



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

## **Odlišnosti historických a moderních vápenných pojiv použitých pro přípravu malt a omítek**

Válek, Jan  
2011

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-80952>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 27.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz) .

## ODLIŠNOSTI HISTORICKÝCH A MODERNÍCH VÁPENNÝCH POJIV POUŽITÝCH PRO PŘÍPRAVU MALT A OMÍTEK

Jan Válek<sup>1</sup>

### Abstrakt

*Příspěvek ukazuje poznatky z oblasti charakterizování historických malt a poukazuje na potencionální odlišnosti „tradiční“ výroby vápenného pojiva a přípravy malt oproti současné výrobě. Cílem příspěvku je revidovat současné poznatky a vytyčit směry výzkumu v oblasti výroby vápenného pojiva jako tradičního materiálu pro obnovu památek.*

### 1. Úvod

Při popisu historických malt pojených vápenným pojivem se ukazuje, že historické malty jsou často pevnější a odolnější, než obdobné, nově vyrobené malty. Současným vápenným pojivem, které je běžně k dispozici, je obtížné vyrobit přesnou kopii historické malty, tak aby parametry jako jsou pevnost, pórovitost, poměr pojiva/plniva a struktura atd. odpovídaly historické maltě. Při hodnocení výbrusů pod mikroskopem lze strukturu historických vápenných malt, oproti nově vyrobeným maltám, charakterizovat jako různorodější, s obsahem pojivových částic a uhlí a s nevytříděným pískem. Je zřejmé, že vápenná matrice historických malt je působením degradačních činitelů během času pozměněna, ale i při vyšší celkové porositě to nemusí znamenat nižší pevnosti a sníženou funkčnost. Nabízí se tedy otázka, proč jsou historické malty pojené vápenným pojivem odlišné od současných. Druhou, otázkou může být, zda-li a proč je tato odlišnost významná.

Odpovědí na první otázku je (1) odlišná technologie výroby a přípravy a (2) stáří a změny v pojivové matrici. Odpovědí na druhou otázku je péče o architektonické dědictví.

### 2. Historické malty

U historických vápenných malt se setkáváme s řadou různých alternací a technologií zpracování. V minulosti bylo využíváno celé škály surovin od téměř čistých vápenců s vysokým obsahem uhličitánu vápenatého po jílovité vápence. Způsob výpalu prodělal vývoj od jednodávkového výpalu v milířích po kontinuální výpal v šachtových /

---

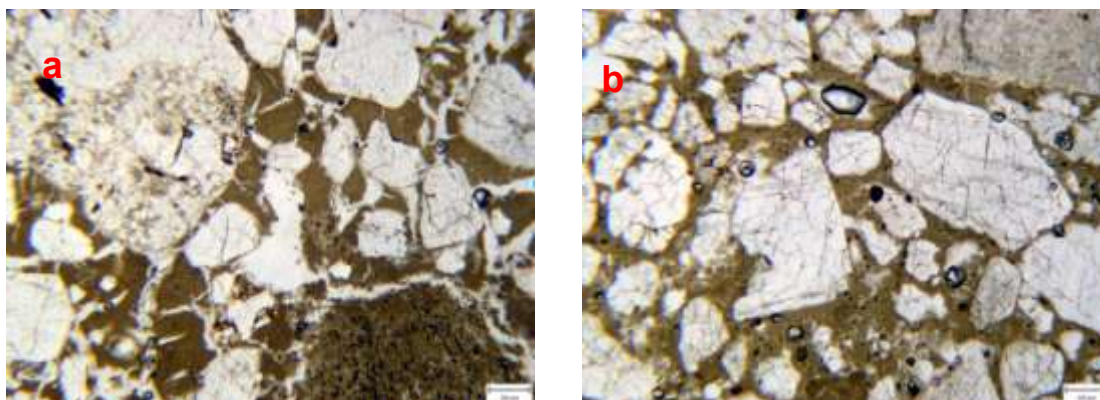
<sup>1</sup> Ing., PhD, ARCHISS Úsek diagnostiky historických konstrukcí, ÚTAM AV ČR, v.v.i., Prosecká 76, Praha 9, valek@itam.cas.cz

rotačních pecích. Odpovídajícím způsobem se vyvíjelo i palivo pro výpal. Svou úlohu určitě sehrála i možnost dopravy vápence či vypáleného kusového vápna, způsob ochrany před deštěm a vzdušnou vlhkostí atd. Hašení vápna s nadbytkem vody pro přípravu vápenné kaše či zpracování kusového vápna s pískem pro přímé použití také ovlivnilo podobu historických malt a omítek.

Na druhou stranu je nutno zmínit, že v minulosti byl daleko větší význam empirických znalostí a zkušeností spojených s řemeslnou zručností a postupy. To mělo zcela určitě vliv na výslednou kvalitu a projevovalo se v mnoha detailech celého postupu výroby pojiva a zpracování malty. Řemeslná zručnost a přímý kontakt s materiálem umožňovaly například ruční třídění nedopalu nebo tvrdě páleného vápna. Další výhodou přímého empirického poznání bylo uzpůsobení technologie zpracování. Například hašení vápna vyžadovalo zkušenost a schopnost přizpůsobit dávkování vody průběhu reakce.

