



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV CHEMIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CHEMISTRY

MATERIÁLY PRO OBNOVU OMÍTEK HISTORICKÝCH STAVEB

MATERIALS FOR HISTORICAL BUILDING PLASTER RENOVATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ELIŠKA KOLOUCHOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. RNDr. PAVLA ROVNANÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav chemie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Eliška Kolouchová


Název Materiály pro obnovu omítek historických staveb

Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

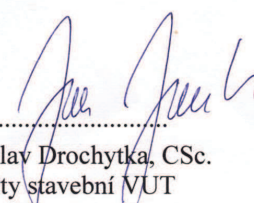
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012


.....
prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
Pověřená vedením ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Vápenné omítky v památkové péči. Směrnice WTA 2-7-01/D. Praha: WTA CZ, 2008. ISBN 978-80-02-01986-2.

Hošek, J., Muk, J. Omítky historických staveb. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990. ISBN 80-04-23349-x.

Rovnaníková, P. Omítky. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002. ISBN 80-86657-00-0.

CERULLI, T. et al. Durability of traditional plasters with respect to blast furnace slag-based plaster. Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, 1375-1383.

MARAVELAKI-KALAITZAKI, P. et al. Hydraulic lime mortars for the restoration of historical masonry in Crete. Cement and Concrete Research, Vol. 35, 2005, 1577-1586.

VEJMELKOVÁ, E. et al. Application of burnt shale as pozzolan addition to lime mortar. Cement & Concrete Composites, Vol. 34, 2012, 486-492.

CORINALDESI, V. Environmentally-friendly bedding mortars for repair of historical building. Construction and Building Materials, Vol. 35, 2012, 778-784.

IUCOLANO, F., LIGUORI, B., COLELLA, C. Fibre-reinforced mortars: A possible resource for ancient masonry restoration. Construction and Building Materials, Vol. 38, 2013, 785-789.

STEFANIDOU, M., PAPAYIANNI, I. The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, 914-919.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Za použití doporučené literatury a další z provedené rešerše, zpracujte stat' o složení a vlastnostech historických omítek a malt, u každé převzaté informace uveďte odkaz na použitý zdroj. Vypracujte přehled suchých maltových směsí, které jsou dostupné na našem trhu a mohou být z hlediska složení a vlastností použity při obnově památkově chráněných objektů. K získání informací o maltách použijte technické a bezpečnostní listy firem nabízejících tyto výrobky na našem trhu. Porovnejte jejich vlastnosti z dostupných informací v technických listech. Rozsah práce 35 až 45 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. RNDr. Pavla Rovnaníkové, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce je podat přehled o sortimentu suchých omítkových směsí vhodných pro obnovu fasád historických objektů na současném českém trhu. Dále si tato práce klade za cíl seznámit s vývojem omítkářství na území dnešní České republiky, s historickými omítkovými materiály a technikami a problematikou obnovy fasád historických objektů.

Abstract

Main goal of this bachelor's thesis is to create an overview of range of products for historical building plaster renovations. Furthermore, this thesis presents the development of plaster and mortar creation in the Czech Republic, historical plaster materials and technologies and historic building renewal.

Klíčová slova

Omítka, historické stavby, obnova, vápno, cement.

Keywords

Plaster, historical building, renewal, lime, cement.

Bibliografická citace díla

KOLOUCHOVÁ, Eliška. *Materiály pro obnovu omítek historických staveb*. Brno, 2013. 60 s., 29 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav chemie. Vedoucí práce prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013.

.....
podpis autora

Eliška Kolouchová

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Pavle Rovnaníkové, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji také prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovvi, CSc. za metodickou pomoc a další rady při zpracování optimalizačních výpočtů v této bakalářské práci.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Druhy omítek a jejich vlastnosti.....	6
2.1	Rozdělení omítek.....	6
2.2	Druhy pojiv.....	6
2.3	Pojiva v omítkách	7
2.3.1	Jílové zeminy.....	7
2.3.2	Sádra a sádroviny.....	7
2.3.3	Vápno	9
2.3.4	Portlandský cement	14
2.3.5	Vzdušné vápno modifikované anorganickými příměsmi	15
2.4	Plniva používaná v omítkách	17
2.4.1	Plniva anorganická	17
2.4.2	Plniva organická	17
2.4.3	Barviva.....	18
2.5	Záměsová voda	18
2.6	Organické přísady	19
2.6.1	Přírodní přísady	19
2.6.2	Přísady syntetické	19
2.7	Omítky vápenné nastavované	21
2.7.1	Omítky hlinitovápenné	21
2.7.2	Omítky sádrovápenné.....	21
2.7.3	Omítky vápenné s mramorovou moučkou	22
2.7.4	Omítky vápenocementové	22
3	Historický vývoj omítkářství na území Čecha Moravy	24
3.1	Některé historické postupy přípravy vápenných malt	25
3.1.1	Příprava malty z vápenné kaše podle historických pramenů	25
3.1.2	Příprava malty ze suchého hydrátu podle historických pramenů.....	26
3.1.3	Příprava malty z nehašeného vápna podle historických pramenů.....	26
3.2	Historie výroby vápna	28
3.2.1	Zařízení na výrobu vápna	30
4	Obnova a rekonstrukce fasád historických objektů	34
4.1	Kvalita omítek	34

4.2	Trvanlivost omítek	35
4.3	Obnova omítek	36
4.3.1	Konzervace.....	36
4.3.2	Obnova omítek	36
4.3.3	Možnosti náhrady starých vápen nově vyráběnými	39
4.3.4	Staveništní malty	40
4.3.5	Suché maltové směsi.....	40
4.3.6	Sanační omítky	44
5	Optimalizace suchých omítkových směsí pro obnovu fasád historických staveb.....	46
5.1	Rozhodovací proces - teorie multikriteriální optimalizace	46
5.2	Multikriteriální optimalizace suchých omítkových směsí	46
5.3	Multikriteriální optimalizace sanačních systémů	50
6	Diskuse a závěr	52
7	Seznamy	55
7.1	Seznam použité literatury	55
7.2	Seznam obrázků.....	57
7.3	Seznam tabulek.....	58
7.4	Seznam použitých zkratk, chemických značek a vzorců	59
7.5	Seznam použitých zkratk a značek	60
7.6	Seznam příloh	60

1 Úvod

Hlavním cílem této bakalářské práce je podat přehled o sortimentu suchých omítkových směsí vhodných pro obnovu fasád historických objektů na současném českém trhu. Dále si tato práce klade za cíl seznámit čtenáře s vývojem omítkářství na území dnešní České republiky, s historickými omítkovými materiály a technikami a problematikou obnovy fasád historických objektů.

Fasády představují ochranu povrchu stavební konstrukce před vlivem povětrnosti, a také určují estetický charakter celé stavby. Omítky představují jeden z nejčastějších způsobů úpravy povrchů stavebních konstrukcí již od počátku stavitelství.

V zájmu uchování historického kulturního dědictví je obnova památek nedílnou součástí projekční a stavební činnosti u nás i v zahraničí. Nedílnou součástí renovačních stavebních prací je také obnova omítek a fasád historických objektů, k níž lze v současnosti využít pokročilých stavebních technologií a materiálů. Při obnově je nutno respektovat Benátskou chartu [1], která definuje konzervaci a restaurování (spadající pod obnovu) jako disciplíny, jež se obrací ke všem vědám a technikám, které mohou přispět ke studiu a k záchraně památkového dědictví. Jestliže se tradiční techniky ukázaly nepostačujícími, je možno zabezpečení památky provést všemi moderními technikami konzervace a konstrukce, jejichž účinnost byla prokázána údaji vědeckými a zaručena zkušeností.

Použití suchých omítkových směsí při rekonstrukcích fasád historických staveb není v rozporu s Benátskou chartou, zaručuje dosažení vlastností deklarovaných výrobcem, a také jednotnost těchto vlastností v celém objemu renovačních prací. Ne všechny suché omítkové směsi však jsou vhodné pro použití na fasádách historických objektů. V bakalářské práci je uveden přehled suchých maltových směsí vhodných pro použití k obnově stavebních památek. Součástí práce je na základě vybraných parametrů zhodnocení složení a vlastností směsí za použití optimalizačních nástrojů. Výsledkem bakalářské práce je seznam doporučených suchých omítkových směsí pro obnovu fasád historických budov.

2 Druhy omítek a jejich vlastnosti

2.1 Rozdělení omítek

Omítky lze dělit podle mnoha různých kritérií, z nichž nejzásadnější je dělení podle druhu pojiva. Druh pojiva vyjadřuje podstatu omítky na základě způsobu vytváření pevné struktury a jejích chemických a technologických vlastností v zatvrdlém stavu. Dalším významným kritériem dělení omítek je použití přísad a přídavků, které modifikují vlastnosti omítek i se shodným druhem pojiva.

Základní kritéria dělení omítek podle [2]:

- použití: exteriérové, interiérové,
- druhu pojiva: hliněné, sádrové, sádrovápenné, vápenatosádrové, hořečnaté, vápenné ze vzdušného vápna, vápenné z hydraulického vápna, vápenopucolánové, vápenocementové, cementové,
- plniva: jemnozrnné, hrubozrnné, s vláknitou výztuží, s organickým plnivem,
- technologie aplikace: strojně nanášené, ručně nanášené (hlazené, utahované, s nerovným povrchem, se strukturovaným povrchem, zpracované speciálními technikami – sgrafito, umělý mramor),
- funkce: s funkcí estetickou, tepelně izolační, sanační, omítky obětované používané při odsolování zdiva,
- postavení vrstev: vyrovnávací, jádrové, štukové,
- počtu vrstev: jednovrstvé, vícevrstvé,
- barevnosti: probarvené, neprobarvené.

2.2 Druhy pojiv

Stavební pojiva jsou nejčastěji anorganické látky, které s vodou tvoří zpracovatelnou směs. Po zatvrdnutí získají potřebné mechanické, fyzikálně chemické a chemické vlastnosti a spolu s plnivem tvoří složené (kompozitní) materiály – malty, betony.

Anorganická stavební pojiva zahrnujeme pod společný název maltoviny. V posledních asi 30 letech dosáhla velkého rozšíření ve stavebnictví také organická pojiva, používaná buď jako samostatné pojivo nebo ve formě přísad k pojivům anorganickým. Maltoviny v zásadě dělíme podle jejich chování v zatvrdlém stavu vůči vodě na:

- maltoviny vzdušné: jíly, sádra, sádrová pojiva, vzdušné vápno, hořčnatá maltovina,
- maltoviny hydraulické: hydraulické vápno, románský cement, cement na bázi portlandského slínku, speciální pojiva.

Maltoviny vzdušné vytvářejí pevnou strukturu na vzduchu a po vytvrzení jsou stálé na vzduchu. Naproti tomu maltoviny hydraulické po zatuhnutí na vzduchu vytvářejí pevnou strukturu i ve vlhku nebo ve vodě a jsou v tomto prostředí dlouhodobě stálé.

2.3 Pojiva v omítkách

2.3.1 Jílové zeminy

Jíly ve formě zemin jsou historicky nejstarším pojivem. Jíly jsou nekovové anorganické materiály s vrstevnatou strukturou, ve vodě jsou prakticky nerozpustné, ale bobtnají. Jsou to směsi jílových minerálů s velikostí zrn do 0,002 mm. Nejčastěji se v jílových zeminách vyskytují, kaolinit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, montmorillonit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, halloysit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a illit $n\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Keramické hlíny se vyznačují dobrou zpracovatelností a vysokou plasticitou, ale také značným smršťováním při vysychání [2].

2.3.2 Sádra a sádroviny

Surovinou pro výrobu sádry je přírodní sádrovec nebo energosádrovec, který vzniká jako odpad při mokré vypírce kouřových plynů v elektrárnách a teplárnách. Z chemického hlediska se jedná o síran vápenatý dihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tvrdost sádrovce podle Mohsovy stupnice činí 1,5 až 2. Jeho rozpustnost ve vodě je poměrně vysoká, rozpouští se 0,256g ve 100g vody při 20°C. Sádrovec je stálý do teploty 40 °C, při vyšších teplotách dochází k postupné ztrátě vody [2].

Přítomnost různých forem sádrových pojiv, které jsou dány použitou technologií výroby, ovlivňují tuhnutí a výslednou pevnost. Směs anhydritu a oxidu vápenatého CaO se nazývá pomalu tuhnoucí sádra, někdy nazývaná také zednická nebo potěrová. Obsahuje 75 – 85 % anhydritu, 2 – 4 % CaO a do 10 % ostatních složek (hlinité součásti). Tuhnutí a tvrdnutí sádry je proces opačný k její výrobě. Při smísení sádry s vodou dochází k jejímu rozpouštění a následné krystalizaci sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1). Při hydrataci anhydritu probíhá reakce (2) [2].





Po vsypání sádry do vody za stálého míchání vznikne kaše, která postupně ztrácí tekutost a přechází do tuhého stavu. Po zatuhnutí začíná sádra tvrdnout, tzn. že dochází k rekrystalizaci sádrovce a pozvolna narůstá pevnost. Zvýšení pevnosti sádry lze dosáhnout jejím vysušením při teplotě 40°C. Značnou výhodou sádry je, že dosahuje úplné hydratace a konečných pevností v relativně krátké době. Sádra je vhodná pro použití do interiéru, pro aplikaci v exteriéru je nutné provést hydrofobizaci sádry buď vnitřní (přídavek hydrofobizačního činidla do směsi), nebo vnější (ošetření povrchu nejlépe organokřemičitým hydrofobizačním prostředkem, dříve se používala lněná fermež) [2].

V minulosti byly používány speciální druhy sádrových maltovin, které byly vyvinuty pro zlepšení vlastností zatvrdlého produktu. Používaly se pro zvláštní druhy omítek, dekorační úpravy stěn, a také pro výrobu umělého mramoru, používaného jako finální vrstva interiérových omítek. Vesměs jde o anhydritové maltoviny s různými přísadami, které měly podnítit hydrataci anhydritu a vytvořit pevnou hmotu odolnou proti povětrnosti. Jedná se o následující druhy anhydritových maltovin: [2]

- Keenova sádrovina byla vyráběna pálením sádrovce s kamencem hlinitodraselným při 600 °C, která má vyšší odolnost proti povětrnostním vlivům.
- Parianská sádra byla vyráběna pálením sádrovce s boraxem a místo záměsové vody byl používán roztok kyselého vínanu draselného.
- Schottova sádra vznikla pálením sádrovce s vápnem v poměru 7:3 do slinutí.
- De Wyldeho sádra byl vyráběna zahříváním anhydritu s vodním sklem na teplotu 150 – 250 °C.

Pro přípravu sádrových omítek je nutné používat pouze zcela čistou vodu. Dodatečné přidávání vody v době, kdy sádra začíná tuhnout, je nevhodné. Při tuhnutí se již vytváří sádrovec, u něhož se poruší vazby s dalšími částicemi a dojde ke snížení množství využitelného pojiva a zvýší se porozita zatvrdlé sádry. Pro výrobu malt se sádra mísí s pískem, který nesmí obsahovat hlinité součásti. Se stoupajícím množstvím písku (až 3 hm. díly na 1 hm. díl sádry) se snižuje citlivost sádrových omítek k vlhkosti okolí, snadněji vysychají a rychleji dosahují rovnovážné vlhkosti. Tradičním plnivem sádrových omítek byly zvířecí chlupy, někdy také rostlinná vlákna. Vlákna na povrchu nesměla obsahovat mastnotu, proto byla před použitím několik

dní máčena ve vápenném mléku. V současné době jsou přírodní vlákna nahrazována polypropylenovými vlákny [2].

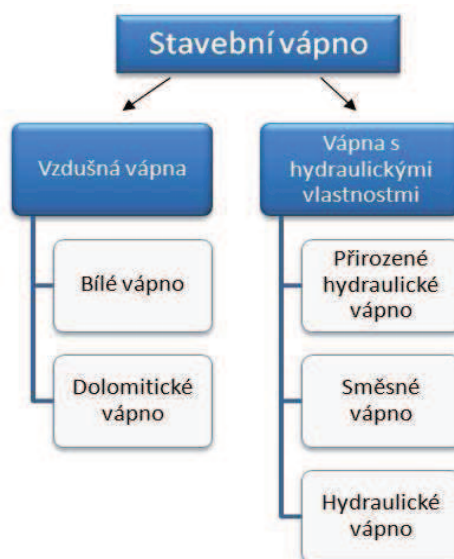
U sádrovápenných směsí sádra reaguje s vodou a malta dříve ztuhne. Rychle se tvoří pevná struktura z krystalů sádrovce, mezi nimiž se nachází částice hydroxidu vápenatého Ca(OH)_2 , který podléhá postupné karbonataci za vzniku kalcitu.

Sádrové a sádrovápenné omítky by neměly přijít do styku s hydraulickými pojivy. V přítomnosti vlhkosti může docházet ke vzniku ettringitu nebo thaumasitu, jež při krystalizaci vytvářejí molekuly, které způsobují rozpad malt. Tato reakce může nastat, když jsou vápenocementové omítky aplikovány na zdící nebo spárovací malty s obsahem sádry.

