

**Podle starého vzoru:  
rekonstrukce malt,  
sgrafit a štuků**

Jan Válek / Olga Skružná

Zuzana Wichterlová / Jana Waissarová

Jana Maříková-Kubková / Petr Kozlovcev







**Podle starého vzoru:  
rekonstrukce malt,  
sgrafit a štuků**

# OBSAH

Předmluva a poděkování

1. Úvod **6**

2. Výzkum materiálů a technik **10**

3. Materiály a technologie středověkých podlah **54**

4. Románské jádrové zdivo **80**

5. Technologická kopie renesančního sgrafita **102**

6. Technologická kopie barokního štuku **128**

7. Závěrečné poznámky **164**

O autorech **168**

## PŘEDMLUVA A PODĚKOVÁNÍ

Kniha je jedním z výstupů projektu nazvaného „Vápenné materiály pro restaurování a konzervování autentických prvků historických staveb“, na jehož řešení spolupracovali vědci z Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR a z Archeologického ústavu AV ČR v Praze společně s odbornými restaurátory. Hlavním cílem projektu, který se uskutečnil v letech 2016–2020, byla technologická podpora širšího využití tradičních vápenných technologií při péči o historické objekty, především při jejich restaurování a konzervování.

Úspěšnost projektu se odvíjela od úzké spolupráce mezi vědcem-technologem a uživatelem jeho analytických zjištění, v daném případě archeologem, pokud šlo o konzervaci archeologických nálezů, anebo restaurátorem, který se zabývá restaurováním vápenných malt a omítek. Ukázalo se, že spolupráce je v mnoha aspektech zásadní. Často se stává, že analytická zjištění sice přinášejí nové poznatky, ale neodpovídají na otázky, které si klade restaurátor.

Pro studium byly vybrány prvky historických staveb dochované v autentické podobě, které neprošly dalšími změnami během vývoje stavby nebo výraznými restaurátorskými zásahy. Kromě materiálového složení na nich lze zkoumat také dochované stopy použitých technologií – například postupů či nástrojů.

Text je strukturován do jednotlivých kapitol, které se zabývají výrobou materiálové kopie a experimentálním ověřením technologických postupů. Hlavní stať doprovázejí přidružené texty. Nastavení přístrojů, zajímavé doplňující experimenty, výsledky měření a analýz jsou popsány tak podrobně, že poskytují náhled do značně komplexního procesu výzkumu. Vzhledem k omezenému rozsahu knihy bohužel není možné představit všechna provedená měření. Předkládaný výběr slouží jako ilustrace výsledků, se kterými jsme při tvorbě materiálových a technologických kopií pracovali.

Za uvedenými informacemi stojí celá řada spolupracovníků, bez jejichž přispění bychom se neobešli a kterým jsme vděční za pomoc i cenné rady. Na archeologických poznatcích spolupracovaly Iva Herichová, Pavla Tomanová a Eva Stuchlíková. Za pomoc s laboratorním zpracováním vzorků jsme vděční kolegům Ditě Frankeové, Albertu Vianimu, Petře Mácové a Štěpánce Kučkové. Na experimentální části se výrazně podíleli Michal Šrůtek, Josef Jiroušek, Jiří Frankl, Kristýna Kotková, Michal Panáček a Zdeněk Kovařík. Průzkum historických konstrukcí by nebyl možný bez ochotné pomoci správců a majitelů řady objektů, zejména Bohumila Norka, Tomáše Horyny, Jonáše a Ráchel Krejčích. Za zpřístupnění archeologických památek pod Pražským hradem děkujeme Odboru památkové péče Kanceláře prezidenta, Petru Kroupovi a Petru Měchurovi. Během terénního výzkumu a vzorkování jsme se vždy setkali se vstřícnou pomocí, a zejména děkujeme obcím Slavonice a Nedvědice, Správě Chýnovské jeskyně, firmám Lafarge Zementwerke GmbH, Gypstrend, s. r. o., Českomoravský cement, a. s., a jmenovitě Františku Kučerovi, Johannesi Daulovi, Tomáši Krejčímu a Ladislavu Damaškovi. Při hledání historických pramenů a vhodných analogií nám pomohly rady a studie Martina Mádra, Radky Heislerové a Pavla Weissera.