Z nástinu různých alternací je zřejmé, že nelze mluvit o jedné tradiční technologii, ale že v minulosti existovala celá řada technologických vlivů na výsledné vlastnosti vápna jako pojiva malt a omítek. Z dnešního pohledu lze vybrat čtyři základní technologické postupy, díky kterým se historické vápenné pojivo malt a omítek liší od moderního a které mohou mít svůj význam při opravách historických staveb. Jsou to (1) využití surovin obsahující jílové příměsi, (2) použití dřeva jako paliva a způsob výpalu, (3) hašení při nadbytku vody a uložení vápenné kaše a (4) příprava malty z kusového vápna a písku.

Obrázek 1 ukazuje strukturu nové malty a) vyrobené z kusového vápna a písku a b) vápenného hydrátu. Surovinou byl stejný, vysokoprocentní vápenec. Vápno je z moderní produkce z šachtové pece, měkce pálené, vysoce reaktivní. Na obrázku vlevo je vidět četné trhliny v pojivové matici a velikost pórů, vpravo dole je část pojivového kusu o průměru cca 1mm. Na obrázku vpravo je fotografie výbrusu malty připravené z vápenného hydrátu. Pojivová matrice je kompaktní, smršťovací trhliny jsou ojedinělé. Ve srovnání s historickou maltou prezentovanou v tomto článku, viz. obr. 2, je u historické malty zřejmý větší podíl pojiva ku plnivu a množství pojivových kusů. V historické maltě nejsou smršťovací trhliny typické pro nově vyrobené malty.



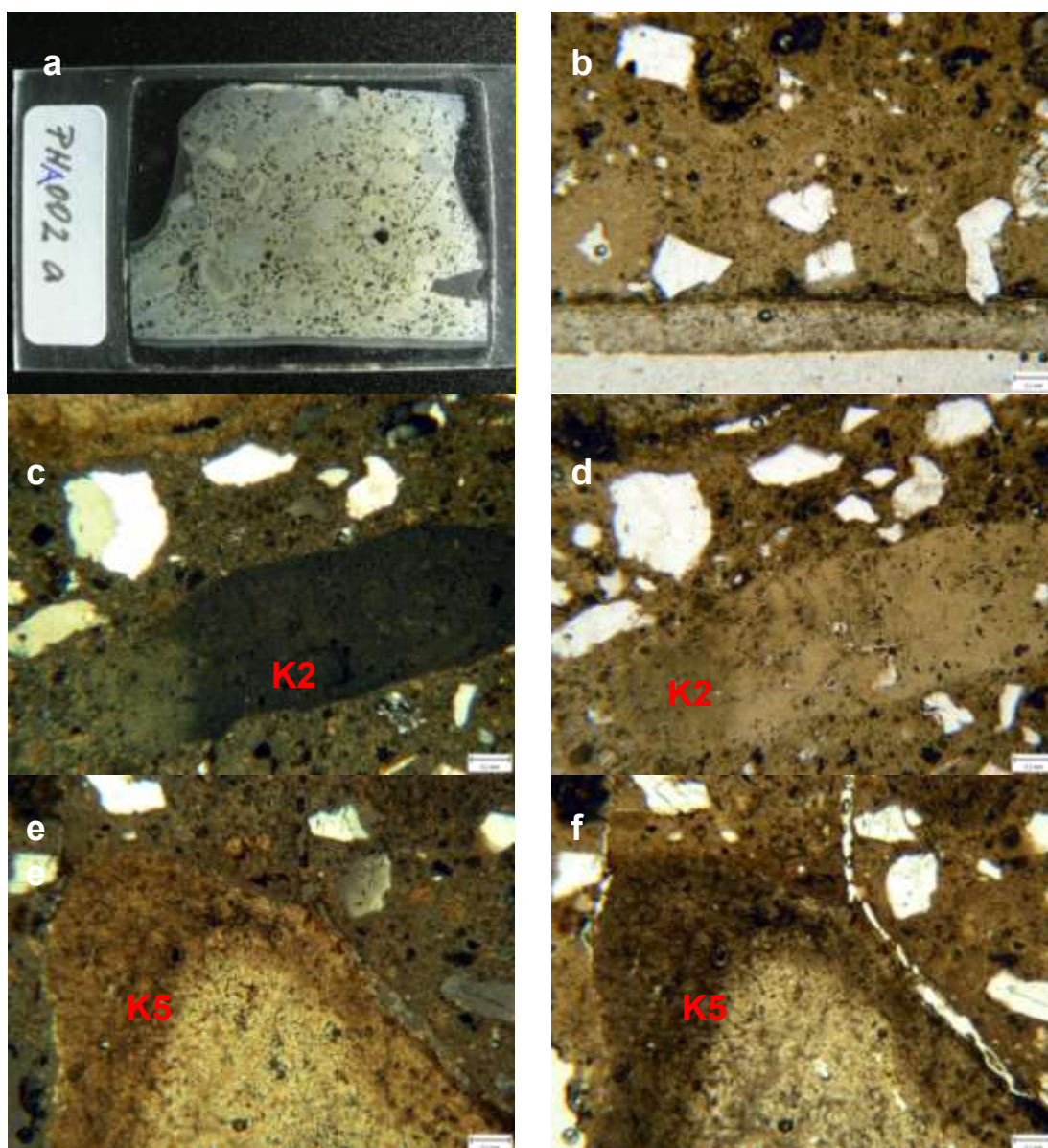
Obr. 1 Nová malta z kusového vápna a písku (vlevo), malta z hydrátu (vpravo).  
Výbrus, procházející světlo (PPL).