2.3.3 Vápno

2.3.3.1 Vápno podle ČSN EN 459-1

Podle ČSN EN 459-1 [12] se vápna dělí na vzdušná a s hydraulickými vlastnostmi. Vzdušná vápna jsou: bílé a dolomitické, vápna s hydraulickými vlastnostmi se dělí na přirozené hydraulické vápno, směsné vápno a hydraulické vápno. Vzdušná vápna nejsou definována pevností v tlaku, ale obsahem sumy $\text{CaO} + \text{MgO}$, hydraulická pevností v tlaku.



Vápno nejvyšší kvality se získá pálením čistých vápenců. Kvalitu vápna určuje především aktivita vápna, která se stanovuje měřením vzrůstu teploty při jeho hydrataci, a vydatnost, která se stanoví objemem vápenné kaše při reakci páleného vápna s vodou za standardních podmínek [l/kg vápna]. Důležité je také stanovení

objemové stálosti a obsahu částic přepáleného nehašeného vápna. Zkušební metody pro stanovení vlastností vápen jsou uvedeny v ČSN EN 459-2 [13].

2.3.3.2 Vzdušné vápno

Vápno ve stavební praxi představuje technický název pro oxid vápenatý CaO v různém stupni čistoty. Vzdušné vápno sestává převážně z oxidu nebo hydroxidu vápenatého; tuhne a tvrdne pouze na vzduchu.

Jako surovina pro výrobu vzdušného vápna slouží čistý vápenec. Vápenec je hornina, sestávající převážně z kalcitu (uhličitan vápenatý CaCO_3). Čisté vápence, v nichž se obsah kalcitu blíží 100 %, se v přírodě vyskytují jen zřídka. Obvykle jsou více či méně znečištěny jílovými minerály a dolomitem ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Obsah jílových minerálů je určující pro využití vápenců k výrobě vzdušného nebo hydraulického vápna, event. portlandského cementu. Natěžená surovina (vápenec) se dnes vypaluje v šachtových nebo rotačních pecích při teplotě 1000 - 1250 °C. Při pálení dochází k rozkladu vápence na oxid vápenatý CaO a oxid uhličitý CO_2 (3).



Získaný produkt se nazývá pálené vápno. Jeho vlastnosti určuje mj. mikrostruktura, která závisí na teplotě výpalu a ovlivňuje jeho aktivitu při hydrataci a vydatnost. Kvalita vápna se posuzuje zejména podle rychlosti hydratační reakce a množství uvolněného tepla. Vápno vypálené na nižší teplotu (1050 °C), tzv. měkce pálené vápno, má nízkou objemovou hmotnost, vysokou porozitu a velký měrný povrch. Reakce s vodou probíhá současně na velké ploše povrchu zrn i uvnitř pórů, hydratace tedy probíhá rychle a dokonale v krátké době. Vápenec vypálený na teplotu vyšší než 1100 °C poskytuje vápno s vyšší objemovou hmotností, menší porozitou a menším měrným povrchem. S tím souvisí zpomalení hydratačních reakcí, které probíhají v okamžiku styku s vodou na menší ploše povrchu. Hydratační reakce páleného vápna s vodou se nazývá hašení, vzniká při ní hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 a dochází k uvolnění značného množství tepla (4).

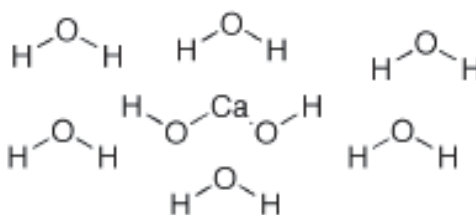


Způsob provedení hydratace, tj. technologie hašení, ovlivňuje vlastnosti hašeného vápna. Vzhledem k tomu, že krystalové mřížky oxidu a hydroxidu vápenatého nemají stejnou velikost, při postupné hydrataci zrn CaO vzniká napětí,

kteřé rozdrůžuje částice vápna na velmi jemné částice hydroxidu. Tato kaše, tvořená suspenzí hydroxidu vápenatého ve vodě, se nazývá hašené vápno.

Vyhašené vápno ve formě vodní suspenze je poté z hasnice vypouštěno přes síto s oky velikosti 3 mm do usazovací jámy, kde sedimentují větší zrna a řidká vápenná kaše se přepadem odvádí do odležovacích jam. Odležení vápenné kaše je velmi důležité, protože při něm dochází k dodatečné hydrataci, rozdrůžení nezhydratovaných zrn CaO a ustavení adsorpční rovnováhy, která má význam pro reaktivitu hydroxidu a plasticitu vápenné kaše. Čím delší je doba odležení, tím větší je pravděpodobnost, že vápno bude objemově stálé. Kvalitní vápenná kaše má konzistenci změkklého másla, výbornou plasticitu a vaznost. [2]

Plastifikační schopnost Ca(OH)₂ v maltách je způsobena jeho charakterem hydrogelu (obr. 1), který obsahuje větší množství vody, než odpovídá jeho chemickému vzorci.



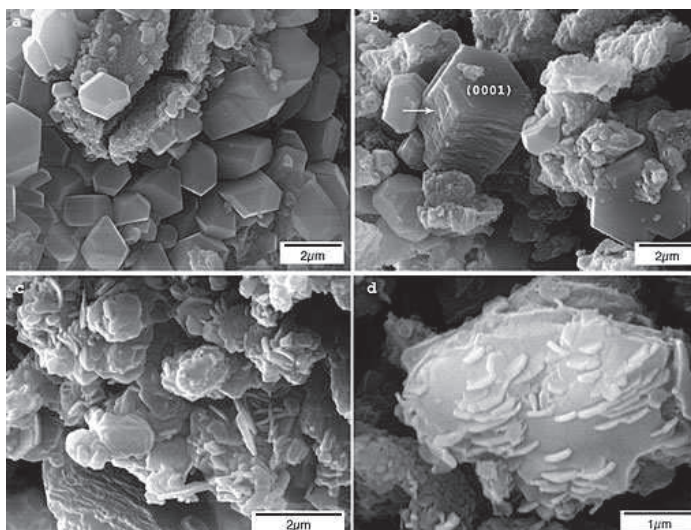
Obr. 1 - Schéma struktury hydrogelu

Vytvoření hydrogelu trvá určitou dobu, proto je důležité odležení vápenné kaše. Při dlouhodobém styku vápna s vodou dochází k rozdrůžování shluků vápna a vytvoření obalu z molekul vody kolem molekul Ca(OH)₂. Vápno pak reaguje rychleji s CO₂ při vytváření pevné struktury vápenných malt.

Odležení vápenné kaše lze urychlit použitím mechanických aktivátorů, které vápennou kaši intenzivně míchají ve speciálních zařizováních. Princip spočívá v tom, že nevyhašená zrna jsou mechanicky rozdrůžována, a tím se zvětšuje povrch, který může reagovat s vodou. Také dochází k rozdrůžování zrn již vyhašeného vápna a k obalování částecek Ca(OH)₂ vodou, čímž se podstatně zvyšuje plasticita, zpracovatelnost a vydatnost vápenné kaše [2].

Kromě výše popsaného tzv. mokřého hašení se provádí i tzv. suché hašení. Spočívá v tom, že se k pálenému vápnu přidává pouze malý přebytek vody nad vypočtený stechiometrický poměr. Tento proces hašení se provádí přímo ve vápenkách, kde se v hasících vanách vápno s vodou dokonale promíchává, aby

zcela hydratovalo. Uvolněné hydratační teplo pak způsobí odpaření přebytečné vody a výsledkem je suchý produkt nazývaný vápenný hydrát.



Obr. 2 - Mikrostruktura hašeného vápna: a – krystaly portlanditu v čerstvé kaši, b – po 2 měsících, c – po 6 měsících, d – po 2 letech odležení [14]

Proces vytváření pevné struktury vzdušného vápna se nazývá karbonatace a při ní vzniká nerozpustný uhličitán vápenatý CaCO_3 (rozpustnost CaCO_3 při 20 °C je 1,3 mg ve 100 g vody) (5).



Proces karbonatace vápna je pomalý a je závislý na koncentraci CO_2 v okolním vzduchu (na jeho parciálním tlaku), na relativní vlhkosti vzduchu (RH) a na teplotě. Při $\text{RH} < 50\%$ nebo $\text{RH} > 95\%$ probíhá reakce velmi pomalu. Karbonataci negativně ovlivňuje také nízká teplota. Po ukončení karbonatace, když se z Ca(OH)_2 vytvoří CaCO_3 , začne probíhat dlouhodobý proces rekrystalizace CaCO_3 [2].

Vytváření pevné struktury v omítkách, kde bylo jako pojivo použito vápno, lze rozdělit do 2 dílčích dějů. Nejprve dochází k odsátí vody z malty porézním materiálem zdiva; průběh tohoto děje závisí na nasákavosti materiálu (např. cihla má nasákavost $> 25\%$). Druhým dějem je vlastní karbonatace. Zatímco u líce omítky se již vytvořil CaCO_3 , u líce zdiva ještě převažuje Ca(OH)_2 , jak je patrné z obr. 3.

To znamená, že u zdiva je omítka po dlouhou dobu nejméně pevná, protože CO_2 difunduje k Ca(OH)_2 skrze porézní systém omítky. Při stanovování pH ve vodním výluhu z vápenné omítky bylo zjištěno, že po 78 dnech volně karbonatující omítky kleslo pH z původní hodnoty 12,3 na 11,3. Hodnota pH plně karbonatované omítky je 8,3. Ještě po 2 letech byla zjištěna přítomnost 14 % nezkarbonatovaného Ca(OH)_2 [2].

jak k nim difunduje CO_2 ze vzduchu. Hydratace je z větší části ukončena o 28 dnech. V konečné fázi zatvrdlá omítka obsahuje CaCO_3 a hydratované křemičitany a hlinitany vápenaté. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, který vzniká hydratací složek hydraulického vápna, také postupně karbonatuje [2].

Malty s hydraulickým vápnem dosahují mnohem vyšších pevností v porovnání s maltami vyrobenými pouze ze vzdušného vápna. Příčinou vyšší pevnosti hydraulických omítek, a také vyšší odolnosti omítek proti působení vody a kyselých plynů ve srovnání s odolností CaCO_3 jsou právě hydratované sloučeniny. V důsledku toho lze u omítek na bázi hydraulického vápna očekávat delší životnost.

2.3.3.4 Dolomitické vápno

Dolomitické vápno se vyrábí z dolomitu nebo dolomitických vápenců. Obsahují místo kalcitu (CaCO_3) minerál dolomit (uhličitan vápenato-hořečnatý [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]). Zpravidla mají vápna z dolomitu šedou barvu [6].

Dolomitická vápna tvrdnou oproti vzdušným a hydraulickým vápnům pomaleji, dokonce i tuhnutí malty je výrazně zpomaleno. Malty však dosahují u srovnatelných směsí s bílým vápnem zpravidla vyšší pevnosti. Nedochozí obvykle ke vzniku MgCO_3 , ale vzniká nejprve nesquehonit ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), v konečném stadiu pak byly nalezeny fáze typu hydromagnezitu ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) [15].

Trasové vápno spadá do kategorie směsných hydraulických vápen podle ČSN EN 459-1. Trasem se rozumí jemně mletý vulkanický tuf, který vykazuje pucolánové vlastnosti. Trasové vápno je směs trasu a vzdušného nebo hydraulického vápna, pokud obsahuje i podíl portlandského cementu, musí to být jednoznačně uvedeno. Trasové vápno udílí maltě dobrou plasticitu, zvýšenou vodotěsnost a odolnost proti povětrnosti. U malt s rýnským trasem byla pozorována tvorba škodlivých výkvětů v důsledku uvolnění alkálií a zvýšené vlhkosti [6].

2.3.4 Portlandský cement

Portlandský cement je práškové hydraulické pojivo vyrobené jemným rozemletím křemičitanového slínku s hlavní přísadou – sádrovcem, který slouží jako regulátor tuhnutí. Po smísení cementu s vodou vytváří po určité době pevnou, vodě odolnou hmotu. Z mineralogického hlediska obsahuje portlandský slínek 4 základní slínkové minerály: alit (trikalciumsilikát $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ - C_3S), belit (dikalciumsilikát $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ - C_2S), trikalcialuminát ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ - C_3A) a brownmillerit (tetraalkaliumaluminátferit $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ - C_4AF).

Cementy se používají jako pojivo do betonů, cementových a vápenocementových malt, které představují v dnešní době významnou prefabrikovanou směs pro omítky všech druhů.

2.3.5 Vzdušné vápno modifikované anorganickými příměsmi

Vápna s hydraulickými a/nebo pucolánovými příměsmi je podle ČSN EN 459-1 klasifikováno jako směsné hydraulické vápno. Tato vápna mohou obsahovat portlandský slínek, přírodní pucolán, kalcinovaný přírodní pucolán, vápenec a granulovanou vysokopecní strusku.

U směsných vápen dochází ke konkurenci mezi pucolánovou, nebo hydraulickou reakcí a karbonatací vápna. Průběh reakce je závislý na okolních podmínkách (teplota, RH). Při vyšším obsahu vody v maltě nebo vyšší RH se bude více prosazovat pucolánová nebo hydraulická reakce, při nižší RH bude malta spíše karbonatovat. Po zatvrdnutí vytváří vápenné malty s hydraulickými přísadami pevné hmoty, které jsou odolné proti působení vlhkosti a mají zvýšenou odolnost proti působení agresivních látek z okolí [2].

2.3.5.1 Vzdušné vápno s pucolánovými příměsmi

Do vápenných malt se již v dávné historii používaly různé příměsi, které zlepšovaly jejich vlastnosti. Jednalo se o přírodní nebo technogenní materiály, které jsou dnes nazývány “pucolány”.

Pucolány lze definovat jako křemičité nebo hlinitokřemičité látky, které samy o sobě mají malou nebo žádnou vazebnou schopnost, ale s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v přítomnosti vody reagují za běžných teplot za vzniku sloučenin, které se vyznačují pojivými vlastnostmi a jsou stálé ve vodě. Jejich reaktivita s vápnem závisí na chemickém a mineralogickém složení, podílu amorfni fáze, velikosti zrn a okolních podmínkách.

Pucolány jsou jak přírodní, tak technogenní. Mezi přírodní pucolány lze zahrnout tras, tufy, tufity, pemzu, diatomitovou zeminu, perlit, spongility, chalcedony, opály, apod., technogenní pucolány jsou pálené jíly, které se buď cíleně pálí pro použití v maltách, nebo se používají ve formě drceného nebo mletého cihelného, nebo obecně keramického střepu, a dále sem patří popely a popílky po spalování různého přírodního organického materiálu – slámy, dřeva, uhlí apod.

Vápenné omítky s pucolánovými přísadami dosahují vyšší pevnosti než vápenné omítky, jsou odolnější proti působení agresivních látek z ovzduší, hydraulická část

pojiva je odolná proti působení vody. Z těchto vlastností vyplývá, že tento druh omítek má obvykle i delší životnost.

Při petrografických rozborech historických omítek z území dnešní ČR byly identifikovány drcené a mleté keramické střepy, jemně drcené sklo a různé druhy strusek. Všechny tyto látky se v přítomnosti vápna chovají jako pucolány a jsou schopné ve větší či menší míře vytvářet produkty hydraulického tvrdnutí [2].

Z chemického hlediska pucolány obsahují amorfni oxid křemičitý a reaktivní formy, nejlépe rovněž amorfni různých hlinitokřemičitanů, které mají schopnost reagovat s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a vytvářet produkty typu CSH a CAH sloučenin, jsou pucolány přírodní nebo technogenní látky, které vnášejí do směsi hydraulické složky (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Oxid křemičitý je v pucolánově aktivních látkách v amorfni formě spolu s reaktivními hlinitokřemičitany reaguje již za běžných teplot s vápnem za vzniku hydratovaných vápenatých sloučenin, které jsou stálé i pod vodou a vytváří pevnou strukturu mezi zrny kameniva [2].

Každý silikátový materiál obsahující amorfni SiO_2 , event. hlinitany nebo hlinitokřemičitany vápenaté, má do jisté míry pucolánovou aktivitu. Pucolány lze rozlišit podle 2 hledisek, a to podle vzniku (přírodní, technogenní) a podle složení (s obsahem amorfniho SiO_2 , křemičitanů, hlinitanů, železitanů). Přírodní pucolány jsou původu buď vulkanického (tufy) nebo sedimentárního (tufity, křemelina). Mezi přírodní pucolány patří také pemza, čedič, chalcedony, opály, živce, slídy. Technogenní pucolány jsou buď cíleně připravovány (např. metakaolín), nebo se jedná o silikátové odpady a popely po spalování organických látek. V historii se do omítek používal kostní popel, dřevní popel, popel ze spalování obilné slámy nebo výhonků vinné révy. Ve stavebnictví se pro řadu aplikací používají elektrárenské popílky [2].

2.3.5.2 Vápenné omítky s hydraulicky reagujícími příměsmi

Do této skupiny spadá zejména vysokopecní granulovaná struska. Vysokopecní granulovaná struska má zásaditý charakter a má vysoký podíl amorfni fáze, což je příčinou její reaktivity s vodou v přítomnosti vápna. Podobně by mohly být využity i jiné granulované hutnické strusky. Struska obsahuje zejména hlinitokřemičitany (gehlenit), křemičitany hořečnatovápennaté (akermanit, merwinit, monticellit) a křemičitany vápenaté (wollastonit, belit). Díky obsahu vápenatých složek struska reaguje s vodou za vzniku malého množství složek gelového charakteru, jejichž výsledné pevnosti jsou velmi nízké. Použití $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vede ke vzniku hydratovaných

křemičitanů vápenatých (CSH), které jsou pevné, odolné proti působení vody a agresivních látek z okolí než CaCO_3 [2].