Recenze textů od kolegů Pavly Rovnaníkové, Petra Chotěbora a Jany Michalčákové poskytly další odborné postřehy, které jsme vděčně zohlednili v konečných revizích a úpravách. Na výrobě knihy spolupracovala Irena Vítková, která se postarala o jazykovou korekturu textů, a Radka Svobodová, jež zpracovala předtiskovou korekturu. Vizualní a grafickou podobu knize vtiskl Petr Donát. Všem, kteří přispěli ke vzniku této knihy, a zejména výše jmenovaným, srdečně děkujeme.







**V** posledních desetiletích je ve stavebnictví možné sledovat zvýšený zájem o vápno. Souběžně s nabídkou nejnovějších technologií a pokročilých materiálů roste i zájem a společenská poptávka po přírodních alternativách šetrných k životnímu prostředí. Z tohoto důvodu je proto vhodné ohlédnout se zpět v čase a poučit se z historických

stavebních technologií, které nás provázejí již několik tisíc let. Všeobecně známým důvodem pro výzkum tradičních stavebních materiálů a technik je ochrana památek. Chceme-li chránit historickou architekturu a s ní spojená umělecká díla, je nutné umět rozpoznat hodnoty použitých materiálů a z nich vytvořených stavebních prvků. S tím souvisí i fakt, že v materiálech a stavebních technologiích se skrývá mnoho detailů, jejichž poznání nám umožňuje lépe pochopit minulost. Historické stavby jsou také přirozenou součástí okolí, ve kterém žijeme. Omítky staveb jsou tváří našeho urbanizovaného světa a přeneseně, aniž bychom si to nutně uvědomovali, spoluvytvářejí naši kulturní identitu. Zdánlivě nenápadná změna pak může ovlivnit, jak stavby vnímáme, a posunovat chápání estetických pravidel. V tomto kontextu se můžeme zamyslet i nad využitím vápenných technologií v moderním světě. V souhrnu lze říci, že podstatou zájmu o historické vápenné malty a omítky je jejich využití jako informačního zdroje a jako materiálu vhodného pro opravu památek, ale neméně důležité je i hledání cest, jak s tímto tradičním materiálem co nejlépe naložit v současnosti.

Vápno je neodmyslitelně spojené s vývojem staveb a architektury, je součástí většiny zděných historických staveb v našem okolí, a tak se zdá přirozené, že bychom mu měli rozumět a umět ho používat jako naši předkové. Ačkoli dnešní vědecké a technické poznání je velmi hluboké, řadě procesů v historických technikách nerozumíme. Právě kvůli změnám a pokroku ve stavebnictví zanikla potřeba

udržovat znalosti, které s sebou nesla tradiční řemesla, jako byly omítkářství a štukatérství. Invence, důmysl a zručnost našich předků umožnily ze základních složek – vápna, písku a vody – vytvářet funkční stavby i vzhledově estetické dekorace v různých stylech. Představu o univerzálnosti lze získat, porovnáme-li maltu ze základů středověkého mostu nebo pilíře římského přístavu s maltou jemných barokních dekorací. Malta středověkého mostu byla schopna vytvrdnout pod vodou a zajistit stabilitu a pevnost náročné stavební konstrukce po několik staletí. Naopak barokní štuky, modelované do rozličných tvarů, svým vzhledem úspěšně nahrazovaly ceněné kamenické prvky z mramoru. Na první pohled stejná vápenná malta měla různé vlastnosti, které se lišily díky použitým surovinám a brilantní řemeslné zpracování umožnilo těchto specifických vlastností plně využít. Spojení schopností rozpoznat kvalitu surovin a zručně je zpracovat umožnilo vytvářet hodnotné stavby a jedinečná umělecká díla.