## 2.1 Rozboru archeologického vzorku malty z Pražského hradu

Vzorek (mazanice) z cca 10. stol. z již neexistujících domů na nám Sv. Jiří na Pražském hradě je příkladem historické malty, na kterém lze poukázat na dřívější technologie výroby vápenného pojiva a zpracování malty.

Konstrukce – dochované vzorky jsou z povrchové úpravy dřevěných vyplétaných konstrukcí. Tyto povrchové úpravy jsou v literatuře označovány jako mazanice. Maltové

mazanice mají charakter omítek s proměnlivou tloušťkou, cca. 15 – 30mm. Pohledová strana nese vápenný nátěr a má různou úpravu povrchu. Vnitřní strana nese stopy (obtisky prutů) dřevěného výpletu. Průměr prutů byl přibližně 10-20mm.



Obr. 2 Mirkrofoto vzorku malty z Jiřského náměstí, a – výbrus, b – jedna vrstva vápenného nátěru (vzdušné vápno), c – částečně vypálený kus vápence (K2 – surovina pro vzdušné vápno) XPL, d – kus K2 v PPL, e - částečně vypálený kus jílovitého vápence (K4) XPL, f – kus K4 v PPL (PPL - procházející polarizované světlo, (XPL – procházející polarizované světlo, zkřížené Nikoloy).

Vzorek malty má poměrně kompaktní pojivovou matici tvořenou vápenným pojivem a pojivovými kousky. Pojivová matrice je bez výrazných kontrakčních či expanzních trhlin což nasvědčuje kvalitnímu zpracování malty. Z prvkových analýz matrice a pojivových kousků vyplývá, že pojivo bylo vyrobeno z více typů různých surovin, viz. Tab 1. V maltovém vzorku se nachází zbytky částečně vypáleného vápence, ze kterých bylo získáno vzdušné vápno (viz částice K2, obr. 2), pojivové částice, které vznikly výpalem méně čistých vápenců, kde se částečně dochovala původní surovina (obr. 2, K4), nebo

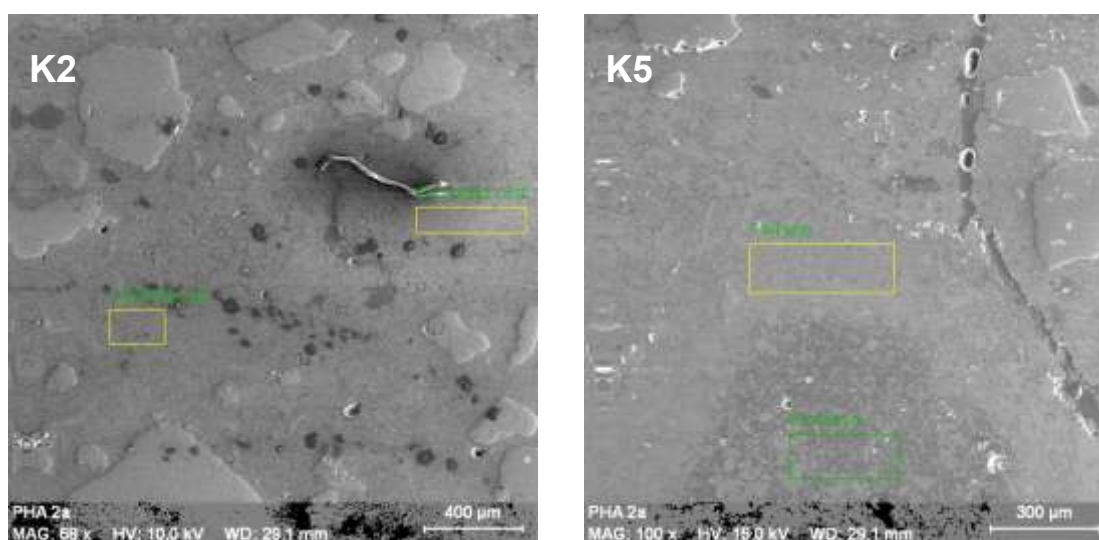


kteře existují jako hydratované C-S částice. Malta obsahuje poměrně malé množství písku - plniva. Část plniva zde nahrazují částice, které se váží k pojivu a jeho přípravě – tzv. pojivové kusy. Velikost těchto pojivových kusů není jednotná, některé jsou i výrazně větší, než zrna písku.