2.4 Plniva používaná v omítkách

Plniva jsou materiály, které homogenizací s pojivy a vodou tvoří malty použitelné pro zdění a omítání [2].

2.4.1 Plniva anorganická

Mezi anorganická plniva patří především křemenné písky, vhodné jsou zejména říční, které mají nízký podíl jílových složek. Podle Vitruvia [16] je vhodné použít tzv. ostrý písek (křemenný bez jílových podílů) a kopaný (s obsahem jílových částic) v poměru 1:1. Nízký podíl jílu zlepšuje plasticitu čerstvé směsi, křemenná zrna zvyšují pevnost, a to zvláště při dodržení plynulé granulometrie v daném rozmezí velikosti částic. Obvykle se používá kamenivo velikosti 0 až 4 mm pro jádrové malty, pro štuky do 1 mm. V Historických omítkách jsou nacházena často i zrna větších velikostí, mezi 10 až 15 mm, naopak v současných suchých matových směsích se používají i zrna do 0,6 mm. Při výrobě suchých prefabrikovaných směsí se používají křemenné písky, ale i drcený vápenec, zvláště v případě, je-li výrobní směs součástí vápenky.

Granulometrie kameniva má význam jak technologický, tak estetický. Z technologického hlediska je významný průběh granulometrické křivky, tzn. zastoupení jednotlivých frakcí písku. Je-li v omítce zastoupen písek s velikostí zrn v úzkém rozmezí a chybí-li jemné podíly, vytváří se mezerovitá struktura; tento případ však není příliš častý. Naopak příliš vysoká koncentrace velmi jemných podílů způsobuje, že není dostatek pojiva pro obalení těchto zrn, což se projevuje negativně na mechanických vlastnostech zatvrdlé omítky. Touto vlastností se vyznačují písky kopané s vysokým podílem jílových součástí. [2, 8]

Při opravě omítek historických staveb je nutno volit takovou skladbu kameniva, aby byl zachován původní vzhled omítky.

2.4.2 Plniva organická

Mezi plniva omítek lze zařadit také výztužný materiál ve formě přírodních rostlinných vláken, zvířecích chlupů, slámy, pazdeří, který zvláště v omítkách s obsahem jílu částečně eliminoval smrštění, a tedy i tvorbu trhlin. Dnes se vláknité

přírodní materiály v omítkách nahrazují především polypropylenovými (PP) vlákny, která se vyznačují stálostí v zásaditém prostředí čerstvých maltových směsí [2].

Největším přínosem použití vláknitých materiálů do vápenných malt je jejich příznivý vliv na zlepšení objemové stability při tuhnutí a tvrdnutí. U malt s přídavkem vláknitých materiálů bylo zjištěno smrštění menší než u vápenné malty neobsahující organická vlákna (smrštění více než 4 %). V případě použití vláken s jedním dominantním rozměrem (chlupy, PP vlákna) smrštění klesá s množstvím použitých vláken. U přídavků vláken s vyšší nasákavostí (piliny, plevy) naopak smrštění s rostoucí dávkou roste [16].

Při zkoumání mechanických vlastností malt s vlákny bylo zjištěno, že jsou závislé na druhu a množství použitých vláken. Účinek vláken se projevuje zejména u pevnosti v tahu za ohybu. Nelze však říci, že jakýkoli vláknitý materiál kladně ovlivňuje tahové vlastnosti malt. Objemová stabilita je však kladně ovlivněna vždy [2].

2.4.3 Barviva

Mezi plniva je možné zahrnout také barevné pigmenty, které probarvují omítku v celém jejím objemu. Vzhledem k tomu, že barevné přísady musí být velmi jemné, nelze je přidávat v neomezeném množství, neboť by se spotřebovalo velké množství pojiva na spojení všech částic a výsledná pevnost omítky by byla nižší. K probarvení omítky lze použít jen takové materiály, které jsou stálé v zásaditém prostředí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (tzn. $\text{pH} \sim 12,5$). Proto se do probarvovaných omítek používají oxidy kovů, zejména různé modifikace oxidů železa, nebo přírodní hlinky. Oba typy barvicích přísad pokrývají barevnou škálu od žlutých až okrových tónů, přes tlumeně červené až po tmavě hnědé odstíny.

K probarvení omítky lze použít také kamenné moučky, jejichž množství se určuje podle poměru mísení omítkové směsi a velikosti zrn kameniva, a mletý cihelný stěp. Cihelná moučka a některé druhy kamenných mouček podle jejich složení mohou reagovat s vápnem a vykazovat tzv. pucolánový charakter. K barvení omítek ve hmotě lze použít i některé pigmenty, ovšem musí být stálé v silně zásaditém prostředí [2,8].

2.5 Záměsová voda

Voda používaná jako záměsová pro maltové a omítkové směsi by měla splňovat určité parametry. K záměsi nelze použít vodu z jakéhokoli zdroje, zvláště pro malty s přísadou cementu, pucolánu nebo hydraulických složek. Nevhodná je

voda s nadměrným obsahem organických látek, jejichž přítomnost nepříznivě ovlivňuje hydratační reakce křemičitanů a hlinitanů, ve vyšších koncentracích mohou způsobit až úplně zastavení hydratačních reakcí. Jsou nevhodné vody z oblastí s humózními půdami, z nichž se vyluhují především tzv. huminové látky kyselého charakteru, které ovlivňují zejména hydraulické reakce. Tyto vody se vyznačují žlutým až hnědým zbarvením [2,8].

Pro přípravu maltových směsí je vhodná voda, která splňuje požadavky pro přípravu prostého betonu, uvedené v normě ČSN EN 1008. Bez provádění chemického rozboru lze použít vodu pitnou, která požadavkům zcela vyhovuje.

2.6 Organické přísady

2.6.1 Přírodní přísady

V minulosti se do vápenných malt přidávaly různé přísady, které ovlivňovaly vlastnosti čerstvých i ztvrdlých malt. Vycházelo se z empirických zkušeností stavebníků. Používaly se např. vaječné bílky, ovocné šťávy, cukr, sádlo, škrob, tvaroh, lepek, melasa, mléko, vaječný žloutek, kalafuna, živočišné tuky a rostlinné oleje, slad, pivo, moč, vosky, asfalt, kasein, kliš, želatina, žitné těsto, sýr a další. V dnešní době jsou přírodní organické přísady nahrazovány přísadami uměle připravovanými [17].

2.6.2 Přísady syntetické

V současnosti jsou užívány do malt syntetické organické přísady, zejména makromolekulární látky na bázi akrylátů, polyvinylacetátů a jejich kopolymerů. Tyto přísady zlepšují vlastnosti čerstvých i zatvrdlých malt např. zlepšují zpracovatelnost čerstvé malty, zvyšují přídržnost k podkladu, pevnosti, paropropustnost, retenci vody, nebo hydrofobitu. Tyto přísady jsou používány v suchých maltových směsích zejména étery celulózy, které retencí vody výrazně zlepšují zpracovatelnost a umožňují tak snadné strojní nanášení čerstvé malty. V omítkových směsích pro sanaci vlhkého zdiva se používají povrchově aktivní látky, vytvářející v omítkách systém pórů, které propouštějí vodní páru z vlhkého zdiva do okolního prostředí a umožňují ukládání solí z vodných roztoků, které jsou obsaženy v zavlhlem zasoleném zdivu [2]. Přehled přísad, používaných ve vápenných a modifikovaných vápenných maltách je uveden v tabulce 1.

Tab 1. Přehled typů přísad do omítek [6]

Typ přísad	Látka	Mechanismus účinku	Poznámka
Provzdušňující	Syntetická a přírodní pěnidla, např. tenzidy, krev	Tvoří malé, stabilní vzduchové póry změnou povrchového napětí záměsové vody. PP zvyšují schopnost difuze vodní páry, snižují objemovou hmotnost, zlepšují zpracovatelnost.	Pro vysokou účinnost jsou přidávána velmi malá množství.
Přísada k zadržení vody	Na bázi celulózy, např. karboxymethylcelulóza	Ukládáním molekul vody a bobtnáním těchto látek se zpomaluje výdej vody čerstvé mlaty především ve styku s podkladem. Tím se zvýší zpracovatelnost za nepříznivých podmínek a/nebo u silně nasákavého podkladu.	Předávkování vede ke zhoršení zpracovatelnosti (lepivosti) a ke zpoždění tuhnutí.
Přísada ke zlepšení rozměrové a tvarové stálosti	Na bázi škrobu, např. koncentrované étery, étery škrobů, minerální přísady - bentonit	Zamezuje sesunu malty díky fyzikální vazbě se záměsovou vodou. Bez podstatného vlivu na zadržování vody.	
Přísada ke zlepšení adheze	Na bázi redispergovatelných prášků organických polymerů (např. polyvinylalkohol, polyvinylacetát), tvaroh (kasein), krev	Zlepšení přilnavosti omítky k podkladu	Ovlivňuje zadržování vody
Hydrofobní přísady	Živočišné a rostlinné tuky, oleje, mýdla (např. stearan vápenatý, lněný olej, olivový olej, prášková silikonová pryskyřice)	Zvyšují povrchové napětí v kapilárách, čímž snižují nasákavost. Součinitel difuze vodní páry zůstává při správném dávkování nezměněn.	
Zpomalovač	Ovocné kyseliny, např. kyselina vinná, citronová, cukr, sádrovec	Prodloužení doby zpracovatelnosti malty zpomalením reakce pojiva	Nutnost přesného dávkování, jinak může dojít k účinku zesílenému nebo zcela opačnému.

2.7 Omítky vápenné nastavované

Základní složení malt na omítání zdíva se v průběhu staletí příliš neměnilo, používalo se vápno hašené mokřím způsobem odležené v jámě, místní písek a voda. K modifikaci vápenného pojiva se v různých obdobích používaly různé příměsi, které měly pucolánové nebo hydraulické vlastnosti. V minulém století se začalo takovým maltám říkat "nastavované". Jak již bylo výše popsáno, příměsi se používaly z důvodu zlepšení vlastností malt pro zdění a omítání, někdy k tomu vedly také ekonomické důvody, protože se zpracovával nepotřebný odpad např. ze skláren, v případě cihelného střepu to byl odpad při výrobě cihel a střešní krytina, nebo z demolic. V dávné minulosti (starověký Řím a Řecko) se používaly k nastavení malty přírodní pucolány (vyvěřeliny z Vesuvu, pucolány z ostrova Santorini apod.). Důvodem upravovat vlastnosti vápenné omítky byly změny v technice vytváření povrchů, které vždy souvisely se změnami v názorech na architektonické dotváření staveb. Výhodnější pojivo než vápno pro malty a omítky nebylo, kombinace různých pojiv a užívání různých přísad (většinou přírodního původu) se traduje odedávna jako cesta k modifikaci vlastností malty žadaným směrem. Vedle pozitivních výsledků se však objevovaly i nečekané problémy [1, 2, 8].

2.7.1 Omítky hlinitovápenné

Za nejstarší nastavované malty lze považovat malty hlinitovápenné, v nichž hlína tvořila 1/4 - 1/2 pojiva. Bylo to způsobeno buď nedokonalostí technologie pálení vápna, nebo byl již znám pozitivní účinek hlíny na pevnost omítek. V dlouhodobém procesu tvorby pevné struktury dochází k chemické reakci $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s jílovými materiály za vzniku mimořádně pevných a stabilních křemičitanů vápenatých [1].

2.7.2 Omítky sádrovápenné

Spolehlivě doložené je nastavování vápna sádrou, tyto omítky se používaly v Egyptě již kolem r. 1200 př. n. l. O užití sádry v českých zemích neexistují doklady až do doby barokní, kdy se především v interiéru používala jemná vápenná malta přísadou sádry. Z chemického rozboru byl zjištěn poměr složek vápenná kaše : jemný písek : bezvodá sádra = 4:1:1,6. V 19. století, zvláště v klasicismu, se povrchy reprezentačních prostor omítaly téměř výhradně sádrovápennými omítkami. Hrubá omítka se připravovala z písku, vápna a sádry v přibližném poměru 1 m³ písku, 180 - 210 kg vápna a 50 kg sádry. Malta se míchala těsně před omítáním, vápenopísková směs se zalila vodou s rozpuštěným kostním křemíkem zpomalujícím tuhnutí a za stálého míchání se přisypávala sádra. Jemná štuková malta byla směsí

dokonale vyhašeného a uleželého vzdušného vápna, mramorové moučky a pomalutuhnoucí sádry. Směs se postupně míchala ze složek přidávaných v uvedeném pořadí, nejdříve vápno a mramorová moučka v poměru 1:1,5 - 2,5, pak se k 1 dílu této směsi přidala 1/2 dílu sádry [1].

2.7.3 Omítky vápenné s mramorovou moučkou

Důležitou roli ve vápenných omítkách hraje přídavek vápence, obvykle ve formě mramorové moučky. Dochází ke zvyšování pevností malt, pravděpodobně v důsledku zdroje krystalizačních center pro krystalizaci kalcitu, vznikajícího při karbonataci vápna [18]. Podobně bylo zjištěno, že stejný vliv má také vápencové kamenivo [19]. Omítky s mramorovou moučkou jsou známé již z antiky, ve větší míře se ale uplatnily až v renesanci. Interiérová omítka byla dvouvrstvá, první vrstva byla směsí vápenné kaše, jemného písku a drceného mramoru, vrchní vrstva z vápenného mléka a alabastrové nebo mramorové moučky byla aplikovaná nátěrem (stucco-lustro). Poměry mísení složek byly různé, obsah písku většinou nepřesáhl množství vápna, poměr písek : mramorové drti se pohyboval v rozmezí 1:1 – 2 [1].

2.7.4 Omítky vápenocementové

Vápenocementové omítky obsahují kromě vzdušného vápna také portlandský nebo směsný, obvykle portlandský struskový, cement. Množství cementu se odvíjí podle účelu použití malty. Poměr vápna k cementu se pohybuje od 4:1 až k 1,5:1.

Přítomnost cementu zaručuje u tohoto typu omítky rychlý vývin pevnosti, proto je omítka již od začátku pevná v celé své hmotě. Do asi 1 měsíce jsou cementová zrna hydratována a je vytvořena souvislá síť hydratačních produktů ve hmotě omítky. Póry ve vápenocementové omítce mají menší průměr, což vede k většímu odporu proti pronikání vodní páry a možnosti výraznějšího zavlhání vztlínající vodou z podzákladí. Přídavek velmi malého množství cementu ("jedna fanka cementu na míchačku") do vápenné malty je spíše na závalu, protože při úpravě povrchu se cement "vytáhne" na povrch a vytvoří se nepropustná kůra, která brání průniku CO₂ do omítky (karbonataci omítky) a odpařování záměsové vody. Kromě toho se ve hmotě omítky nevytvoří souvislá síť hydratačních produktů cementu, jak je u vápenocementových malt očekáváno [20].

Dokladem výše popsaného je např. obnova fasády kostela v Lukovanech na obr. 4. Cement na povrchu vytvořil nepropustnou kůru, omítka pod ní zůstala vlhká a nekarbonatovala. Ke karbonataci omítky došlo pouze v okolí trhlin, jak je vidět na

obr. 5. Obr. 5 také ukazuje provedený důkaz přítomnosti nezkabornatovaného $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pomocí fenolftaleinu. Provedenou omítku bylo nutno odstranit a provést znovu.

Vápenocementové omítky působí na historických stavbách poněkud nepřirozeně a tvrdě, proto je oprávněným požadavkem, aby se při opravách historických budov nepoužívaly, s výjimkou památek z 20. stol., kde byly portlandský či směsný cement použity do omítek, umělého kamene, pemrlovaného betonu apod. již při výstavbě [2].



Obr. 4 - Kostel v Lukovanech – obnova fasády za použití omítky s malým množstvím cementu (foto P. Rovnaníková)



Obr. 5 - Kostel v Lukovanech – důkaz nezkabornatovaného vápna pod cementovou krustou pomocí fenolftaleinu (foto P. Rovnaníková)

3 Historický vývoj omítkářství na území Čecha Moravy

Omítky jsou prastarým prvkem stavitelství, a to již z doby, kdy stavitelství splňovalo svoji prvotní funkci ochrany před vlivy povětrnosti. Jako první pojivo v povrchových úpravách zdiva byly použity hlíny, které po smísení s vodou vytvořily dobře roztíratelný materiál. Pomineme-li hliněné omítky, bylo pojivem v nejstarších známých omítkách vápno [1, 2].

Doklady o použití vápna na nátěry stěn hliněných staveb na území Čecha Moravy jsou z doby kamenné. Byly také nalezeny zbytky pecí na pálení vápna v některých archeologických lokalitách. Vápno bylo používáno v maltách při stavbě církevních staveb již v 9. století. Také ve světských stavbách byla používána malta, spojující obvykle kamenné zdící prvky, která měla jako pojivo vápno. V historických záznamech z roku 999 je uvedeno, že první vápenku na našem území vlastnil klášter v Břevnově [1, 2, 28].