Nahrazení starého novým je přirozený vývoj. Ve snaze o zachování vzhledu a materiálové podstaty dochází při opravách historických staveb k rozporu, který je důležité odborně posoudit. Problematiku lze vystihnout na příkladu nahrazení silně degradované vápenné omítky omítkou novou. Mají se použité materiály co nejvíce podobat původním? Musejí se používat historické způsoby zpracování? Do jaké míry je důležité zabývat se shodou a kompatibilitou mezi novým a originálním materiálem? Existují technické důvody pro použití speciálních malt, které mohou celkově zmírnit degradaci zdiva či celé stavby? Souhlasíme-li s použitím snadněji dostupných náhrad, musíme často akceptovat i změnu technických vlastností včetně částečné změny vzhledu. V takovém případě ovšem degradujeme autentičnost a estetiku spojenou s materiály a provedením umělecko-řemeslného díla. Zdá se, že použití materiálů a technik vycházejících z původního provedení může být v mnoha ohledech optimálním řešením za podmínky, že z hlediska kulturních, historických a památkových hodnot, které chráníme, nebude zavádějící. Je celkem pravděpodobné, že nová omítky, která se složením podobá původnímu materiálu, se bude vzhledově více blížit originálu a bude s ním materiálově více kompatibilní než omítky z moderní směsi. Zachování specializovaných materiálů a technik pro údržbu historických staveb je i současný cíl památkové péče.

Moderní pojiva nemohou vápno vždy plnohodnotně nahradit, jak zjišťujeme zejména tehdy, když chceme dosáhnout specifického vzhledu vápenných stavebních prvků. Je-li cílem optimální shoda, pak je nutné je detailně studovat a snažit se o vytvoření materiálové a technologické kopie. Technologickou kopií rozumíme postup, který následuje původní umělecké či umělecko-řemeslné dílo ve všech jeho aspektech. Suroviny pochází pokud možno z lokalit původních zdrojů a zpracovávají se historicky odpovídajícím postupem. Obdobně je nutné zohlednit i způsob mísení, nanášení, výběr a použití nástrojů. To vše, včetně odpozorovaného tvarosloví

z dochovaných autentických částí, by mělo vést k výtvarnému výrazu zkoumaného díla. Materiálová a technologická kopie vycházejí z originálu, který vznikl za určitých specifických podmínek. Tato jedinečnost předurčuje, že pro výrobu kopie jsou vždy potřeba detailní znalosti. Ty dnes nemáme běžně k dispozici a pro jejich poznání je nutné využít výzkumné a experimentální postupy, které mohou být poměrně náročné a obsáhlé. S ohledem na tento fakt je přesná technologická kopie vhodnou volbou pouze v ojedinělých případech. Při určité míře zobecnění ale může postup vést k materiálově kompatibilnímu návrhu oprav historických staveb. Neméně důležitým cílem je oddálení degradace historicky cenného prvku a zároveň napodobení vizuálního vzhledu původního díla.

Využití tradičních technik má oporu v mezinárodně uznávaných dokumentech pojednávajících o ochraně kulturního dědictví.<sup>1</sup> Při experimentálním výzkumu jsme se pokusili prozkoumat původní techniku vybraných děl a udělat kopii způsobem, který se bude co nejvíce podobat původní realizaci. Znamená to vytvořit technologickou kopii a ověřit, zda je maltová směs, určená pro opravu a navržená jako kopie původní, opravdu optimální. Zároveň jsme si již předem uvědomovali, že použité suroviny a jejich zpracování ovlivňují nejen materiálové vlastnosti jako takové, ale i vlastní výtvarné zpracování – plasticitu, způsob modelování, rytí, hlazení, tloušťku linek, barevnost i strukturu. Technologická kopie se tedy musí shodovat s originálem nejen po materiálové stránce, ale též estetické.

Výše zmíněná fakta vystihují záměr, který předcházel provedeným výzkumům a experimentům, a formují otázky, jež předkládaná publikace dále rozvíjí. Text vysvětluje, do jaké míry je možné popsat složení a charakter použitých materiálů při dnešní úrovni materiálového poznání, uvádí výsledky analýz a představuje interpretace dosažených výsledků z hlediska obecného poznání historických materiálů a postupů. Na dvou příkladech renesančního sgrafita a barokního štku je popsán postup experimentálního odvození původních technik. Cílem takto pečlivého rozboru je snaha upozornit na rozdíly mezi současnými a původními materiály, seznámit se zdroji původních surovin a jejich rozmanitostí, demonstrovat spojení mezi materiálem, jeho zpracováním a výsledným dílem a v neposlední řadě představit i proces odvození výrobních postupů na základě praktických experimentů. Publikace ukazuje cestu, po které je možné se vydat, je-li cílem výroba materiálové a technologické repliky originálu.