Tabulka 1 : Porovnání poměrů oxidů hlavních prvků C, S, A z SEM EDX

Spektrum	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	c.i.*
Nátěr	90,4		8,2	1,4			0,27
Pojivová matrice	89,9		8,5	1,6			0,28
K2 levá část	91,8		6,7	1,6			0,22
k2 pravá část	93,1		5,6	1,3			0,18
k4střed	50,4	2,9	38,2	6,6	1,0	0,8	2,09
k4 kraj	65,6	0,4	28,9	3,6	0,6	0,9	1,28

\* Cementační index dle Boyntna, 0-0,3 vzdušné vápno, 0,3-0,5 slabě hydraulické, 0,5-0,7 středně hydraulické, 0,7-1,1 silně hydraulické vápno



Obr. 3: SEM obraz s lokalizací analyzovaných ploch (Tab. 2) pomocí EDS.

Druhy vápenců: klasty vápenců jsou vypálené, původně se jednalo o mikritický, sparitický a organodetritický vápenec.

Otevřená porosita vzorku malty je cca 32%, objemová hmotnost 1735 kg/m<sup>3</sup>.

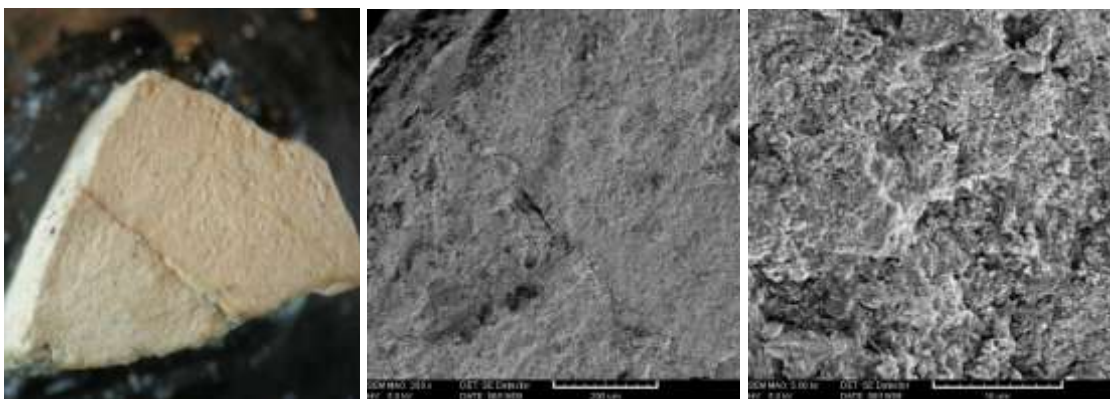
Výskyt pojivových kusů je dán technologií výpalu vápna a jeho dalšího zpracování. Velmi pravděpodobně bylo vápno po výpalu smícháno s pískem a vodou. V dochovaných fragmentech malty nebyly zjištěny výrazné objemové změny po aplikaci, z čehož lze usuzovat, že malta byla kvalitně zpracována.

U vzorků malt byla zjištěna poměrně značná variabilita složení použitých surovin pro výrobu vápna. Této variabilitě odpovídá i hydraulická vápenných pojiv. Směs různých pojiv mohla být výsledkem smícháním kamene od různých dodavatelů/lomů před výpalem nebo smícháním vápen po výpalu. Není zřejmé, zda šlo o určitý technologický postup za účelem získání kvalitního pojiva či pouze o náhodný jev daný rozmanitostí okolních surovin, dodavatelů vápna či souběžně probíhající stavební aktivitou. Kvalita malty a její celkový stav by spíše napovídal první alternativě.

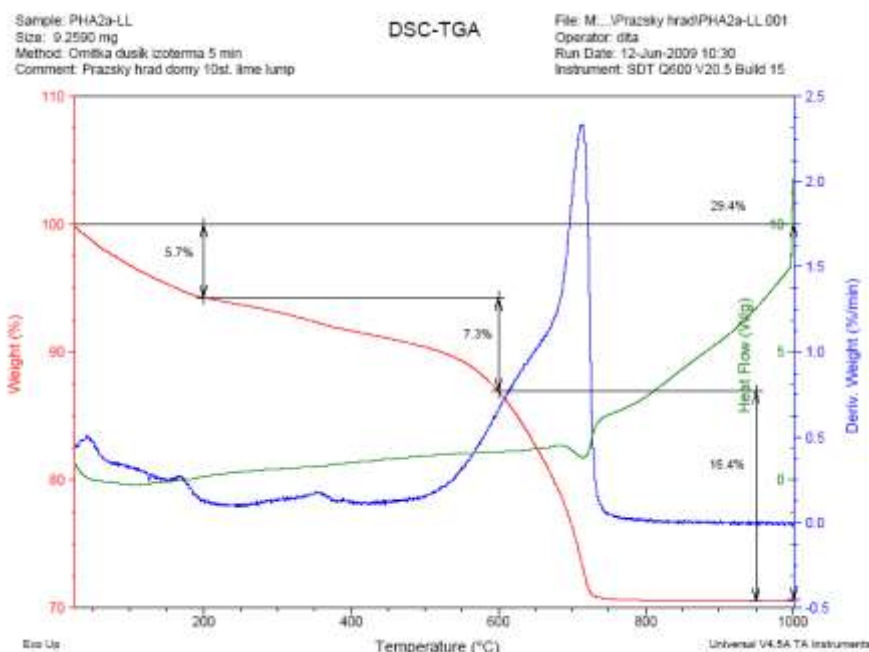
Přesná skladba vyplétané konstrukce není známa, nicméně se jedná o relativně pružný podklad. Způsob omítání, pevnost a trvanlivost mohly být důvodem pro použití hydraulických vápenných pojiv. Malta vykazuje poměrně kvalitní strukturu a nepochybně přispívá i k funkčnímu vylepšení celé vyplétané konstrukce (ochrana