V Čechách, stejně jako jinde v Evropě, se omítky uplatňovaly již na nejstarších stavbách se záměrem kultivovat povrch méně hodnotného stavebního materiálu. Souběžně se ovšem po celý středověk a ještě výjimečně i později stavělo bez omítek, s povrchy zušlechťenými opracováním líce kamene nebo z cihel. Omítky vznikaly po celý středověk v podstatě na jednotném technologickém i výtvarném principu. Povrchy stěn pokrývaly v jediné vrstvě, jejíž povrch měl drsnou strukturu. Vyhlazovány byly pouze vzácně, když na nich byla prováděna malba nebo v náročnějších interiérech i bez malby. Vzácněji se doplňovala druhá vrstva, jako nositel výhradně dekorativního záměru [1].

V období renesance se ve střední Evropě přežívající středověká tradice mísila s větví italskou, která vycházela z antického dědictví, jež ovšem inovovala a přinášela zásadní obrat. Objevovaly se vícevrstvé omítky a nové postupy - zejména sgrafito, tažené profily a štukatury. Umění omítek nabylo nového významu, který zcela proměnil vzhled českých měst i monumentální architektury. Mnohotvárná škála výtvarných forem renesančních povrchových úprav se posléze zjednodušila a vyústila v plastické struktury štukatur baroka, kterými umění omítek vyvrcholilo. Vznikla zde tradice, na kterou po poklesu v klasicismu navázaly úspěšné historizující slohy a secese. Vývoj pak pokračoval ještě v období moderny a byl ukončen funkcionalismem (20. - 30. léta 20. století) [1].

3.1 Některé historické postupy přípravy vápenných malt

Po generace předávané a rozvíjené dovednosti spojené s přípravou vápenných malt se zhruba před 100 lety začaly vytrácet a vzácné písemné doklady o nich jsou poměrně kusé a stručné. Naštěstí se v některých zemích tradiční postupy stále ještě používají (např. na venkově), jinde se opět stávají populárními a vedle památkové péče se masivněji uplatňují i v alternativní výstavbě. Příkladem může být Velká Británie nebo poněkud překvapivě USA. Značná část uvedených postupů je čerpána právě z britské současné i historické odborné literatury, věnované použití vápna ve stavebnictví [7].

Také v naší omítkářské literatuře lze najít doklady o tradičních postupech přípravy vápenných malt [21]. Avšak některé zásadní kroky, jako míchání nebo odležení malty, jsou zejména v literatuře 20. stol. opomíjeny nebo zpochybňovány.

Tab 2. Přibližná spotřeba vápna na 1 m³ malty [8]

Poměr míšení	1:3	1:4	1:5	1:6
přibližné množství kusového vápna* [kg]	205	165	140	120
přibližné množství vápenné kaše hustoty 12 [l]	400	330	270	235
Přibližný poměr vápenné kaše k písku [m ³]	1,195	1,305	1,350	1,375

3.1.1 Příprava malty z vápenné kaše podle historických pramenů

Tradičním, ale rozhodně ne jediným postupem přípravy vápenné malty v minulosti byla příprava malty z vápenné kaše a písku. Lze předpokládat, že tato malta se používala především na jemnější práce, jako jsou např. omítky, štuky, římsy a další architektonické prvky. Pojivem bylo vzdušné vápno v podobě v odležené vápenné kaše. Kamenivem byl písek nebo štěrkopísek vhodné skladby a složení. Často lze v kamenivu najít i další příměsi.

Vápenná kaše pro přípravu malty měla mít takovou konzistenci, aby po vyklopení z nádoby pojivo v zásadě drželo tvar a deformovalo se jen minimálně. Při smíchání vápna a písku se směs promíchala na stejnorodou, tuhou maltu. Přitom se nepřidávala další voda. Celkové množství vody bylo v průběhu celé přípravy malty omezováno tak, aby bylo minimální [7].

Po smíchání pojiva a kameniva bylo doporučeno uložit tuhou čerstvou maltu k odležení do maltnice nebo na zajištěnou hromadu. Pro uložení bylo třeba maltu

dobře zhutnit, aby došlo k co nejtěsnějšímu kontaktu pojiva a kameniva. Důležité bylo také ochránit maltu před vysycháním, a tím i před karbonatací, a také před promrznutím. Proto byly hromady nebo maltnice převrstveny např. vrstvou jílového písku, drny nebo jiným málo propustným materiálem. Odležení takto zajištěné malty probíhalo po libovolně dlouhou dobu. Při správném odležení malta získávala příznivé zpracovatelské vlastnosti [21].

3.1.2 Příprava malty ze suchého hydrátu podle historických pramenů

Také suchý vápenný hydrát se v minulosti běžně používal pro přípravu malt. Již v 16. století byly popisovány postupy suchého hašení vápna i to, že takto připravené pojivo bylo používáno jak na zdění, tak na vnější omítky. Pojivem takových malt bylo vápno v podobě suchého vápenného hydrátu. Kamenivem byl písek nebo štěrkopísek vhodné skladby a složení. Často lze v maltách najít i další příměsi.

Při přípravě malty ze suchého vápenného hydrátu bylo suché práškové vápno provrstveno se suchým pískem. Pojivo a kamenivo se přehazováním promíchávalo na stejnorodou směs a ta se postupně kropila vodou tak, aby vznikla tuhá stejnoměrně probarvená malta. Celkové množství záměsové vody mělo být v průběhu celé přípravy malty minimální. Další postup, tedy uložení malty k odležení a pečlivé míchání po uložení, byl stejný jako v případě malty z vápenné kaše [7].

3.1.3 Příprava malty z nehašeného vápna podle historických pramenů

Tradičním postupem byla také příprava vápenné malty přímo z nehašeného vápna, tzv. metoda horkého vápna nebo také horká malta [22].

Autoři studovali vliv odležení na maltu připravenou tradičním způsobem hašením vápna smíšeného s pískem, směs byla postupně kropena vodou a udržována vlhká do doby zpracování. Vápno se po kontaktu s vodou začalo ve směsi s pískem hasit. Průběh společného hašení s pískem a výsledná konzistence malty závisely na množství vody, které se do malty přidávalo. Celkové množství vody přidávané do malty bylo vhodné minimalizovat tak, aby mohlo dojít ke kompletnímu vyhašení vápna v maltě, ale zároveň aby vznikla tuhá kvalitní malta [7]. V lit. [22] autoři zvolili dobu odležení 7, 45 a 90 dnů a porovnávali vápno kusové a vápno mleté. Zatímco u mletého vápna doba odležení malty neměla na mechanické vlastnosti vliv, u kusového vápna se zvýšila pevnost v tahu i za ohybu o 30 % (rozdíl

pevností po odležení malty 7 a 90 dnů), pevnost v tlaku se téměř zdvojnásobila. Ukázalo se, že odležení malty má výrazný vliv na vývoj pevností. Příprava malty z nehašeného vápna je zobrazena na obrázku 6.



Obr. 6 - Příprava malty z nehašeného vápna [22]

Horké malty se používaly také okamžitě po přípravě, u nich pak docházelo k hašení vápna až ve zdivu. Lze předpokládat, že vápenné malty dochované na některých historických objektech byly připravovány popsaným způsobem. Jak uvádí D. Michoinová [7] určitou variantou právě popsaných postupů byla připravena také omítková malta, která se po dobu téměř 500 let dochovala na fasádách hradu Pernštejn, obr. 7. Určitým indikátorem k tomuto tvrzení je přítomnost četných, poměrně velkých nepravidelných kousků nerozmíchaného, ale vyhašeného vápna. Kdyby byla malta připravena z vápenné kaše, počet vápenných vměstků by byl pravděpodobně podstatně nižší, stejně jako jejich velikost by byla podstatně menší.



Obr. 7 - Omítka na hradě Pernštejn (foto M. Číhalík)

3.2 Historie výroby vápna

Vápno jako pojivo je známé již více než 9000 let. Bylo nalezeno v pojivu staveb na území dnešní Sýrie, které jsou datované 7000 let př. n. l. Vápno se prokazatelně používalo při stavbě pyramid a dalších staveb v Egyptě. O výrobě a používání vápna se píše v biblických knihách Mojžíšových, datovaných do 2. tisíciletí př. n. l. Odtud se používání vápna rozšířilo na další území, zejména do Mezopotámie, Řecka, Říma, Fénicie a Číny. Vápnem je pojeno zdivo Velké čínské zdi, Šalamounova chrámu v Jeruzalémě a řady dalších staveb [2].

Zpočátku bylo vápno používáno jako vzdušná maltovina. Již v 10. století př. n. l. zjistili Féničané, že když použijí do směsi s vápnem cihelnou moučku, dostanou zatvrdlé pojivo s jinými vlastnostmi, než pojivo připravené z vápna a běžného písku. Toto pojivo mělo hydraulické vlastnosti a vyšší pevnost. Proto mohli již v té době stavět vodní díla jako vodovody, přístavní hráze, lázně atd. Také Řekové mísili vápno s pískem z ostrova Santorini, protože věděli, že vzniká malta, která je po zatvrdnutí stálá i pod vodou [4].

Římané používali do směsi s vápnem sopečný popel z oblasti Pozzuoli, odkud pochází název "pucolány" pro materiály podobného složení. Římský stavitel Marcus Vitruvius Pollio ve svém díle Deset knih o architektuře (z r. 13 př. n. l.) [15] popisuje přípravu římského cementu a práci s ním. Také Gaius Plinius II. ve svém vědeckém díle "Naturalis historiae" (z r. 77 n. l.) uvádí, že jemně drcené střepy hliněných nádob s vápnem poskytují novou hmotu, z níž lze vytvářet i trvanlivé nádoby. Taková hmota se používala ke zhotovování dlažby.

V Evropě se těžil pucolán s názvem "tyrass" v Porýní, dnes se nazývá "trass". Je to vyvřelina tufového typu a má významné pucolánové vlastnosti. Ještě ve středověku se přistupovalo k výrobě vápna na základě empirických zkušeností, protože nebyly známy analytické postupy rozboru surovin a výrobků.

Na základě pozorování zjistil italský architekt Andrea Palladio, že vápno pálené z vápenců těžných kolem Padovy, má výjimečné vlastnosti. Vápenec obsahoval jíly, které způsobily, že vápno získalo hydraulické vlastnosti. V 18. století v Itálii rozlišovali malty "slabě vápenné", vyrobené ze vzdušného vápna a malty "silně vápenné" vyrobené z hydraulického vápna. Zjistili také, že použití popela vede ke zlepšení užitečných vlastností vápna, zejména k vyšším pevnostem a odolnosti proti působení vlhkosti. V roce 1796 se Jamesu Parkerovi v Kentu podařilo vypálit z tamního vápence vysoce hydraulické vápno, které si nechal patentovat jako "Románský

cement“, protože se pojivo podobalo pojivu vyráběnému v antickém Římě. Zpracování podobných vápenců se začalo hojně napodobovat, drtily se staré cihly, které se pak mísily s vápencem a pálily se za vzniku hydraulické maltoviny.

Vývoj výroby hydraulického vápna vyústil v nalezení způsobu výroby ještě pevnějšího pojiva, které bylo nazváno “Portlandským cementem“. British Patent BP 5022 na způsob jeho výroby byl udělen Josephu Aspdinovi, zedníkovi z Leedsu dne 21. 10. 1824 pod názvem „An Improvement in the Mode of Producing an Artificial Stone“ [4].

Z vysoce hydraulických vápen u nás proslulo kufsteinské vápno z Tyrol, které bylo použito na mnoha významných budovách zejména v Praze, např. Národní divadlo. Na území dnešní ČR jsou doklady o používání vápna již z doby kamenné, doložené archeologickými nálezy. Znalost výroby a používání vápna je bezpečně doložena od 10. stol., kdy se vápno používalo u sakrálních staveb a panských sídel. V r. 904 vybuodoval kníže Boleslav I. v Praze hrad z opuky po římském způsobu, tj. z kamene pojeného vápennou maltou. Rozmach vápenictví nastal v době vlády Karla IV. v souvislosti s jeho stavitelskými aktivitami, zejména stavbou Nového Města Pražského. V písemných pramenech z r. 1419 je zaznamenána existence 3 vápenek na území Prahy. Pálení vápna ale nebylo uznáno za řemeslo a vápeníci neměli cechovní organizaci, později byli organizováni jako obchodníci s vápnem.

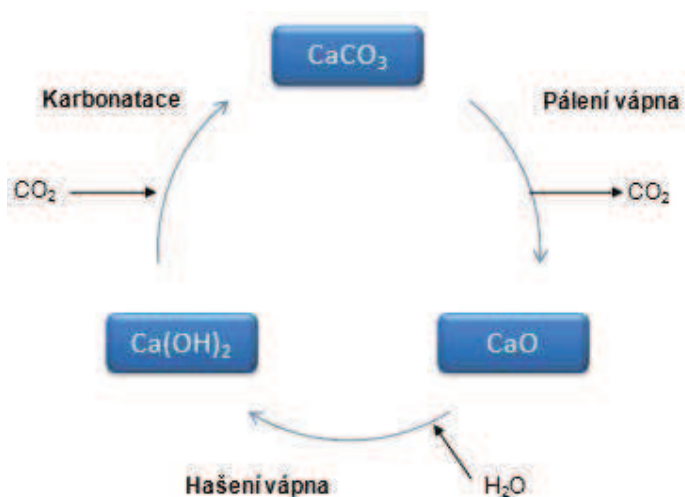
Kromě Prahy se vápno páliło i v jiných lokalitách, např. u Berouna, v Hlubočepích, Sušici, Železném Brodě, Štramberku, Přerově, Čebíně, Ochozi u Brna, Mokré, Šošůvce, Březině, Obřanech, u Holštejna i na jiných místech. Na území Brna byly při archeologickém průzkumu nalezeny zbytky vápenických pecí v okolí dnešního náměstí Svobody (obr. 8). [23, 4, 28]

Z vysoce hydraulických vápen, vyráběných na našem území bylo velmi uznáváno hydraulické Staropražské vápno z Braníka, vyráběné na přelomu 17. a 18. století, které se vyváželo do Itálie a dokonce i do Anglie na vodní stavby. Hydraulické vápno výborné jakosti, tzv. kurovina, se vyrábělo až do 80. let 20. století u Kurovic u Tlumačova [4].

V současné době vyrábí vápno Carmeuse Czech Republic s.r.o., Vápenka Vitošov s.r.o., HASIT Šumavské vápenice a omítkárny s.r.o., KOTOUČ ŠTRAMBERK s.r.o. a Vápenka Čertovy Schody a.s., člen skupiny LHOIST.



Obr. 8 - Nalezené vápenické pece v historickém centru Brna: 1 – Minoritský klášter, 2 – Josefská 8, 3 – Římské nám., 4 – Velký Špalíček, 5 – Dominikánské nám., 6 – kostel sv. Jakuba, 7 – Česká-Veselá ul., 8 – Solniční ul., 9 – Česká 28 (Joštova 5), 10 – Moravské nám., 11 – Joštova ul.

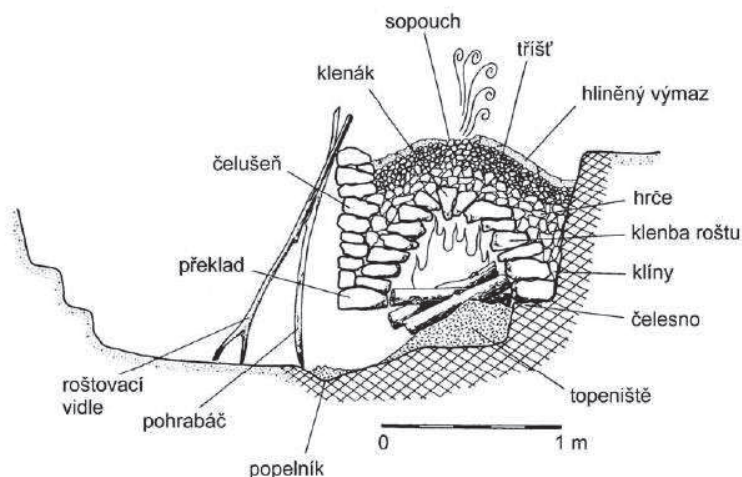


Obr. 9 - Vápenný cyklus

3.2.1 Zařízení na výrobu vápna

Zařízení na výrobu vápna odpovídala dobovým technickým možnostem, postupně se vyvíjela a zdokonalovala až k plně automatizovaným provozům v dnešní době. Nejstarším způsobem výroby vápna bylo pálení vápence v otevřených zemních

pecích, stavěných ve svahu [24]. Ve spodní části bylo topeniště, nad ním v rozšířené části pece se kladly kusy vápence a vrch byl zasypán drobným vápencem, jak je vidět na obr. 10.



Obr. 10 - Řez vápenickou pecí v Mokré u Brna, Spálené Seči

Pozdější pece měly tvar komolého kužele postaveného na menší základnu – nálevkovité pece. U základny byly 2 odtahy, jedním z nich se vnášel do pece oheň, který zapálil na dně pece otýpku roští nebo slámy. Štípaný vápenec se postupně ukládal spolu s palivem a nahoru se vrstvily žulové kameny. Vrstvení se provádělo tak, aby vzduch a plyny mohly proudit mezi kusy vápence a palivem a mohly být odváděny mimo pálící prostor. Po vypálení, které trvalo 4 až 5 dní, se vápno po vychladnutí vybralo z pece. Potom se vyskládal nový vápenec s palivem a pec se opět zapálila. Přerušovaný způsob výroby byl energeticky velmi náročný, protože velké množství energie se spotřebovalo na opětovné zahřátí pece. Repliky starých pecí byly postaveny v Litomyšli, Příboře a Banské Štiavnici, obr. 11 [4].



