3 (obj. dílů).

U maltových směsí byly sledovány vlastnosti čerstvých malt (zpracovatelnost, plasticita, adheze k podkladu) průběžně, během prvních šesti měsíců tuhnutí a tvrdnutí malt, byla popsána objemová stálost v různých tloušťkách omítkové vrstvy a průběžně byl sledován průběh karbonatace. Vlastnosti zcela ztvrdlých malt budou předmětem zkoumání navazujících bakalářských prací. Uvedené vlastnosti byly testovány na zkušebních vzorcích a zároveň na velkoformátových zkouškách, které byly vytvořeny na nové cihlové zdi.

Z hlediska zpracovatelských vlastností měly nejlepší výsledky vápenné malty připravené z čerstvě vyhašené vápenné kaše, vytvořené z měkce páleného vápna Vitošov. Malty byly připraveny pouze smícháním vápenné kaše a plniva bez přídavku záměsové vody. Malty se výborně zpracovávaly, měly výbornou plasticitu a adhezi. Snadno se nahazovaly na cihlovou zeď. S dobou uležení (5 měsíců) se jejich zpracovatelské vlastnosti mírně zhoršily. Malta (II) byla sušší konzistence a bylo obtížnější ji dobře promísit s pískem. Přesto se obě malty v průběhu tuhnutí a tvrdnutí vyznačovaly nejlepšími výsledky. Podle vizuálního subjektivního hodnocení jsou pevné a kompaktní bez viditelných prasklin.

Nejméně uspokojivé zpracovatelské vlastnosti měly malty vytvořené z průmyslově vyráběného vápna (Mokrá u Brna). Příliš řídká konzistence měla za následek špatnou adhezi k podkladu a to u všech směsí připravených z tohoto typu pojiva. Nejvýraznější to bylo u čerstvě vyhašených pojiv a ani předpokládaná úprava vlastností našleháním, vlastnosti nezměnila. Výraznější zlepšení bylo pozorováno u měsíc uleželého pojiva. Výše uvedené rozdíly se projevily i na koncových vlastnostech a to výrazně nižší pevnosti a kompaktnosti, které vedly ke ztrátě hmoty v okrajových částech omítky. Omítka připravená z vyzrálého pojiva se svými vlastnostmi blížila nejkvalitnějším omítkám.

Největším překvapením bylo chování malty připravené z vápenné kaše Šošůvka. Předpokladem bylo, že dlouhodobé uležení pojiva vytvoří malty s výbornými zpracovatelskými a užitkovými vlastnostmi, které budou po vyzrání objemově stálé a pevné. Dosažené výsledky však ukázaly, že v porovnání s ostatními maltami se hůře zpracovávají a nanášejí na zeď. Při tuhnutí a tvrdnutí dochází ke vzniku prasklin a trhlin na povrchu i v hloubce omítky. Příčinou je vysoká hutnost pojiva daná dlouhou dobou uležení. Pojivo vyžaduje intenzivní promíchání a přídavek záměsové vody. Vysokou kontrakci při tuhnutí je možno vysvětlit díky známému mechanismu zrání vápenných kaší. V závislosti na čase uležení dochází k rozkladu částic hydroxidu vápenatého, které mají vysokou adsorpci vody, což je hlavní příčinou kontrakce.

Po šesti měsících tvrdnutí se malty vyznačují nejvyšší subjektivně hodnocenou pevností, která se shoduje s nejrychlejší karbonatací.

Pro použití výsledků této práce v restaurování lze vyvodit několik závěrů:

- Pro přípravu malt na omítky, štuky a sgrafito lze jednoznačně doporučit tzv. měkce pálená vápna.
- U současně používaných komerčních produktů lze dosáhnout podobných vlastností pouze v případě jejich uležení (minimální doba uležení je v řádů měsíců).

Překvapivé jsou výsledky z dlouhodobě uleželým vápnem, které by bylo vhodné ověřit na více typech odleželých vápenných kaší, zda se jedná o zjištění platná pouze pro zkoušenou kaši z lokality Šošůvka, nebo zjištění s obecnější platností.

Na základě výsledků se jeví jako nejvhodnější malty, jejichž pojivem je měkce pálené vápno vzniklé v polní peci tradiční technologií. Čerstvé malty se vyznačovaly výbornými zpracovatelskými vlastnostmi, vysokou plasticitou a vysokou okamžitou přídržností. Malty připravené z tohoto typu pojiva rychle karbonatizovaly. Dlouhodobě odleželé vápno z lokality Šošůvka nesplnilo požadavky na dobré zpracování, malta se vyznačovala menší objemovou stálostí a vyžaduje nanášení v tenčích vrstvách. Tvrdě pálená vápna lze charakterizovat horšími zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi, které se zlepšují s dobou uležení. Na závěr je nutné říci, že hlavní vliv na kvalitu vápenných malt nemá pouze výchozí surovina a podmínky přípravy. Důležitým faktorem je také samotný průběh přípravy pojiva a jeho uležení, při přípravě malt pak rozhoduje správná technologie.