před okolním prostředím, desinfekční vlastnosti vápna, mechanická odolnost, trvanlivost, stabilita konstrukce).

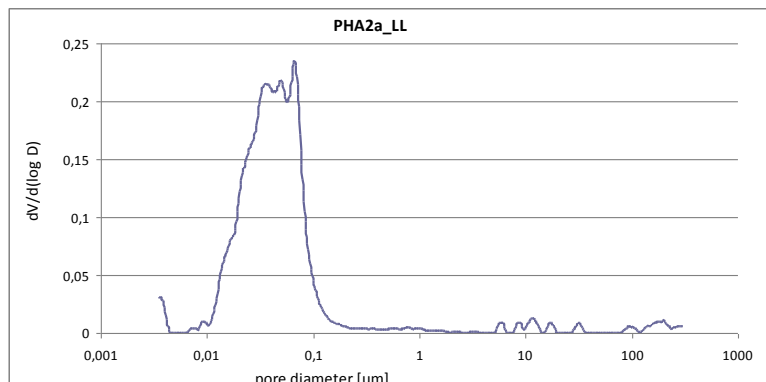
Detailně byl studován také pojivový kus vyjmutý ze vzorku malty a označený jako LL1. Obr. 4 ukazuje morfologii povrchu. Z termické analýzy (obr. 5) a ruťové porozimetrie (obr. 6) se pojivový kus jeví jako vypálený vápenec s příměsí jílovitých minerálů. Pojivový kus zůstal ve větším celku s ohledem na způsob přípravy malty a kalcinace. Průběh derivace TG křivky naznačuje hydratované hydraulické složky (viz [1]). Poměrně úzký pás relativně malých pórů v rozmezí 0,01 – 0,1 μm by mohl odpovídat porézni struktuře vzniklé kalcinací, viz. obr. 6.



Obr. 4 Mikrofoto a SEM obraz – morfologie a struktura povrchu úlomku pojivového kousku LL1.



Obr. 5 Termická analýza vypáleného kousku LL1, karbonátu (CO<sub>2</sub>) odpovídá přibližně 37% (hm.).



Obr. 6: Distribuce pórů určená rtuťovou porozimetrií.

### 3. Výroba vápenných pojiv s ohledem na historické „tradiční“ zpracování

Při hledání co nejvhodnějších technologických postupů pro opravu historických objektů se v případě vápenných pojiv uvažuje o vlivu technologie výroby vápenného pojiva na jeho kvalitu a následné funkční vlastnosti při využití ve stavbách, viz. také dřívější příspěvky autora [2, 3]. Ve specifických případech se dokonce uvažuje o kompletní výrobě vápenného pojiva „tradiční“ technologií, tedy včetně stavby vápenné pece. Nově postavených „tradičních“ vápenných pecí pro malosériovou výrobu vápenného pojiva v Evropě přibývá (obr. 7, 8). Určitým nedostatkem je, že zatím chybí objektivní zhodnocení a podrobnější výzkumu.

„Tradiční“ výrobou vápenných pojiv se od jara letošního roku 2011 začal zabývat projekt Calcarius, který si mimo jiné klade za cíl navrhnout a postavit vápennou pec pro malovýrobu vápenných pojiv a detailně se zabývat čtyřmi výše zmíněnými technologickými postupy, díky kterým se historické vápenné pojivo liší od v současné době velkovýrobně produkovaného. Rozbor problémů a výzkumné cíle jsou dále blíže specifikovány.