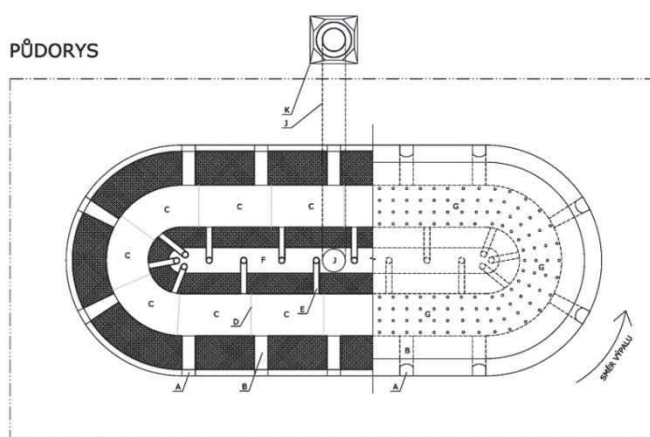
Obr. 11 - Replika vápenické pece v Banské Štiavnici (foto P. Rovnaníková)

V r. 1858 si nechal berlínský stavitel Friedrich Hoffmann patentovat kruhovou pec, která byla vhodná pro výpal vápna i cihel. Technologie kruhového výpalu znamenala velký převrat ve vápenickém a cihlářském průmyslu. Původně měla kruhová pec skutečně kruhový půdorys, přidáním dalších komor získala oválný tvar. U nás byla první kruhová pec postavena v r. 1868 v Přerově. Poslední stavby kruhových vápenných pecí byly realizovány v r. 1929 (Komňátka, Žichovice) [25]. Příklad schématu kruhové pece je na obr. 12.

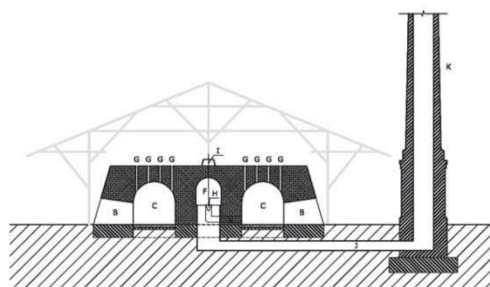
Zlom v technologii výroby vápna přinesl až vynález šachtových pecí (tzv. hicovky) v polovině 19. století (obr. 13). Palivo se buď vrstvalo mezi vápenec, nebo se spalovalo samostatně a do šachty, kde byl pouze vápenec, se vedly kouřové plyny. Šachtové pece měly přes určité nedostatky, především v kvalitě vápna, řadu předností: především se snížil počet pracovníků a bylo možné lépe využít surovinu. Zatímco v kruhové peci se páliły kusy vápence o velikosti 20 až 50 cm, v šachtové peci bylo možné páliť kousky suroviny o velikosti 6 až 8 cm. V šachtových pecích se vápno páli nepřetržitě. V polovině 60. let 20. století byly zavedeny nové pecní systémy velkokapacitních šachtových pecí (obr. 14) [26].

SCHÉMA KRUHOVÉ PECE

0 1 2 3 4 5 10 M 2010 (c) fabriky.cz



ŘEZ

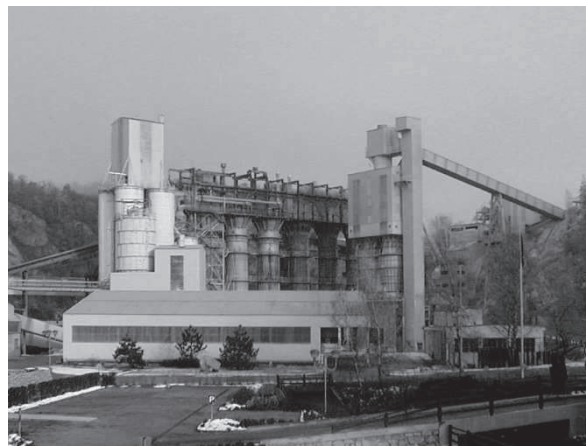


A) VSTUP DO KOMORY; B) MANIPULAČNÍ OTVOR; C) VYPALOVACÍ KOMORA; D) MÍSTO PRO ZÁSUVKOVÝ PAPIR; E) KOUŘOVÝ ODTAH; F) KOUŘOVÝ KANÁL; G) STĚNY (VHOZY PALIVA); H) ZVONOVÁ UZÁVĚRKA (ZVON); I) UZÁVĚR KOUŘOVÉHO ODTAHU; J) KOUŘOVOD; K) KAMÍN

Obr. 12 - Schéma 14komorové kruhové pece [31]

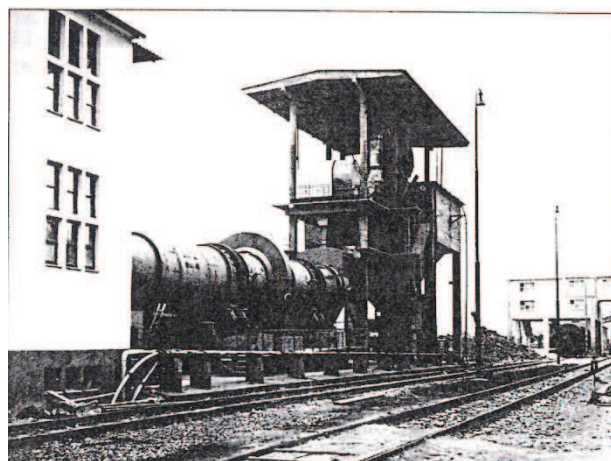


Obr. 13 - Šachtová pec, Bystré u Poličky [32]



Obr. 14 - Příklad moderní šachtové vápenické pece [33]

Od 60. let se ve světě a později i u nás začalo vápno vyrábět v rotačních pecích, které umožňovaly dosáhnout vysoké produktivity. Ve 2. polovině 20. století v souvislosti s rozvojem elektroniky, začaly být provozy plně automatizovány s minimální potřebou lidské práce. První rotační pec na území Čech byla instalována ve vápence v Čebíně (obr. 15).



Obr. 15 - Rotační pec s výměníkem Rosa-Petr, Čebín [25]

4 Obnova a rekonstrukce fasád historických objektů

Omítka, která plní funkci ochrannou a estetickou, degraduje obvykle jako první z celého objektu. Je to dáno tím, že je po celou dobu užívání objektu vystavena povětrnostním vlivům, tj. dešti, sněhu, abrazi metených prachových částic, mrazu a agresivním látkám v atmosféře. Omítka ztrácí soudržnost, mění se odstín pigmentu, vznikají trhliny, snižuje se adheze k líci zdiva. Nakonec dojde k úplné destrukci a opadání omítky.

Degradace omítky je dána řadou faktorů, zejména složením a způsobem zpracování a nanášení maltové směsi pro omítání, dále orientací ke světovým stranám, členitostí fasády, a také úroveň údržby a drobných oprav.

4.1 Kvalita omítek

Pevnost, tvrdost a difuzní charakteristiky omítky vychází z druhu a vlastností použitých surovin, poměru mísení složek a podmínek, za kterých malta tvrdla. Jsou známé omítky, které i po staletích vykazují lepší vlastnosti než kámen použitý na téže stavbě, např. některé římské stavby nebo souvislá vrstva předrománské vápenné omítky v Mikulčicích [1].

Kvalita vápenných omítek závisí zejména na řadě faktorů, jako je kvalita použitých surovin, kvalita líce zdiva, na které je omítka nanášena, způsobu nanášení, teplotě okolí při tvrdnutí a ošetřování omítky v raném stádiu tvrdnutí.

Pro kvalitní vápenné malty se používá odležená vápenná suspenze (vápenná kaše), která byla při skladování chráněna proti zmrznutí. Vápno musí být objemově stálé, tj. dokonale zhydratované, aby nedocházelo k dodatečné hydrataci v maltě.

Podkladní zdivo by mělo být čisté, bez odlupujících se částí, zvlhčené před aplikací omítky, nikoliv však mokré vzlínající či jinou vlhkostí. Trvalá vlhkost zdiva způsobuje, dlouhodobé zavlhčení omítky, což se projeví pomalou tvorbou pevné struktury karbonatů. Zdivo nesmí být extrémně zasoleno, soli ze zdiva jsou transportovány do omítky, kterou poškozují tvorbou krystalů solí.

Pro dobrou adhezi omítky k podkladu je důležité, aby materiál zdiva byl nasákavý, počáteční zatuhnutí je vlastně částečné odsátí záměsové vody zdícím materiálem. Nanášení omítek na nenasákavé zdivo způsobí, že póry v omítce jsou delší dobu zaplněny kapalnou vodou. Zavlhčení omítky může mít dlouhodobý

charakter, jedná-li se o vlhké zdivo, orientaci na severní nebo západní světovou stranu a/nebo chladné roční období. Pomalá karbonatace má vliv na vývoj pevnosti

Při tvrdnutí vápenných malt hraje důležitou roli také teplota okolí. Ideální teplotní podmínky jsou v rozmezí 10 až 25 °C. Vyšší teploty způsobují rychlé odpařování záměsové vody, který má za následek smrštění omítky a vznik trhlin, nízké teploty zpomalují karbonataci a výrazně snižují výsledné pevnosti malt.

V průběhu počátečního období po nanesení je vhodné omítky lekce vlhčit a vytvářet tak při zastínění lešení optimální mikroklima, protože rychlost karbonatace je závislá na RH okolního vzduchu, nejrychleji probíhá při hodnotách 60 až 90 % [2].

4.2 Trvanlivost omítek

Pevnost a trvanlivost omítek jsou ve vzájemném přímém vztahu. Hutná malta připravená z kvalitního pojiva a písku bez příměsí dále zvětrávajících živců a slíd má po vytvrnutí lepší trvanlivost. Omítka z říčního písku je trvanlivější než zkopaného písku. Nízká pórovitost a s ní související nízká nasákavost je podmínkou pro plnění hlavní funkce omítky, tj. uzavírat objekt proti průniku dešťové vody a udržovat tepelnou rovnováhu vnitřního prostředí v budově. S rostoucím obsahem vody v pórech se příkře zvyšuje tepelná vodivost zdiva a zhoršují se mechanické vlastnosti i přímým rozpouštěním pojiva podle rovnice (7).



Rozpustnost CaCO_3 je 1,4 mg ve 100 g vody při 25°C, zvyšuje se ve vodě s rozpuštěným CO_2 , kdy vzniká hydrogenuhličitan vápenatý. K rozkladu uhličitanu vápenatého dochází také při reakci s oxidem siřičitým za přítomnosti vlhkosti, kdy se rozkládá uhličitan vápenatý za vzniku siřičitanu vápenatého, který se oxiduje na síran vápenatý, s oxidy dusíku, které tvoří s vodou kyselinu dusitou a dusičnou a s CaCO_3 reagují za vzniku rozpustného dusičnanu vápenatého.

Trvanlivost omítek souvisí také s jejich pórovou strukturou, která umožňuje transport vodní páry do okolní atmosféry. Uzavření povrchu a paronepropustnost může být příčinou poškození omítky. Podstatou porušování omítek jsou cyklické objemové změny ve struktuře maltové vrstvy a na rozhraní omítky a podkladového zdiva. Změny teploty v denních a ročních cyklech, kolísání obsahu vody ve struktuře, vymývání pojiva, nové uspořádání mikrostruktury vlivem reakcí původních mineralogických sloučenin s kyslíkem a vodou a krystalizace výkvětovných solí uvnitř omítky jsou hlavní příčiny rozrušování [1].

4.3 Obnova omítek

Obnova je obecný pojem, který zahrnuje konzervaci, restaurování, event. i rekonstrukci památky, potažmo fasádních omítek. Základním dokumentem pro obnovu omítek historických staveb je Benátská charta (1964), která požaduje zachování autentických konstrukcí a materiálů památky a prostředí, ve kterém se nachází, v co největší míře. Podle Benátské charty (1964), konzervace a restaurování představují disciplínu, jež se obrací ke všem vědám a technikám, které mohou přispět ke studiu a k záchraně památkového dědictví. Jestliže se tradiční techniky ukázaly nepostačujícími, je možno zabezpečení památky provést všemi moderními technikami konzervace a konstrukce, jejichž účinnost byla prokázána údaji vědeckými a zaručena zkušeností. Dále je v bodě 11 tohoto dokumentu uvedeno, že hodnotné přínosy všech dob, které přispěly k vybudování památky, mají být respektovány; dosažení jednoty stylu během restaurování nemá být cílem. Jestliže budova vykazuje více slohů na sobě navrstvených, pak obnažení stavu skrytého uvnitř je možno odůvodnit jen výjimečně a za podmínek, že odstraňované prvky představují jen malý zájem a že kompozice nově odkrytá je svědectvím vysoké hodnoty historické, archeologické nebo estetické, a že stav konzervace bude možno považovat za postačující. Úsudek o hodnotě dotyčných prvků a rozhodnutí o eliminacích, jež by bylo nutné provést, nemohou být závislé jen na samém autorovi [27].

Uvedené zásady ochrany stavebních památek jsou v legislativě ČR zakotveny zákonem o památkové péči (č. 20/1987 Sb.) [29], v němž jsou uvedeny povinnosti majitelů nemovitých památek i příslušných státních orgánů a postup při obnově stavebních památek.

4.3.1 Konzervace

Konzervace v oblasti povrchových úprav představuje zachování všech omítkových vrstev. Z technologického hlediska to znamená uplatnění technik zpevňování, snížení porozity a hydrofobizaci povrchu omítky. V moderní památkové péči by měl mít přednost vždy ten návrh, který respektuje co nejúplněji zachování povrchové úpravy stavby s přihlédnutím k celému historickému vývoji.

4.3.2 Obnova omítek

Před obnovou omítek je nezbytné provést historický průzkum omítkových vrstev prováděný pracovníky památkové péče, který je pak návodem, na co se má

soustředit technický průzkum stavu objektu (metody průzkumu a jejich výsledky viz tab. 3, 4).

Chemickou analýzou historických omítek a malt lze zjistit jejich chemické složení, RTG difrakcí se získá mineralogické složení, další informace o složení omítek dává termická analýza. Tyto informace však nedávají možnost zcela přesně určit, z jakého druhu vápna byla malta vyrobena, zda se jednalo o vápno přirozeně hydraulické, nebo příslušné fáze vznikly až pucolánovou nebo hydraulickou reakcí silikátových nebo aluminosilikátových příměsí s Ca(OH)_2 . Z analýz je možno zjistit, zda hydratované křemičitany a hlinitany vápenaté jsou nebo nejsou v omítce přítomny, ale nikoliv jejich původ [4].

Tab 3. Metody rozboru historických a novodobých ztvrdlých malt [6]

	Metody	Vyhodnocení
Kvalitativní složení	Mikroskopie v procházejícím světle na výbrus, mikroskopie v odraženém světle na nábrus, mikrochemické metody	Popis struktury (pevná l. - póry, mineralogické určení, pojivová matrice, druh plniva, skupina pojiv)
	RTG difrakční analýza, XRD, DTA/TG	Krystalické fáze minerálů, celkové složení, event. oddělená analýza pojiva a plniv, možnost semikvantitativního vyhodnocení
	IR spektroskopie FT-IR	Anorganické částice pojiva, organické přísady
Kvantitativní složení	Rozpuštění pojiva rozkladem v kyselinách, příp. v kombinaci s alkalickým rozkladem	Poměr pojivo/plnivo. Za předpokladu absence v kyselině rozpustných plniv, podíl v kyselině rozpustného SiO_2 je mírou pro určení hydraulického podílu
	Roztok po kyselém rozkladu: chemická analýza	Kvantitativní složení pojiva, obsah sádry, vápna a dolomitu, hydraulické podíly
	Ner rozpustný zbytek po rozkladu kyselinou - granulometrická analýza	Křivka zrnitosti, druhy plniva jednotlivých frakcí
	Scheiblerova analýza	Obsah uhličitanů

Tab 4. Rozbor suché maltové směsi [6]

	Metoda	Vyhodnocení
Pojivo	Mikroskop	Kvalitativní složení
	Mikrochemické metody	Kvalitativní složení
	XRD	Kvalitativní složení až semikvantitativní složení krystalické fáze
	FT-IR	Organické přísady
	RTG fluorescenční analýza: Ca, Si, Al, Fe, Na, K atd.	Komplexní analýza, přesná analýza pojiva
	Mokrý chemické postupy	Komplexní analýza, přesná analýza pojiva
Plnivo	Prosévání	Křivka zrnitosti
	Mikroskopie	Určení druhu plniva
	Mikrochemické metody	Určení druhu plniva

Odstranění omítkových vrstev otlučením až na konstrukci nenávratně znemožňuje další studium materiálů a technik historických omítek. Na druhé straně mnohdy právě požadavek na zachování původního stavu může ohrozit stavbu jako celek. Jako nejschůdnější kompromis památkového a technického hlediska se jeví doplňování starých zachovalých částí fasády novou omítkou co nejpodobnějších vlastností i vzhledu. Hlavním cílem průzkumu je tedy stanovit druh a složení omítky a určit způsob výroby [1].

Konečné vlastnosti omítky však neurčují jen použité suroviny, ale také způsobu technika zpracování, stupeň homogenizace a použité přísady, často organické, které je dnes obtížné určit, protože v průběhu času doznaly největších změn. Jako nejsprávnější postup se ukazuje částečně se opírat o výsledky chemických analýza snažit se dosáhnout vlastností, které má omítka v současné době [1].