1 Např. Charta ICOMOS, Viktoriiny vodopády, 2003, čl. 3.7: „The choice between ‚traditional‘ and ‚innovative‘ techniques should be weighed up on a case-by-case basis and preference given to those that are least invasive and most compatible with heritage values, bearing in mind safety and durability requirements.“ Charta z Burry, 1979, čl. 4.2: „Při péči o významné hmotné doklady se dává přednost tradičním technikám a materiálům...“ Benátská charta, 1964, čl. 10: „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.“

## PRAMENY A EDICE PRAMENŮ

„Benátská charta – mezinárodní charta o zachování a restaurování památek a sídel“. Online. <https://www.icomos.cz/images/dokumenty/benatska-charta.pdf>.

„Charta ICOMOS – zásady pro analyzování, ochranu a stavební obnovu architektonických památek“. 1979. In Mezinárodní dokumenty o ochraně kulturního dědictví: I. Svazek, J. Poláková, 228–235, 2007. Praha: Národní památkový ústav.

„Charta z Burry“. 2003. In Mezinárodní dokumenty o ochraně kulturního dědictví: I. Svazek, J. Poláková, 106–127, 2007. Praha: Národní památkový ústav.

# Výzkum materiálů a technik



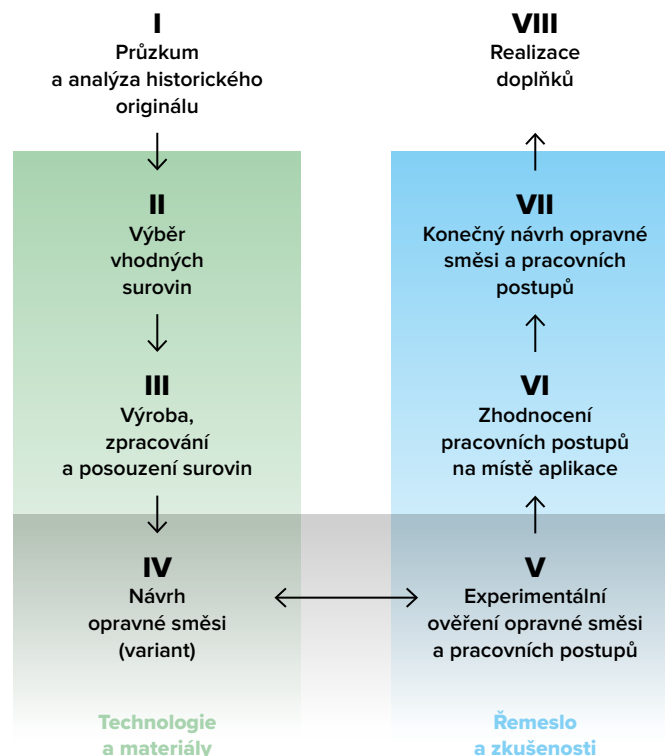
**S**tředobodem prezentovaného výzkumu je studium historických stavebních technik. Zkoumali jsme vztahy mezi materiály a tvůrčími postupy, abychom poznali, na jakých parametrech závisí kvalita realizovaného díla. Pro tyto účely jsme zvolili experimentální přístup založený na tvorbě kopie originálu, který umožnil detailní studium historických stavebních technologií přímo na konkrétních příkladech. Proces výzkumu popisují v následujících kapitolách čtyři případové studie. První dvě se věnují archeologicky odhaleným podlahovým konstrukcím a zdivu staveb z Pražského hradu, které dokládají unikátní rozvoj románské architektury na našem území. Představují ideální studijní materiál pro výzkum historických vápenných technologií, které se ve střední Evropě rozvíjely společně s tím, jak se rozšiřovala výstavba zděných stavebních konstrukcí. V těchto dvou případech se ještě přímo nejednalo o technologickou kopii, ale o experiment, jehož účelem bylo objasnit postupy zpracování maltových směsí. Ve snaze co nejvěrněji napodobit originál je výroba kopie náročná na použité technologie, které by se měly maximálně shodovat s historickými. Tomuto typu repliky odpovídá technologická kopie, která se uplatnila při experimentálním pokusu během dalších dvou případových studií.<sup>1</sup> Jelikož šlo o renesanční exteriérové sgrafito a barokní interiérovou štukovou výzdobu, bylo zřejmé, že podstatnou součástí se stanou také poznatky týkající se aplikačních postupů, řemeslného zpracování i výtvarného pojetí. Restaurování zmíněných děl navíc podnítilo úvahy o následném využití experimentálně získaných znalostí v praxi.