Obr. 7: Vápenná pec, Švýcarsko (foto Hughes)

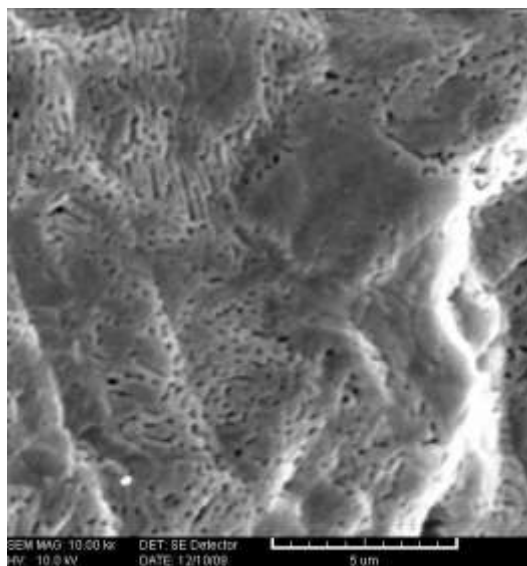
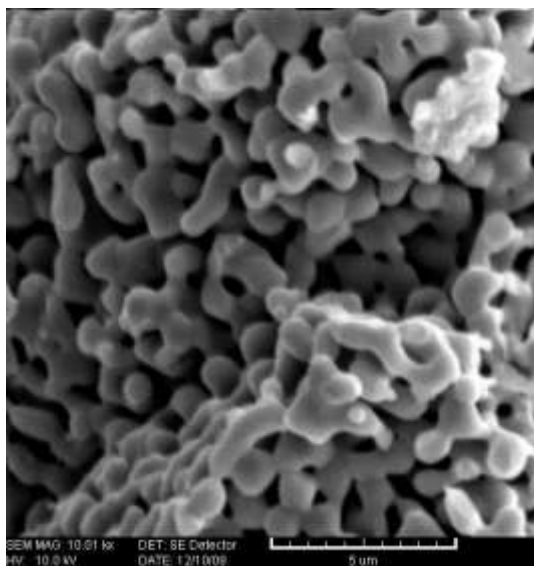
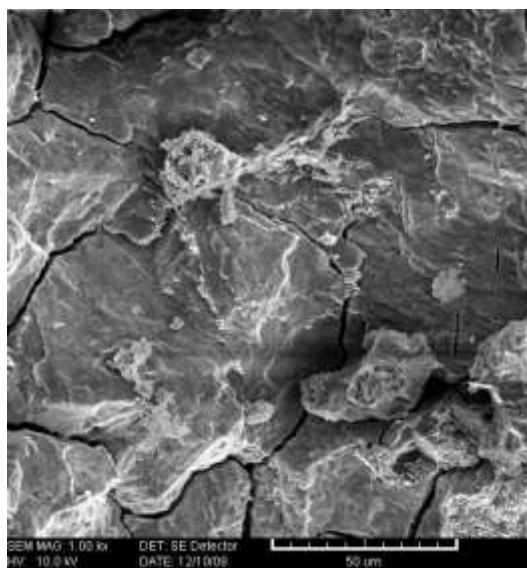
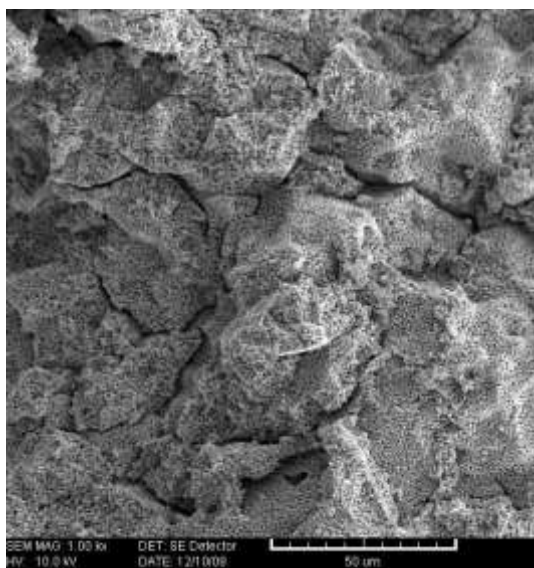


Obr. 8: Stavba vápenné pece v Rakousku [4]

### 3.1 Využití surovin obsahující jílové příměsi

V současné době, jsou u nás vyráběna pouze nehydraulická (vzdušná) vápenná pojiva. Na druhou stranu z analýz historických malt na našem území známe širokou škálu hydraulických vápenných pojivových systémů [5, 6]. V případě potřeby je dnes přirozeně hydraulické vápno dováženo ze zahraničí mj. Německa, Itálie či Francie.

Výroba přirozeně hydraulického vápna je spojena s dostupností vhodných surovin, které primárně určují jeho kvalitu. Dalšími významnými faktory jsou způsob výpalu a následné zpracování (hašení). Aplikovaný výzkum by se měl soustředit na výběr vhodných surovin, které u nás existují a byly by vhodné pro výrobu přirozeně hydraulických vápenných pojiv.



Obr. 9: Výpal dřevem, malá jednodávková pec, teplota výpalu cca 900 - 1100°C, 72h nad 900°C. Velikost vsázky 50-300 mm v průměru.

Obr. 10: Výpal plynem, rotační pec, teplota výpalu cca 1150°C. Doba výpalu – několik hodin. Velikost vsázky 10-20 mm průměru.