Snaha vrátit objekt v plném rozsahu do původní podoby je spojena se závažným rozhodováním o typu omítky a jejím provedení. Z technologického hlediska je největším problémem materiálová různorodost zdiva daná dobovými přestavbami, které se navíc podílejí na různém stupni degradace konstrukčních hmot. Technologické zásady vytváření nových omítek na historických objektech lze shrnout do následujících bodů: [1]

- Výběr hmot a způsob vytváření omítky musí být vždy v souladu se stavebním slohem objektu.

- Pro vytvoření trvanlivé omítky je třeba věnovat velkou pozornost přípravě podkladu, zejména materiálové stejnorodosti a stejnoměrnému provlhčení. Největší pečlivost vyžaduje doplnění ploch odpadlé omítky.
- Složení malty musí vycházet ze současných vlastností omítky, a to i za cenu dílčích změn v receptuře.
- Způsob zpracování je volen tak, aby bylo docíleno co možná největší shody se vzhledem původní omítky. Současné suroviny a dokonalejší způsoby míchání to však ne vždy dovolují.
- Náhrada původních přísad, jejichž použití je dnes neekonomické a většinou také v rozporu se stavebními předpisy, současnými syntetickými přísadami je možná pouze po ověření jejich dlouhodobého účinku.
- Způsob ošetřování omítky nesmí vést ke vzniku mikrotrhlin, které jsou příčinou prvních poruch.
- Provedení finálních úprav je možné až po dostatečném vyžrání (karbonataci) omítkové malty.

4.3.3 Možnosti náhrady starých vápen nově vyráběnými

Je nutno mít na paměti, že dnes vyráběná vápna musí splňovat přísné technické požadavky. Vápna jsou vyráběna z vysokoprocentních vápenců, což se projevuje na čistotě vápna (u bílého vápna CL 90 dosahuje obsah CaO, resp. Ca(OH)₂ až 98%). Současná vápna jsou odlišná od vápen vyráběných v minulosti z téměř jakýchkoli vápenců při použití nedokonalých technologií, což mělo za následek např. obsah popeloviny ve vápně. Proto nelze striktně požadovat vápennou technologii založenou na bílém vápně při obnově památek, protože výsledné vlastnosti malty by neodpovídaly vlastnostem historické malty. Vždy je nutno zohlednit složení původního materiálu.

Vhodnou příměsí do malt mohou být pálené jíly, a to ve formě metakaolínu (vysoký obsah metakaolinitu Al₂O₃·SiO₂), který má bílou, světle nažloutlou nebo narůžovělou barvu, nebo ve formě mletého cihelného střepu, pokud není na závadu zbarvení omítky. Lze použít i některé druhy popelů ze spalování dřeva, slámy nebo výhonků vinné révy. Výhodné jsou takové materiály, které obsahují amorfni SiO₂ nebo reaktivní hlinitokřemičité sloučeniny, aby mohla proběhnout s vápnem pucolánová reakce [4].

4.3.4 Staveništní malty

Staveništní malty jsou připravované z výchozích surovin přímo na stavbě. Staveništní malta umožňuje vyrobit maltovou směs o složení, které se nejvíce blíží originální maltě na objektu. Je vhodné provést vzorové plochy, které ukážou, jaký je vzhled malty, zda opticky i technickými vlastnostmi je v kontextu s původní maltou. Staveništní malta umožňuje použití místních písků, které byly s velkou pravděpodobností použity i v původní maltě. Při obnově památek je na základě provedených analýz nutné volit správný druh pojiva, aby bylo dosaženo u nové zatvrdlé malty alespoň přibližných vlastností, jako mají malty původní. Je však nutno si uvědomit, že omítka žije svůj životní cyklus a během něj dochází k procesům, které poněkud mění charakter původní omítky, tj. dochází k rekrystalizaci pojiva nebo také k jeho degradaci. Znamená to, že nová malta nebude mít stejné vlastnosti jako malta původní ani v případě, že bude použita stejná surovina na výrobu vápna a bude vypálena stejným technologickým postupem ve stejné peci a za použití stejného paliva. Bude se lišit o výsledky fyzikálně chemických procesů, které proběhly během doby od její aplikace [4].

4.3.5 Suché maltové směsi

Až do 50. let 20. století byly používány výhradně staveništní malty. Západní Evropa (zejména Německo) a USA zaznamenaly v 50. a 60. letech rychle rostoucí nároky na rozvoj stavebního průmyslu, a to bylo důvodem ke zkrácení doby výstavby, snížení nákladů jak v materiálové oblasti, tak i v lidských zdrojích. Intenzivní rozvoj stavebnictví vedl k výrobě stavebních materiálů pro specifické použití, které by vedly ke zrychlení výstavby a zvýšení kvality hotového díla. To vše vedlo k tomu, že staveništní malty již nebyly schopny adekvátně splnit specifické požadavky výstavby a byly nahrazovány ekonomičtějšími a ekologičtějšími průmyslově připravovanými suchými omítkovými a maltovými směsmi.

Spolu s vývojem a dostupností nových chemických přísad byla v Německu zavedena technologie výroby suchých maltových a omítkových směsí (SOMS), která byla spojena s velkoobjemovou přepravou (zásobníková síla) a využíváním strojních zařízení pro nanášení omítek na zdivo. V současné době, s dalším rozvojem stavební chemie a dalších technologií, jsou vyvíjeny pokročilé SOMS, které jsou všestranné a cenově výhodně a svou kvalitou zvyšují trvanlivost staveb [30].

4.3.5.1 Výhody SOMS

Na rozdíl od staveništních malt jsou suché maltové směsi připravovány průmyslově ve specializovaných výrobnách, kde jsou v suchém stavu smíchány všechny potřebné komponenty, tj. pojiva, kamenivo a chemické přísady. Každá SOMS má přesně definované vlastnosti a složení, které jsou v souladu s účelem použití, pro něž je určena. Proto použití SOMS výrazně zvyšuje produktivitu výstavby a zaručuje vysokou úroveň bezpečnosti a spolehlivosti tím, že je zabráněno chybám v receptuře malty. SOMS zaručují konstantní složení malty a také to, že všechny použité suroviny mají konstantní vlastnosti a kvalitu. Z celkové produkce SOMS připadá přibližně 70 % na zdící malty, minerální omítkové směsi, postřiky, suchá pojiva a suché betonové směsi. Zbývajících 30 % produkce tvoří správkové malty, tepelně izolační omítky, podlahové směsi, lepidla na dlaždice a obkladačky, dekorativní minerální omítky a práškové barvy [30].

4.3.5.2 Technologie SOMS

Většina SOMS je dodávána v suchém stavu a plastický stav získává smísením s předepsaným množstvím vody, kdy vzniká kvalitní čerstvá malta. Jejich příprava a použití je velmi jednoduché, ale složení SOMS je výsledkem dlouhodobého vývoje a laboratorních testů, jež zaručují požadované vlastnosti malty.

4.3.5.2.1 Suroviny pro výrobu SOMS

- **Pojiva:** portlandský cement, hlinitanový cement, speciální cementy, vápenný hydrát, sádra, anhydrit, vysokopecní struska, popílek, mikrosilika, polymerní pojiva.
- **Plniva:** křemenné písky, vápencové drtě, dolomitické drtě, mramorová moučka, vylehčená plniva (perlit, polystyren, vermikulit, bentonit, keramzit, pemza), vlákna - celulózová, polypropylenová.
- **Přísady:** étery celulózy, pigmenty, přísady odpěňovací, provzdušňovací, zpomalující, urychlující, zahušťovací, hydrofobizující, plastifikační.
- **Pigmenty:** organické, anorganické.

V současnosti jsou přísady nedílnou součástí moderních SOMS a bez nich by nebylo možné dosáhnout všech požadovaných vlastností maltových směsí. Přísady jsou přidávány v množství 0,1 až 10 % hmotnosti pojiva. Přísady jsou organického nebo anorganického původu, velmi často mají polymerní strukturu, a jejich účelem je

zlepšení stávajících vlastností nebo docílení určitých speciálních vlastností čerstvé nebo zatvrdlé malty.

K nejčastěji používaným chemickým přísadám, které slouží ke zlepšení určitých fyzikálních vlastností čerstvé a zatvrdlé malty, patří [30]:

- Étery celulózy zvyšují retenci vody, zmenšují množství vody vsáknuté do zdiva, čímž urychlují hydrataci cementu, zvyšují přídržnost a redukuje vznik smršťovacích trhlin.
- Étery škrobu zlepšují zpracovatelnost čerstvé malty a odolnost proti odloučení vody pro snadnější nanášení čerstvé malty.
- Vápenný hydrát zlepšuje zpracovatelnost a upravuje dobu tuhnutí.
- Polymerní látky typu polyakrylátů a vinylacetátů zvyšují přídržnost malty na hladkém povrchu a zvyšují pružnost, čímž dochází ke snížení smykového napětí vyvolaného pohybem.
- Hydrofobizující přísady zvyšují odolnost proti nasákání kapalně vody.

Tab 5. Příklad složení vápenocementové omítky a lehčené cementové omítky (v hm.podílech) [30]

Surovina	Vápenocementová omítka	Lehčená cementová omítka
Portlandský cement CEM I 32,5R	8 - 12	18 - 25
Vápenný hydrát	6 - 8	0 - 5
Křemenný písek 0,2 - 0,8 mm	80 - 85	
Vápencový písek		60 - 75
Vápencový prach		5 - 7
Expandovaný polystyren		1 - 2
Étery škrobu		0,01 - 0,02
Hydrofobizující přísada	0,15 - 0,25	0,1 - 0,2
Provzdušňující přísada	0,015 - 0,03	0,03 - 0,05
Metylcelulóza (viskozita 15000 mPas)	0,08 - 0,12	0,1 - 0,12

4.3.5.3 Výroba SOMS

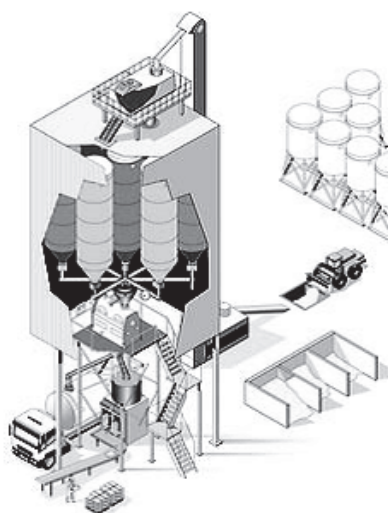
Moderní výroby SOMS [30] produkují 40 000 až 250 000 t ročně, většinou je výrobní linka orientována vertikálně a zásobní sila jsou umístěna nad míchačkami, proto zabírají relativně malou půdorysnou plochu. Suroviny jsou podrobeny důkladné vstupní kontrole, a poté distribuovány do jednotlivých zásobníků podle druhu

suroviny, plniva jsou rozdělována podle jednotlivých frakcí. Větší výroby mívají vlastní drtiče, pračky, sušárny a třídače písku. Vlhkost vstupních surovin při výrobě SMS nesmí překročit 0,3 % a teplota nesmí být vyšší než 60 °C.

Výrobní proces je v současnosti téměř plně automatizovaný, všechna zařízení jsou elektronicky monitorována a řízena. Dávkování a míchací cykly jsou nastaveny pro každý produkt zvlášť, aby byla zaručena správná homogenizace suché směsi. Suroviny jsou transportovány (gravitačně nebo pomocí vhodného dopravního zařízení - pneumatická doprava, šnekové dopravníky apod.) do násypek opatřených velmi přesnými (většinou tenzometrickými) váhami. Automatický dávkovací systém se obvykle vyznačuje vysokou přesností (např. 30 kg \pm 3 g, tj. 0,01 %), která je vyžadována zejména při dávkování přísad.

Po naplnění míchačky surovinami podle předepsané receptury je spuštěna míchací sekvence. Při výrobě SOMS se používají míchačky speciálně určené pro míchání suchých směsí, umožňující rychlé a intenzivní míchání suchých surovin, a to jak velmi jemně mletých, tak hrubozrnnějších frakcí. Teplota by během míchání neměla vystoupit nad 50 °C, aby nedošlo ke znehodnocení termoplastických a citlivých přísad.

Po ukončení míchání, které trvá cca 3 až 10 min, je homogenizovaná suchá směs transportována do mezilehlého skladovacího sila a opět podrobena kontrole kvality. Poté je směs plněna do transportních sil nebo transportována k pytlovacím a paletovacím zařízením, odkud jsou balení expedována k zákazníkům.



Obr. 16 - Schéma výroby SMS (m-tec, Neuenburg, Německo) [30]

V plně automatizované výrobě probíhá komplexní a velmi striktní kontrola kvality jak surovin, tak produktů. Kromě toho je ve výrobě vždy přítomen technický

personál a technologové, jejichž úkolem je monitorování procesu výroby a další výzkum a vývoj [30].

4.3.5.4 Zkoušení SOMS

Konzistence. V průběhu vývoje receptury SOMS se zkouší také konzistence čerstvé malty a určuje se doporučená hodnota vodního součinitele pro takovou konzistenci, která bude pravděpodobně používána na stavbách. Konzistence čerstvé malty se zkouší pomocí sednutí, podobně jako čerstvý beton. Pro zkoušení konzistence čerstvé malty s vyšším vodním součinitelem se používá zkouška rozlití.

Retence vody se zkouší na čerstvé maltě s takovou konzistencí, jaké bude použito na stavbě. Savý zděný podklad je simulován filtračními deskami, po určité době se zjišťuje hmotnost vody absorbované filtračními deskami a vyjadřuje se v [%].

Obsah vzduchu. Čerstvá malta obsahuje vzduchové póry, z nichž část vzniká reakcí některých přísad se vzduchem a část je tvořena adsorpcí vzduchu na povrchu částic. Zkouška se provádí tlakovou metodou, kdy se vzorek čerstvé malty o objemu 1 dm³ umístí do zkušební aparatury a měří se pokles tlaku v aparatuře, úměrný objemu vzduchu v čerstvé maltě. Výsledek této zkoušky však nevyovídá o velikosti vzduchových pórů v čerstvé maltě.

Granulometrie. Granulometrická analýza se nejčastěji provádí pomocí síťového rozboru vzorku SMS. Jejím výstupem je granulometrická křivka, jejíž tvar je typický pro každou maltovou směs.

Dalšími zkoušenými parametry jsou přídržnost k podkladu, doba tuhnutí a doba zpracovatelnosti, pro něž se zkušební metody liší podle druhu použitého pojiva [30].

4.3.6 Sanační omítky

Sanační omítkové systémy jsou určeny k omítání vlhkého nebo zasoleného zdiva. Soli poškozující stavební konstrukce se ukládají v sanační omítce, a tím se povrch omítky před nimi chrání. Vysoká propustnost sanačního systému pro vodní páru vytváří vhodné podmínky pro vysychání zdiva. Sanační omítky proto nemohou být těsnící uzavřené izolační omítky. Vlastnosti sanačních omítek uvádí směrnice WTA 2-9-04. Jedná se o omítky s vysokou pórovitostí a propustností pro vodní páru, a současně s nízkou kapilární nasákavostí. Sanační omítky lze také připravovat přímo na staveništi, podle definice směrnice WTA se však nepokládají za sanační omítky. Oproti sanačním omítkám připraveným ze suchých maltových směsí mohou

být sanační omítky připraveny přesně podle specifických podmínek a požadavků daného objektu [10].

Sanační systém se skládá z podhozu nebo podkladní omítky a sanační omítky. Podhoz nebo podkladní omítka se nemusí aplikovat, pokud to výrobce nedoporučuje. Jsou-li stanoveny způsoby finální úpravy povrchu, musí splnit požadavky vyhovující sanačnímu systému. Dlouhodobá účinnost sanačních omítek vyžaduje dodržování relativně úzkých hranic charakteristických hodnot vlastností, což předpokládá optimální složení malt (druh a tvar zrn, druh pojiva, poměry míchání, druh a množství přísad a příměsí) [10].

Sanační systémy musí kvůli své funkci relativně rychle zatvrdnout a všechny komponenty (zejména pojiva) mají mít vysokou odolnost proti působení solí, proto se jako pojiva používají zejména hydraulická pojiva. Vápenný hydrát nedokáže splnit požadavky na vlastnosti sanační omítky, také použití latentně hydraulických pojiv (např. trassu) je problematické kvůli pomalu probíhající hydraulické reakci.

Podhoz má zajistit přilnavost k podkladu a musí být odolný proti působení solí. Nanáší se síťovitě, tj. nepokrývá celý povrch omítaného zdiva. Při pokrytí zdiva podhozem z více než 50 % plochy, musí podhoz splňovat požadavky podle WTA 2-9-04. Podkladní omítka slouží k vyrovnání hrubých nerovností podkladu nebo jako akumulární vrstva pro jímání solí zvláště při omítání zvláště zasoleného zdiva (tzv. obětovaná omítková vrstva) [10].

Tab 6. Vybrané požadavky směrnice WTA 2-9-04 na vlastnosti sanačních omítek a podhozů [10]

Vlastnost	Sanační podhozy	Sanační omítky
Pórovitost V_p [%]	> 45	> 40
Faktor difuzního odporu μ [-]	< 18	< 12
Hloubka vniknutí vody h [mm]	> 5	< 5
Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	-	< 1400

Použití sanačních omítek při obnově historických objektů není obvykle pracovníky památkové péče ani na vlhké zdivo doporučováno. Je to způsobeno zejména složením malt, které jsou na bázi vápenocementového pojiva, které neodpovídá složení původních malt. Další důvod je ve zkušenostech se sanačními omítkami na některých objektech, kdy došlo v důsledku nevhodné aplikace k poškození historického zdiva.