Literatura

Beruto, D., Barberis, F., Botter, R., *Calcium carbonate binding mechanisms in the setting of calcium and calcium – magnesium putty – limes*. Journal of Cultural Heritage 6(2005)

Hošek, J., Losos, L., *Historické omítky : průzkumy, sanace, typologie*. Praha 2007.

Jirásek, J., Vavro, M., *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008.

Kotlík, P., *Stavební materiály historických objektů*. Praha 1999.

Michoinová, D., *Příprava vápenných malt ve stavební památkové péči*. Praha 2006.

Rovnaníková, P., *Omítky. Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002.

Stefanidou, M., Papayianni, I., The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. Cement & Concrete Composites 27(2005)

Šujanová, O., *Povrchové úpravy památkových objektů*. Štátní ústav pamiatkovej starostlivosti Bratislava - Hrad.

Kol. autorů, *Vápno*, STOP, 2001.

Wingate, M., *Small-scale lime burning, A practical introduction*, ITDG Publishing, 1985.

Seznam obrázků

Obr. 1 Ložiskové oblasti vápenců v České republice.....	13
Obr. 2 Praktické zkoušky – celkový pohled, 2 měsíce po nanesení.....	37
Obr. 3 Schéma praktických zkoušek – celkový pohled.....	38
Obr. 4 Schéma zkoušky – detail.....	38
Obr. 5 Graf křivky zrnitosti použitého plniva.....	39
Obr. 6 Historické typy pecí.....	41
Obr. 7 Polní pec na Černé hoře.....	41
Obr. 8 Proces měření okamžité pevnosti vtahu.....	45
Obr. 9 Cihlové kvádříky.....	45
Obr. 10 Schéma klínu.....	47
Obr. 11 Proces nanášení jednotlivých omítek, v průběhu 1. měs. tuhnutí – zk. I, II, III.....	53
Obr. 12 Celkový pohled po 2 měsících vytvrzování.....	54
Obr. 13 Proces nanášení vápenné malty I – celkový pohled.....	56
Obr. 14 Proces nanášení vápenné malty I - ihned po nanesení (savý podklad).....	57
Obr. 15 Proces nanášení vápenné malty I - ihned po nanesení (nesavý podklad).....	57
Obr. 16 Zkouška okamžité objemové stálosti (plasticity).....	57
Obr. 17 Maltové koláče po třech měsících tvrdnutí (savý podklad I, III, IV, V, VI).....	58
Obr. 18 Maltová koláče po šesti měsících tvrdnutí, objem. změny pouze u malt I, III.....	59
Obr. 19 Vytvrzelé maltové koláče po šesti měsících, savý a nesavý podklad.....	60
Obr. 20 Proces nanášení na zeď.....	61
Obr. 21 Stav klínů po šesti měsících tvrdnutí.....	62
Obr. 22 U malty I jako jediné došlo ke vzniku praskliny v tloušťce 2 cm.....	63
Obr. 23 Schéma jednotlivých zkoušek I - VI.....	65
Obr. 24 Jednotlivé omítky po šesti měsících tvrdnutí– zkoušky I, II, III, IV, V, VI.....	65
Obr. 25 Celkový pohled po šesti měsících tvrdnutí.....	66
Obr. 26 Graf termické analýzy - vzorek I.....	68
Obr. 27 Graf termické analýzy - vzorek II.....	69
Obr. 28 Graf termické analýzy - vzorek III.....	69
Obr. 29 Graf termické analýzy - vzorek V.....	70
Obr. 30 Graf termické analýzy - vzorek VI.....	70

Seznam tabulek

Tab. 1 Vliv teploty výpalu na pórovitost vápna.	15
Tab. 2 Druhy vzdušného vápna podle ČSN EN 459-1.	17
Tab. 3 Přísady do malty v historických obdobích	21
Tab. 4 Přísady a jejich účinky ve vápenných maltách	22
Tab. 5 Historické období – gotika	30
Tab. 6a Historické období – renesance	31
Tab. 6b Historické období – renesance	32
Tab. 6c Historické období – renesance	31
Tab. 7a Historické období – baroko.....	34
Tab. 7b Historické období – baroko.....	34
Tab. 8 Historické období – klasicismus	36
Tab. 9 Granulometrie plniva – číselné hodnoty	39
Tab. 10 Rozdělení a popis použitých pojiv	40
Tab. 11 Typy použitých vápenných kaší.....	41
Tab. 12 Vlastnosti vápenných kaší a hodnoty sušiny	49
Tab. 13 Proces úpravy vlastností – přidání záměsové vody, míchání.....	50
Tab. 14 Subjektivní hodnocení zpracovatelských vlastností	51
Tab. 15 Okamžitá pevnost v tahu u jednotlivých zkoušek.....	54
Tab. 16 Celkové srovnání okamžité plasticity čerstvých malt a objemové stálosti vytvrzelých malt (po šesti měsících).....	55
Tab. 17 Stav maltových klínů po šesti měsících tvrdnutí.....	60
Tab. 18 Subjektivní hodnocení stavu malt po šesti měsících	64
Tab. 19 Souhrn výsledků vyvozených z termické analýzy jednotlivých omítek	67