### 3.2 Použití dřeva jako paliva a způsob výpalu

Tradičním palivem pro kalcinaci vápence bylo v minulosti dřevo, které bylo později nahrazeno uhlím a dalšími palivy. Výpal dřevem poskytuje tzv. dlouhý plamen, dosahuje nižších teplot a množství vzduchu proudící skrz pec je vyšší než při použití uhlí jako paliva. Výpal dřevem neumožňuje rovnoměrné rozložení teplot a efektivní kontrolu celého procesu. Hlavními kontrolními prostředky jsou četnost přikládání, množství paliva a průchod vzduchu. Vliv výpalu dřevem je jedním z parametrů, který není znám a přitom by výrazně mohl ovlivnit výslednou kvalitu vápna. Při použití dřeva se předpokládá produkce měkce páleného vápna. Na druhou stranu v tradičních pecích byly páleny poměrně velké kameny. Různé teplotní zóny a dlouhé rezidenční časy (výpal obvykle trval cca 5 dní) by naopak nasvědčovaly tomu, že se jednalo o velmi různorodou strukturu od tvrdě až po měkce pálené vápno.

Na obrázcích 9 a 10 jsou ukázány struktury povrchu vypáleného vápna při zvětšeních 1000x a 10 000x v SEM. Jedná se o stejnou původní surovinu při výpalu v tradiční vápenné peci, obr. 9 a v moderní rotační peci, obr. 10. Technologie a režim výpalu v rotační peci poskytuje poměrně přesnou kontrolu podmínek kalcinace a vápno je měkce pálené. Pravděpodobně vlivem rychlého přechodu teplot je vápenec protkán sítí trhlin, které ještě zvyšují rychlost reakce při hydrataci. Naopak struktura vápna z „tradiční“ pece vykazuje známky rekrystalizace a zvýšení objemové hmotnosti zbylého CaO po úniku CO<sub>2</sub>, tedy tvrdě páleného vápna [7, 8].

Zásadní výzkumnou otázkou je, zda-li má výpal „tradiční“ technologií v malosériové výrobě vliv na výslednou kvalitu vápna. Výzkum by se měl zabývat primárně výslednými pojivy, ale je zřejmé, že nelze vliv technologie oddělit od výsledných vlastností. Dřívější experimentální výpaly poukázaly na fakt, že ze stejných základních surovin je možno produkovat vápenné pojivo, které se liší od běžně komerčně prodávaného [9].

### 3.3 Hašení při nadbytku vody a uležení vápenné kaše

Hašení při nadbytku vody a uležení vápenné kaše je jedním ze známých technologických postupů, který byl využíván v minulosti. V současné době ale využíván není.

Obecně je kvalita hašeného vápna ovlivněna reaktivitou CaO; velikostí kusového vápna; množstvím, teplotou a čistotou (kvalitou) vody; a způsobem hašení. Reaktivita je kromě látkového složení ovlivněna strukturou původní suroviny a procesem výpalu (např. měkce a tvrdě pálená vápna). Porézní, měkce pálené vápno, hašeno při nadbytku vody by po uležení mělo poskytovat velmi kvalitní vápenné pojivo s vysokou plasticitou a retencí vody.

Kvalita vápenné kaše je popisována tvarem a velikostí shluků částic destičkovitého charakteru Ca(OH)<sub>2</sub>. Odležením vápenné kaše dochází k rozduřování na menší částice. Čím menší částice a naopak větší plocha povrchu tím je vápenná kaše kvalitnější [10]. Na efektivitu procesu uležení, tj. rozpad částic hydroxidu vápenatého či naopak formování shluků nanočástic Ca(OH)<sub>2</sub>, má vliv způsob hašení, který přirozeně souvisí i s výpalem a strukturou CaO po výpalu. Jak ukazuje studie [11], vápenná kaše z tvrdě páleného vápna měla nejlepší charakteristiky ihned po vyhašení. Během uležení došlo naopak ke zhoršení reologických vlastností. Výzkum reologických vlastností vápenné kaše ještě neposkytl zcela přesný návod pro optimální dobu zrání. Na druhou stranu jsou již známy mechanismy, které ovlivňují funkční parametry a způsoby jejich posuzování. Aplikovaný výzkum by se měl soustředit na zhodnocení změn během zrání pro vybraná vápna.

### 3.4 příprava malty z kusového vápna a písku

Z analýz malt a omítek je známo, že příprava malty probíhala v některých případech současně s hašením kusového vápna. Nehašené vápno bylo smícháno s pískem a bylo použito buď ještě teplé, nebo se nechalo odležet (dohasit). Uvážíme-li možnosti zpracování hydraulického vápna ve středověku, je tato metoda zcela logická a efektivní. Obzvláště u zděných staveb většího rozměru, jako jsou hradební zdi. Malty připravené touto metodou se vyznačují vyšší přítomností vápenných nedopalků [12,13]. Vápenné nedopalky s ohledem na charakter použití nebylo potřeba vybírat

Tato určitá historicko-technologická specifika přípravy malty měla vliv i na její výsledné vlastnosti (mechanicko-fyzikální vlastnosti) a vzhled. Při hydratační reakci může dojít k narušení kameniva a vytvoření pevnějších vazeb. Použití malt za tepla má výhody při zrychleném odparu vody a rychlejší nabytí pevnosti vyschnutím. Částečně vypálené kusy vápenců mohly být zdrojem pevnějších vazeb v pojivovém systému. Cílem výzkumu je zhodnocení potenciálních kvalit takto připravovaných malt.