5 Optimalizace suchých omítkových směsí pro obnovu fasád historických staveb

5.1 Rozhodovací proces - teorie multikriteriální optimalizace

Vlastní rozhodování je nelosová volba pokračování jevu z množiny možných pokračování, nebo volba určité strategie z množiny možných strategií. Postup řešení rozhodovacího procesu lze rozdělit do několika kroků [9]:

- Formulujeme cíl našeho rozhodnutí, kterým je většinou výběr optimální varianty pro konkrétní účel. Definujeme požadavky a navrhujeme možné varianty řešení. Přitom vylučujeme varianty, o kterých již víme, že nesplňují některé základní požadavky.
- Zvolíme kritéria hodnocení, zde je významný osobní přístup rozhodovatele, jeho znalosti a zkušenosti. Současně ke kritériím přiřadíme požadované nebo mezní hodnoty. Stanovíme váhy jednotlivých kritérií podle zvolené metody - bodovací, Fullerova, Saatyho (pro tuto práci byla zvolena Saatyho metoda - viz dále).
- Sbíráme informace, u nichž prověřujeme věrohodnost, časovou platnost. Každou variantu a její jednotlivá kritéria oceníme hodnotou, ať již měřitelnou nebo verbálně popsanou (neměřitelnou). Sestavíme rozhodovací matici, kde varianty vytváří sloupce a kritéria řádky matice (případně naopak). Každé kritérium je také definováno požadovanou číselnou hodnotou nebo tendencí (min., max.).
- Vyloučíme nevyhovující varianty a provedeme logickou analýzu připravené rozhodovací matice. Provedeme výpočet výpočtové matice, případně několika alternativ různé závažnosti kritérií. Výsledkem je návrh optimální varianty a pořadí výhodnosti ostatních variant.

5.2 Multikriteriální optimalizace suchých omítkových směsí

Na českém trhu lze najít celou řadu výrobců suchých omítkových směsí českých i zahraničních. Některé firmy se specializují na materiály určené pro obnovu historických objektů, jiní výrobci mají široký sortiment stavebních hmot. Pro účely této práce bylo zvoleno 21 výrobců, v jejichž sortimentu jsou suché omítkové směsi potenciálně vhodné pro účel obnovy historických fasád: AQUA obnova staveb s.r.o., BASF s.r.o., Baumit s.r.o., LB Cemix a.s., HASIT Šumavské vápenice a omítkárny

s.r.o., KEIMFARBEN s.r.o., Kema Puconci d.o.o. (KEMA stavební materiály s.r.o.), Krkonošské vápenky Kunčice a.s., MAPEI s.r.o., MC-Bauchemie s.r.o., PROFI am BAU CM s.r.o., Quick-mix k.s., Remmers CZ s.r.o., Sakret CZ k.s., SCHOMBURG Čechy a Morava s.r.o., SCHWENK Putztechnik GmbH & Co KG (v ČR zastoupen firmou PRISMA CONSULT s.r.o.), Sto s.r.o., ITC International s.r.o. (International Ltd. Vandex), Building SP s.r.o., Cement Hranice a.s. a Weber Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.

Ze sortimentu suchých omítkových směsí těchto výrobců bylo vybráno celkem 131 suchých omítkových směsí pro obecné použití, které by mohly být použity při obnově fasád historických objektů, některé z nich jsou svými výrobci přímo doporučovány pro oblast památkové péče. Z technických a bezpečnostních listů, uvedených přímo na webových stránkách výrobců nebo získaných ve spolupráci se zaměstnanci uvedených firem, byly získány potřebné údaje o jednotlivých produktech. Přehled produktů je uveden v přílohách 1 - 3, v poznámce je stručná charakteristika jednotlivých produktů, případně jejich složení.

Pro zhodnocení produktů a výpočet optimalizační úlohy SMS byla zvolena tato kritéria: obsah cementu v [%], granulometrie (reprezentovaná velikostí největšího zrna D_{\max} v [mm]) a pevnost v tlaku po 28 dnech v [MPa]. Prvním krokem byl výběr hodnocených produktů, které buď nesplňují základní požadavek na množství cementu (< 5%), nebo se nepodařilo k nim sehnat veškerá data. K určení vah jednotlivých kritérií byla použita Saatyho metoda, která srovnává preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v Saatyho matici. Kromě samotné preference jednotlivých kritérií tato metoda zohledňuje i velikost preference (zda je dané kritérium závažnější a o kolik) pomocí bodového hodnocení v tab. 7 [9]. Číselný výpočet vah jednotlivých kritérií F_i (9) je pak proveden pomocí geometrického průměru jednotlivých řádků R_i (8) (viz tab. 8), přičemž platí, že součet vah jednotlivých kritérií musí být roven 1. Následujícím krokem je parametrizace hodnot jednotlivých kritérií u vybraných produktů - pokud je optimum maximální hodnota, použije se vztah (10), pokud minimální vztah (11), po níž následuje přepočtení parametrů na preference v [%] (preference je rovna součinu parametru, váhy kritéria a 100 %). Součet preferencí v daném řádku je celková preference produktu. V tab. 9 jsou vybrané produkty již seřazeny podle preferencí.

$$R_i = \sqrt[k]{\prod s_{ij}} \quad (8)$$

$$F_i = \frac{R_i}{\sum^k \sqrt{\prod s_{ij}}} \quad (9)$$

$$p = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (10)$$

$$p = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (11)$$

Tab 7. Hodnocení kritérií podle Saatyho [9]

Počet bodů	Významnost
1	Kritéria jsou stejně významná
2, 3	První kritérium je slabě významnější
4, 5	První kritérium je dosti významnější
6, 7	První kritérium je prokazatelně významnější
8, 9	První kritérium je absolutně významnější

Tab 8. Saatyho matice - výpočet vah kritérií

	Obsah cementu	Zrnitost	Pevnost v tlaku	Ri	Fi
Obsah cementu	1,000	5,000	6,000	3,1072	0,7258
Zrnitost	0,200	1,000	2,000	0,7368	0,1721
Pevnost v tlaku	0,167	0,500	1,000	0,4368	0,1020
			Součet	4,2808	1,0000

Tab 9. Výpočet preferencí vybraných produktů

Č.	Název	Výrobce	D _{max} [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Obsah cementu [%]	D _{max}	Pevnost v tlaku	Obsah cementu	Preference D _{max} [%]	Preference Pevnost [%]	Preference Obsah cementu [%]	Preference celkem [%]
optimum			max	max	min	Fi			0,172	0,102	0,726	
41	DL-P vápenná omítka	Quick Mix	8,0	1,5	0,0	1,00	0,09	1,00	17,21	0,89	72,58	90,68
40	NHL-P vápenná omítka	Quick Mix	8,0	1,3	0,0	1,00	0,07	1,00	17,21	0,71	72,58	90,50
21	KEMASAN 580	Kema	3,2	12,0	0,0	0,39	1,00	1,00	6,64	10,20	72,58	89,42
14	Hasolan	Hasit	6,0	0,5	0,0	0,75	0,00	1,00	12,85	0,00	72,58	85,43
31	Profi vápenný postřik (Profi Poretex Kalkvorspritzer)	Profi	4,0	5,0	0,0	0,49	0,39	1,00	8,50	3,99	72,58	85,07
2	Deckputz-historisch-Grob	KEIM Farben	4,5	3,3	0,0	0,56	0,24	1,00	9,59	2,44	72,58	84,60
23	Weber.dur trass	Weber Terranova	5,0	1,0	0,0	0,62	0,04	1,00	10,67	0,44	72,58	83,70
38	Mape-Antique Rinzafo	Mapei	2,5	7,0	0,0	0,30	0,57	1,00	5,23	5,77	72,58	83,57
5	Feinspachtel RZ	Remmers	3,0	5,0	0,0	0,37	0,39	1,00	6,32	3,99	72,58	82,89

Č.	Název	Výrobce	D _{max} [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Obsah cementu [%]	D _{max}	Pevnost v tlaku	Obsah cementu	Preference D _{max} [%]	Preference Pevnost [%]	Preference Obsah cementu [%]	Preference celkem [%]
19	Hydraulkalk Sockelputz	Hasit	4,0	2,5	0,0	0,49	0,17	1,00	8,50	1,77	72,58	82,85
15	Hydraulkalk 696 Maschinenputz	Hasit	4,0	2,0	0,0	0,49	0,13	1,00	8,50	1,33	72,58	82,41
17	Hydraulkalk 695 Renovierputz	Hasit	4,0	2,0	0,0	0,49	0,13	1,00	8,50	1,33	72,58	82,41
13	KP natur	Schwenk	4,0	1,6	0,0	0,49	0,10	1,00	8,50	0,98	72,58	82,05
12	Baukasten 697 Kalk-Renovierputzvormischung	Hasit	4,0	1,5	0,0	0,49	0,08	1,00	8,50	0,84	72,58	81,92
36	Mape-Antique MC	Mapei	2,4	5,0	0,0	0,29	0,39	1,00	5,01	3,99	72,58	81,58
3	NHL Kalkputz grob	KEIM Farben	3,0	3,3	0,0	0,37	0,24	1,00	6,32	2,44	72,58	81,34
22	Weber.ren kalkopor	Weber Terranova	3,0	3,3	0,0	0,37	0,24	1,00	6,32	2,44	72,58	81,34
18	Hydraulkalk 952 Mörtel	Hasit	2,0	5,0	0,0	0,24	0,39	1,00	4,14	3,99	72,58	80,71
35	Mape-Antique FC, FC/R	Mapei	0,3	9,0	0,0	0,03	0,74	1,00	0,44	7,54	72,58	80,55
39	PoroMap Finitura	Mapei	0,3	9,0	0,0	0,03	0,74	1,00	0,44	7,54	72,58	80,55
37	Mape-Antique CC	Mapei	2,5	3,3	0,0	0,30	0,24	1,00	5,23	2,44	72,58	80,25
20	HYDROMENT jemná omítka (KEMASAN 580 F)	Kema	1,0	6,0	0,0	0,11	0,48	1,00	1,96	4,88	72,58	79,42
9	Vápenná památkářská omítka ruční	Cemix	2,0	3,3	0,0	0,24	0,24	1,00	4,14	2,44	72,58	79,16
6	Restauriermörtel ZF	Remmers	2,0	3,0	0,0	0,24	0,22	1,00	4,14	2,22	72,58	78,94
27	KVK renovační vápenná omítka 0260K	KVK	2,5	1,5	0,0	0,30	0,09	1,00	5,23	0,89	72,58	78,70
28	KVK tradiční vápenná 0265U	KVK	2,5	1,5	0,0	0,30	0,09	1,00	5,23	0,89	72,58	78,70
29	KVK tradiční vápenná omítka	KVK	2,5	1,5	0,0	0,30	0,09	1,00	5,23	0,89	72,58	78,70
16	Hydraulkalk 380 Feinabrieb	Hasit	2,0	1,5	0,0	0,24	0,08	1,00	4,14	0,84	72,58	77,56
43	HKP vápenná omítka	Quick Mix	2,0	1,0	0,0	0,24	0,04	1,00	4,14	0,44	72,58	77,16
4	NHL Kalkputz fein	KEIM Farben	0,6	3,3	0,0	0,06	0,24	1,00	1,09	2,44	72,58	76,11
8	VAPO vápenné směsné pojivo	AQUA Bárta	0,1	4,3	0,0	0,00	0,33	1,00	0,00	3,37	72,58	75,95
25	Oxal Sanierputz	MC Bauchemie	1,0	2,0	0,0	0,11	0,13	1,00	1,96	1,33	72,58	75,87
26	Oxal Sanierputz weiss	MC Bauchemie	1,0	2,0	0,0	0,11	0,13	1,00	1,96	1,33	72,58	75,87
10	Vápenná památkářská omítka strojní	Cemix	1,2	1,5	0,0	0,14	0,08	1,00	2,40	0,84	72,58	75,82
1	Deckputz-historisch-Fein	KEIM Farben	1,3	3,3	0,0	0,15	0,24	1,00	0,03	2,44	72,58	75,05
11	Vápenný památkářský štuk	Cemix	0,7	1,5	0,0	0,08	0,08	1,00	1,31	0,84	72,58	74,73

Č.	Název	Výrobce	D_{max} [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Obsah cementu [%]	D_{max}	Pevnost v tlaku	Obsah cementu	Preference D_{max} [%]	Preference Pevnost [%]	Preference Obsah cementu [%]	Preference celkem [%]
42	NHL-FP jemná vápenná omítka	Quick Mix	0,6	1,3	0,0	0,06	0,07	1,00	1,09	0,71	72,58	74,38
24	Weber.dur štuk trass	Weber Terranova	0,6	1,0	0,0	0,06	0,04	1,00	1,09	0,44	72,58	74,11
7	Fugenmörtel ZF	Remmers	2,0	2,5	5,0	0,24	0,17	0,29	4,14	1,77	20,74	26,65
32	Profi MJS	Profi	1,5	2,0	5,0	0,18	0,13	0,29	3,05	1,33	20,74	25,12
30	Rajasil Kalkfeinputz	BASF	0,6	1,5	5,0	0,06	0,09	0,29	1,09	0,89	20,74	22,71
33	Profi Trassová omítka (Profi Poretex Trass-Kalkputz)	Profi	1,4	2,0	6,0	0,16	0,13	0,14	2,83	1,33	10,37	14,53
34	Buildmix jádrová MVC-2	Building SP	4,5	2,5	7,0	0,56	0,17	0,00	9,59	1,77	0,00	11,36
max ij			8,0	12,0	7,0					Max preference		90,68
min ij			0,1	0,5	0,0							

5.3 Multikriteriální optimalizace sanačních systémů

Z celé řady výrobců sanačních systémů na českém trhu byly pro optimalizaci vybrány produkty těchto výrobců: BASF s.r.o., Baumit s.r.o., LB Cemix a.s., HASIT Šumavské vápenice a omítkárny s.r.o., Kema Puconci d.o.o. (KEMA stavební materiály s.r.o.), Krkonošské vápenky Kunčice a.s., MAPEI s.r.o., MC-Bauchemie s.r.o., PROFI am BAU CM s.r.o., Quick-mix k.s., Remmers CZ s.r.o., SCHWENK Putztechnik GmbH & Co KG (v ČR zastoupen firmou PRISMA CONSULT s.r.o.), ITC International s.r.o. (International Ltd. Vandex) a Weber Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.

Optimalizace sanačních systémů byla rozdělena na optimalizaci sanačních podhozů a sanačních omítek, protože požadavky na jejich fyzikální vlastnosti se podle směrnice WTA 2-9-04 liší. Pro zhodnocení sanačních podhozů byla vybrána tato kritéria: pórovitost v zatvrdlém stavu [%], obsah cementu [%], hloubka vniknutí vody h [mm] a faktor difuzního odporu μ [-]. Prvním krokem byl výběr hodnocených produktů, které buď nesplňují vybrané požadavky směrnice WTA 2-9-04 (tab. 5), nebo se nepodařilo k nim sehnat veškerá data. Následující postup byl totožný jako při vyhodnocování suchých omítkových směsí. Bylo použito hodnocení kritérií podle tab. 7, v tab. 10 a 11 je uveden výpočet vah kritérií pro sanační omítky a podhozy.

Výpočty preferencí podle vah použitých kritérií je uvedeno v přílohách 4 a 5, hodnocené produkty jsou seřazeny podle celkové preference.

Tab 10. Saatyho matice - výpočet vah kritérií pro sanační podhozy

	Pórovitost (zatvrdlá)	Obsah cementu	Hloubka vniknutí vody	Faktor difuzního odporu	Ri	Fi
Pórovitost (zatvrdlá)	1,000	4,000	5,000	7,000	2,687	0,526
Obsah cementu	0,250	1,000	3,000	5,000	1,303	0,255
Hloubka vniknutí vody	0,200	0,333	1,000	3,000	0,725	0,142
Faktor difuzního odporu	0,143	0,200	0,333	1,000	0,394	0,077
Součet					5,108	1,000

Tab 11. Saatyho matice - výpočet vah kritérií pro sanační omítky

	Pórovitost (zatvrdlá)	Obsah cementu	Hloubka vniknutí vody	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu	Ri	Fi
Pórovitost (zatvrdlá)	1,000	4,000	5,000	6,000	7,000	3,845	0,529
Obsah cementu	0,250	1,000	3,000	4,000	5,000	1,719	0,236
Hloubka vniknutí vody	0,200	0,333	1,000	2,000	3,000	0,833	0,115
Objemová hmotnost	0,167	0,250	0,500	1,000	2,000	0,530	0,073
Faktor difuzního odporu	0,143	0,200	0,333	0,500	1,000	0,343	0,047
Součet						7,269	1,000

6 Diskuse a závěr

Pro obnovu fasád historických objektů jsou preferovány staveništní malty, které jsou tradiční a umožňují volit složení směsí pro omítky a zdící malty tak, aby kopírovaly složení malt původních. Příprava staveništních malt velmi náročná na odbornost pracovníků na stavbě, aby bylo dosaženo požadované kvality. Navíc, pro vápenné staveništní malty, aby dosáhly požadovaných vlastností a jejich příprava se nelišila od historických postupů, by měly být připraveny z mokře hašeného, odleženého vápna. Příprava vápenných malt z vysokoprocenního vápenného hydrátu (CL90-S) ve spádové míchačce má za následek malty nízkých pevností, které se snadno poškodí mrazem, nebo solemi. Při přípravě malt pro obnovu historických objektů se naskytá další možnost, a to využití suchých maltových a omítkových směsí, které oproti staveništním maltám mají zaručené konstantní vlastnosti každé záměsi, a předpokladem pro to je pouze dodržení receptury uvedené výrobcem. Suché omítkové směsi lze použít i při opravách historických a památkově chráněných objektů, pokud není požadováno speciální složení omítek. Příkladem pro použití suché omítkové směsi mohou být opravy fasád památkově chráněných činžovních domů z 19. stol. a objektů v městských památkových zónách, které nemívají specifické požadavky na vlastnosti omítek. Obecně lze říci, že pro obnovu a zachování historicky cenné stavby je vhodnější použít kvalitně provedenou omítku připravenou z SMS, než nekvalitně a neodborně provedenou staveništní maltu.

Předpokladem pro použití suchých omítkových směsí na památkově chráněných objektech je zejména výběr vhodné směsi pro konkrétní použití. K tomuto účelu lze využít metodu multikriteriální optimalizace, jak je popsáno v kapitole 5. Pro účely této bakalářské práce byla provedena rešerše sortimentu předních výrobců SOMS na českém trhu a vybrány výrobky vhodné pro použití v oblasti památkové péče (viz přílohy 1 – 3). Tyto vybrané produkty byly rozděleny do 3 kategorií podle oblasti jejich použití (suché maltové a omítkové směsi pro obecné použití, sanační podhozy a sanační omítky). Každá z těchto kategorií byla hodnocena podle rozdílných kritérií (viz tab. 8, 10, 11). Prvním krokem multikriteriální optimalizace bylo v každé kategorii vyloučení těch produktů, které nespĺňují základní podmínky (v případě SOMS pro obecné použití to bylo kritérium obsahu cementu nižší než 5 %, u sanačních omítek a podhozů podmínky uvedené ve směrnici WTA 2-94-04), a výrobků, pro něž z různých důvodů nebylo možné dohledat veškeré podklady.

V tomto případě se jednalo zejména o produkty zcela nové nebo produkty dovážené na objednávku ze zahraničí. Pro výrobky, které prošly touto první selekcí, pak byl proveden výpočet multikriteriální optimalizace. Tabulka 12 uvádí přehled produktů s nejvyšší preferencí v hodnocených kategoriích SOMS.

Tab 12. Výsledky multikriteriální optimalizace – výběr produktů s nejvyšším součtem preferencí

Kategorie	Pořadí	Název produktu	Výrobce	Preference celkem [%]
SOMS	1	DL-P vápenná omítka	Quick Mix	90,68
	2	NHL-P vápenná omítka	Quick Mix	90,50
	3	KEMASAN 580	Kema	89,42
	4	Hasolan	Hasit	85,43
	5	Profi vápenný postřík (ProfiPoretecKalkvorspritzer)	Profi	85,07
SOMS - Sanační omítky	1	RajasilSanierputz SP3	BASF	76,62
	2	VandexSanierputz WTA	Vandex	47,33
	3	Sanační omítka jednovrstvá	Cemix	42,67
	4	SP WTA	Schwenk	34,67
	5	KVK renovační vápenná omítka 0260K	KVK	31,15
SOMS - Sanační podhozy	1	Kompresenputz	Remmers	92,37
	2	Prince Color SANO 03	BASF	20,47
	3	Supersan hrubý	Cemix	17,07
	4	Grundputz	Remmers	16,69
	5	Porengrundputz WTA	Vandex	15,05

V kategorii SOMS pro obecné použití většina produktů v užším výběru dosáhla poměrně vysoké hodnoty celkové preference (jde o hodnoty okolo 80 %). Lze proto říci, že suché omítkové směsi v užším výběru jsou vhodné pro užití k obnově fasád historických staveb a výsledky multikriteriální optimalizace mohou usnadnit výběr v rámci tohoto zúženého sortimentu produktů. Mezi SOMS pro obecné použití se však vyskytlo mnoho produktů, které nesplnily základní požadavek obsahu cementu nižšího než 5 %, a to i přesto, že některé z těchto produktů byly výrobcem deklarovány jako směsi vhodné pro použití v památkové péči. V praxi je proto vždy třeba kontrolovat obsah cementu ve směsi, který musí být uveden v bezpečnostním listu každého výrobku.

V kategorii sanačních omítek a podhozů se vyskytl vždy jeden z výrobků s výrazně vyšší hodnotou preference než ostatní produkty. Jedná se o sanační omítku Rajasil Sanierputz SP3 (BASF) a sanační podhoz Kompresenputz

(Remmers), které lze jednoznačně doporučit pro oblast památkové péče. U sanačních systémů je však třeba dbát na kompatibilitu jednotlivých vrstev sanačního systému. Doporučuje se používat sanační systém jednoho výrobce, zde tedy lze doporučit systémy firmy Remmers nebo BASF.

Při výběru suchých omítkových směsí v praxi ovšem hrají zásadní roli specifické podmínky daného objektu, typ objektu a jeho využití původní i současné, druh a struktura původní povrchové úpravy, technický stav, stáří a také požadavky projektanta, doporučení pracovníků památkové péče a v neposlední řadě také ekonomické hledisko. Z ekonomického hlediska by měla být vždy upřednostněna ta varianta obnovy památkového objektu, která je ekonomicky výhodnější (tj. celkové dlouhodobé náklady na údržbu objektu jsou nejnižší), nikoliv varianta s nejnižší cenou, u níž mohou být náklady z dlouhodobého pohledu mnohem vyšší.

7 Seznamy

7.1 Seznam použité literatury

- [1] HOŠEK, J., MUK, J. *Omítky historických staveb*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990. 143 s. ISBN 80-04-23349-x.
- [2] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002. ISBN 80-86657-00-0. 89 s.
- [3] *Vápenné omítky v památkové péči. Směrnice WTA 2-7-01/D*. Praha: WTA CZ, 2008. ISBN 978-80-01986-2. 20 s.
- [4] ROVNANÍKOVÁ, P. *Vápnó - historie, výroba, vlastnosti*. In *Tradiční vápenné technologie. Sborník přednášek*. Ostrava: NPÚ, ú.o.p. Ostrava, 2009, s. 5 - 14. ISBN 978-80-85034-50-9.
- [5] MICHONOVÁ, D. *Tradiční postupy přípravy vápenných malt*. In *Tradiční vápenné technologie. Sborník přednášek*. Ostrava: NPÚ, ú.o.p. Ostrava, 2009, s. 15 - 23. ISBN 978-80-85034-50-9.
- [6] *Vápenné omítky v památkové péči. Směrnice WTA 2-7-01/D*. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2007. 20 s. ISBN 978-80-02-01986-2.
- [7] MICHONOVÁ, D. *Příprava vápenných malt v péči o stavební památky*. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006. 76 s. ISBN 80-86769-81-X.
- [8] MĚŠŤAN, R. *Omítkářské a štukatérské práce*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1988. 304 s.
- [9] PYTLÍK, P. *Optimalizace využití stavebních látek*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1991. 80 s.
- [10] *Sanační omítkové systémy. Směrnice WTA 2-9-04*. 1. vydání. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2008. 20 s. ISBN 978-80-0202103-2
- [11] *Mezinárodní dokumenty o ochraně kulturního dědictví*. [online]. Praha: Národní památkový ústav, 2007 [cit. 2. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.npu.cz/ke-stazeni/pro-odborniky/pamatky-a-pamatkova-pece/mezinarodni-dokumenty/gallery/>.
- [12] ČSN EN 459-1 *Stavební vápnó – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*. Platnost od 1. 4. 2011.

- [13] ČSN EN 459-2 Stavební vápno – Část 2: Zkušební metody. Platnost od 1. 4. 2011.
- [14] RODRIGUEZ-NAVARRO, C., HANSEN, E., GINELL, W. S. Calcium Hydroxide Crystal Evolution upon Aging of Lime Putty. *J. of the American Ceramic Society*. 1998, vol. 81, no. 11, p. 3032–3400.
- [15] BOTHA, A., STRYDOM, C. A. Preparation of a magnesium hydroxy carbonate from magnesium hydroxide. *Hydrometallurgy*, 2001, vol. 62, p. 175-183.
- [15] VITRUVIUS POLLIO, M. *Deset knih o architektuře*. Praha: Arista a Baset, 2001, 438 stran. ISBN ARISTA 80-86410-23-4 a ISBN BASET 80-86223-49-3.
- [16] MICHŮINOVÁ, D. Vliv přírodních vláknitých přísad na chování a vlastnosti vápenných malt. [online]. Brno: FAST VUT v Brně, 2003 [cit. 11. 05. 2013]. Dostupný z: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/4-2/rp/michoinova.pdf>
- [17] ONDRÁČEK, R. Sledování vlivu přírodních přísad na technologické vlastnosti vápenných malt. Diplomová práce FAST VUT Brno, 2000.
- [18]. ROVNANÍKOVÁ, P. Malta na bázi dolomitického vápna pro doplňování středověkých omítek a štuků. In *Sborník semináře Vápno, cement, ekologie*. Ed. M. Paříková, Lísk: Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o., 2013, v tisku.
- [19] LANAS, J. et al. Mechanical properties of masonry repair dolomitic lime-based mortars. *Cement and Concrete Research*. 2006, vol. 36, p. 951-960.
- [20] O'HARE, G. Lime mortars and Renders: The Relative Merits of Adding Cement. [online]. The Building Conservation Directory, 1995 [cit. 11. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.buildingconservation.com/articles/cement/cement.htm>
- [21] CHROUST, F., KVASNIČKOVÁ, R., KVASNIČKA, I. *Omítky*. Praha: SNTL, 1959, 189 s.
- [22] MARGALHA, G. et al. Traditional methods of mortar preparation: The hot lime mix method. *Cement and Concrete Research*, 2011, vol. 33, p. 796-804.
- [23] LÁNÍK, J., CIKRT, M. *Dvě tisíciletí vápenictví a cementářství v českých zemích*. Praha: Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska & Výzkumný ústav maltovin Praha, spol. s r. o., 2001, 201 s.

- [24] KOS, P. Experimentální výpal vápna v peci ze 16. století u Mokré. *Archeologia technica* [online]. 2001, vol. 13, s. 9-17 [cit. 11. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.starahut.com/at/at13/default.htm>
- [25] DRAŠNAR, J. *Technologie výroby vápna* [online]. 2000-2013 [cit. 2. 5. 2013]. Dostupný z: <http://muzeum.mineral.cz/vapenictvi/technologie-vyroby-vapna.php>
- [26] KOTLÍK, P. et al. *Vápno*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2001, 76 s. ISBN 80-902668-8-6.
- [27] Mezinárodní charta o zachování a restaurování památek a sídel. Benátky, 1964.
- [28] KOLAŘÍK, V., PEŠKA, M. Středověké vápenické pece z Moravského náměstí v Brně. *Archeologia technica* [online]. 2005, vol. 17, s. 30-42 [cit. 13. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.starahut.com/at/at17/default.htm>
- [29] *Zákon o státní památkové péči* [online]. 2010, poslední revize 14. 11. 2012 [cit. 13. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.npu.cz/pro-odborniky/pamatky-a-pamatkova-pece/zakony-mezinarodni-dokumenty/zakon-o-statni-pamatkove-peci/>
- [30] BAYER, R., LUTZ., H: Dry Mortars. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* [online]. 6. ed. 2003, Electronic Release, Wiley-VCH, Weinheim. 17 s.
- [31] *Jak se co dělá: Cihla (kruhová pec)* [online]. 2011, [cit. 9. 3. 2013]. Dostupný z: http://www.fabriky.cz/coajak/coajak_cihla.htm
- [32] *Staré vápenky - Bystré u Poličky* [online]. 2002, [cit. 11. 5. 2013]. Dostupný z: <http://muzeum.mineral.cz/vapenictvi/ceske-a-moravske-vapenky/bystre.php>
- [33] *Hornická skripta: Výroba vápna a cementu* [online]. [cit. 13. 5. 2013]. Dostupný z: <http://www.hornictvi.info/prirucka/vapcem/vapcem.htm>

7.2 Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma struktury hydrogelu.....	11
Obr. 2 - Mikrostruktura hašeného vápna: a – krystaly portlanditu v čerstvé kaši, b – po 2 měsících, c – po 6 měsících, d – po 2 letech odležení [14].....	12
Obr. 3 - Schéma vytváření pevné struktury ve vápenných omítkách.....	13
Obr. 4 - Kostel v Lukovanech – obnova fasády za použití omítky s malým množstvím cementu (foto P. Rovnaníková).....	23

Obr. 5 - Kostel v Lukovanech – důkaz nezkarbonatovaného vápna pod cementovou krustou pomocí fenolftaleinu (foto P. Rovnaníková).....	23
Obr. 6 - Příprava malty z nehašeného vápna [22]	27
Obr. 7 - Omítka na hradě Pernštejn (foto M. Číhalík)	27
Obr. 8 - Nalezené vápenické pece v historickém centru Brna: 1 – Minoritský klášter, 2 – Josefská 8, 3 – Římské nám., 4 – Velký Špalíček, 5 – Dominikánské nám., 6 – kostel sv. Jakuba, 7 – Česká-Veselá ul., 8 – Solniční ul., 9 – Česká 28 (Joštova 5), 10 – Moravské nám., 11 – Joštova ul.	30
Obr. 9 - Vápenný cyklus	30
Obr. 10 - Řez vápenickou pecí v Mokrém u Brna, Spálené Seči.....	31
Obr. 11 - Replika vápenické pece v Banské Štiavnici (foto P. Rovnaníková)	31
Obr. 12 - Schéma 14komorové kruhové pece [31]	32
Obr. 13 - Šachtová pec, Bystré u Poličky [32]	33
Obr. 14 - Příklad moderní šachtové vápenické pece [33]	33
Obr. 15 - Rotační pec s výměníkem Rosa-Petr, Čebín [25].....	33
Obr. 16 - Schéma výroby SMS (m-tec, Neuenburg, Německo) [30]	43

7.3 Seznam tabulek

Tab 1. Přehled typů přísad do omítek [6].....	20
Tab 2. Přibližná spotřeba vápna na 1 m ³ malty [8]	25
Tab 3. Metody rozboru historických a novodobých ztvrdlých malt [6].....	37
Tab 4. Rozbor suché maltové směsi [6].....	38
Tab 5. Příklad složení vápenocementové omítky a lehčené cementové omítky (v hm.podílech) [30].....	42
Tab 6. Vybrané požadavky směrnice WTA 2-9-04 na vlastnosti sanačních omítek a podhozů [10] 45	
Tab 7. Hodnocení kritérií podle Saatyho [9].....	48
Tab 8. Saatyho matice - výpočet vah kritérií	48
Tab 9. Výpočet preferencí vybraných produktů	48

Tab 10. Saatyho matice - výpočet vah kritérií pro sanační podhozy.....	51
Tab 11. Saatyho matice - výpočet vah kritérií pro sanační omítky.....	51
Tab 12. Výsledky multikriteriální optimalizace – výběr produktů s nejvyšším součtem preferencí	53

7.4 Seznam použitých zkratk, chemických značek a vzorců

Al_2O_3	oxid hlinitý
SiO_2	oxid křemičitý
H_2O	voda
K_2O	oxid draselný
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	síran vápenatý dihydrát; sádrovec
SO_2	oxid siřičitý
CaCO_3	uhličitan vápenatý
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	síran vápenatý hemihydrát; půlhydrátová sádra
CaO	oxid vápenatý
SO_3	oxid sírový
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hydroxid vápenatý
MgO	oxid hořečnatý
MgCl_2	chlorid hořečnatý
MgSO_4	síran hořečnatý
MgCO_3	uhličitan hořečnatý; magnezit
MgO	oxid hořečnatý
$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	uhličitan hořečnato-vápenatý; dolomit
CO_2	oxid uhličitý
Fe_2O_3	oxid železitý
CaSiO_3	křemičitan vápenatý
Na_2O	oxid sodný

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	oxid hlinito-křemičitý dihydrát; kaolinit
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	metakaolinit
$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	uhličitan hořečnatý trihydrát; nesquehonit
$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	hydromagnezit
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	hydrogenuhličitan vápenatý

7.5 Seznam použitých zkratk a značek

RH	relativní vlhkost vzduchu, [%]
CSH	hydratované křemičitany vápenaté
CAH	hydratované hlinitany vápenaté
H_M	hydraulický modul, [-]
SOMS	suché omítkové a maltové směsi
D_{max}	velikost největší frakce zrn kameniva, [mm]
R_i	geometrický průměr, [-]
F_i	váha kritéria, [-]
p	parametr, [-]

7.6 Seznam příloh

- Příloha 1: Přehled suchých omítkových směsí pro obnovu historických objektů
- Příloha 2: Přehled suchých maltových směsí pro sanační systémy - sanační omítky
- Příloha 3: Přehled suchých maltových směsí pro sanační systémy - sanační podhozy
- Příloha 4: Výpočet preferencí vybraných produktů sanačních podhozů
- Příloha 5: Výpočet preferencí vybraných produktů sanačních omítek