## 4. Tradiční technologie – výzkum a využití pro opravu památek

Článek shrnuje poznatky o „tradiční“ výrobě vápenných pojiv, které jsou založené zejména na základě zkušeností z analýz historických malt a omítek. V článku jsou zmíněny čtyři technologické postupy, které byly v minulosti využívány, a které ovlivnily výsledné vlastnosti malt a omítek.

Hlavní nedostatky na trhu pro památkovou péči lze shrnout takto:

- hydraulická vápna byla v minulosti využívána v hojně míře a dnes nejsou výrobci v ČR produkována;
- vápenná kaše vyrobená tradičním způsobem, tedy hašením za nadbytku vody, není produkována (až na výjimky).

V článku je zmíněn projekt Calcarius [14], který se zabývá výzkumem tradičních technologií výroby vápna s cílem vyvinout teoretické zázemí pro malosériovou výrobu vybraných historických vápenných pojiv s ohledem na památkovou péči. Jak částečně vyplývá i z tohoto článku, kvalita vápenného pojiva je vázána nejen na surovinu, ale i na technologii výroby. Základem projektu je proto vyvinutí funkčního vzorku vápenné pece, který umožní alternativní výpal vápna oproti současným velkokapacitním vápenkám. Provoz experimentální vápenné pece by do konce roku 2015 měl umožnit:

- posouzení možností malosériové výroby různých vápenných pojiv pro památkovou péči;
- experimentální výrobu hydraulického vápenného pojiva;
- zhodnotit vlivy „tradičního“ způsobu výroby vápenných pojiv (např. výpal dřevem) a zpracování (uležení vápenné kaše) na výslednou kvalitu vápenného pojiva.

Dlouhodobým cílem tohoto výzkumu je podpoření oprav historických konstrukcí materiálem, který umožňuje co možná nevěrohodnější provedení opravy. Využití místních surovin a tradiční technologie zpracování vápna a příprava malty je zásadní pro uchování materiálových, historických a estetických hodnot našeho kulturního dědictví pro další generace.

## 5. Poděkování

Příspěvek je výsledkem řešení projektu Tradiční vápenné technologie historických staveb a jejich využití v současnosti (identifikační kód DF11P01OVV010)

podporovaného Ministerstvem kultury ČR v rámci Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity (NAKI).

## 6. Reference a odkazy

- [1] Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S. Composite materials in ancient structures, *Cement and Concrete Composites*, vol. 27/2 2005, s 295-300
- [2] Válek, J., Vápenná malta pro opravu historických staveb - návrh na základě "kopie" původní malty, *Sborník z Vápenického semináře 2009, Hnánice u Znojma 19-20.11.2009, VÚSTH Brno, 2009, s. 57-66.*
- [3] Válek J.: Studium historických malt – inspirace pro výrobce vápna, *Sborník IV. Vápenického semináře, 25.-26.11. 2010, Olomouc, VÚSTAH, Brno, 2010.*
- [4] Pec - <http://www.geroldulrich.com/?p=43>
- [5] Hošek, J., Losos, L. (2007) *Historické omítky. Průzkumy, sanace a typologie.* Grada Publishing, a.s., Praha.
- [6] Zeman, A., Válek, J. (2009) Characterisation of pre-romanesque and Romanesque mortars from Prague castle. *Sborník z 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 15-18.9. 2009, Dortmund, 501-507.*
- [7] Hoegewoning, S., Wolter, A., Schmidt, S.O., Dependence of hard burn potential on limestone properties (Part 1), *Materials Science, ZKG international, No.6, volume 61, 2008, s. 54-59*
- [8] Hoegewoning, S., Wolter, A., Schmidt, S.O., Dependence of hard burn potential on limestone properties (Part 2), *Materials Science, ZKG international, No.7, volume 61, 2008, s. 84-93*
- [9] Hughes, J.J., et al., Practical application of small-scale burning for traditional lime binder production: skills development for conservation of the built heritage, *13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, July 4-7, 2004.*
- [10] Elert, K., Rodriguez-Navarro, C., Pardo, E., Hansen, E., Cazalla, O., Lime mortars for the conservation of historic buildings, *Studies in Conservation, Vol. 47, No. 1, pp.62-75, 2002.*
- [11] Ruiz-Agudo, E., Rodrigues-Navarro, C., *Microstructure and Rheology of Lime Putty, Langmuir 2010, 26 (6), s. 3868 – 3877, DOI 10.1021/la903430z*
- [12] Válek, J., Zeman . A.: Lime particles in hot mixed mortars: characterisation and technological links, *Sborník 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 15.-19. Zář 2009, Dortmund, Germany.*
- [13] Elsen, J. (2006): 'Microscopy of historic mortars – a review' *Cement and Concrete Research 36. Pages 1416-1424.*
- [14] Tradiční vápenné technologie historických staveb a jejich využití v současnosti – [www.calcarius.cz](http://www.calcarius.cz) (stránky ve výstavbě).