Při opravách historických staveb se obecně doporučuje vycházet z původních materiálů a technik, jelikož jsou uznávány jako památkově vhodné. V souvislosti s materiály a technikami, při nichž se využívá vápno a vápenná malta, vyvstávají při praktické realizaci poměrně zásadní otázky: Jsou původně použité materiály nebo jim podobné k dispozici? Jaké mají mít vlastnosti, umíme je správně stanovit? Známe původní techniky provedení dostatečně, abychom dosáhli podobného výsledku? Jednoduchá odpověď zní, že většinou máme k dispozici pouze moderní alternativy původních materiálů. Mohou se sice stejně nebo podobně jmenovat, ale vlastnostmi výrazně lišit. Panuje také názor, že původní postupy jsou již zapomenuty, popř. nejdou použít a obdobného vzhledu je možné dosáhnout i jinak. Souhrnně řečeno, při doporučení použít původní materiály a techniky se implicitně uvažuje o jejich současné alternativě, jelikož existují různé praktické limity, které je nutné dodržet, pokud se má oprava uskutečnit. Výzkum původního provedení může do

budoucnosti pomoci upřesnit, v jakém rozsahu je vlastně vhodné materiály a původní techniky replikovat.

Při výrobě technologické kopie se vycházelo ze současných znalostí, které byly dále rozvinuty, aby byla původní technika napodobena co nejdokonalěji. Výroba technologické kopie historické omítky, štukové dekorace nebo celého stavebního prvku ovšem nemá stanovená přesná pravidla, a proto byl vypracován vlastní postup. Uvedené schéma zohledňuje analytické výsledky rozborů, dostupnost materiálů a vzájemně propojuje materiálové vlastnosti navržených malt a ověření jejich funkčnosti ve vztahu k realizovanému dílu. <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Schéma postupu při výrobě materiálové a technologické kopie na základě studia originálu.



<sup>1</sup> Pojem technologická kopie je znám především jako způsob napodobování obrazů totožnou technikou a materiály.

## POSTUP PŘI VÝROBĚ TECHNOLOGICKÉ KOPIE

Výchozím bodem je detailní materiálový rozbor a znalost celkového kontextu sledovaného prvku. Následující řádky popisují použité metody, postupy a příklady jejich použití. Rozborem určené charakteristiky vymezily případné zdrojové oblasti a umožnily výběr adekvátních surovin pro zhotovení materiálové kopie. Dalším podstatným faktorem pro úspěšné provedení technologické kopie je znalost původních postupů výroby a zpracování pojiva. V tomto případě jsme se opřeli o teoretické i praktické znalosti nabyté výzkumem během předchozích let. Zpracování materiálů je ale též úzce spojeno s jejich použitím a pro další postup bylo nutné propojit relativně exaktní znalosti materiálů s experimentálním přístupem. Informace o použitých technologiích historických malt a konstrukcí bylo totiž možné zjistit jen částečně a ve velmi omezeném rozsahu, pro upřesnění dalšího postupu se stala experimentální fáze v podstatě nevyhnutelnou. Experiment zahájilo ověření použitelnosti navržené maltové směsi či jejích modifikací. V následujícím kroku již bylo možné přistoupit k realizaci kopie zkoumaného stavebního prvku. Kromě návrhu maltových směsí, které posloužily jako materiálové repliky, se při experimentu uplatnily především znalosti z restaurování historických děl a historických stavebních technologií. Při hodnocení alternativních postupů se osvědčily zejména praktické zkušenosti. Pokud je možné dosáhnout výsledku více cestami, je správná ta nejméně pracná a nákladná. Při práci s tradičními stavebními materiály též platí, že kvalita materiálu určuje kvalitu celého díla jen z poloviny. Pouze správnými technologickými postupy je možné využít vlastnosti navržené malty a vytvořit z ní kvalitní stavební dílo.

## POUŽITÉ METODY PRŮZKUMU

Materiálová analýza je poměrně účinný nástroj, který poskytuje velmi detailní vhled do složení, popřípadě fyzikálních vlastností materiálů. Pro správnou interpretaci výsledků je nutná znalost celku. Proto musí odběr malt a jejich analýze předcházet průzkum dané konstrukce, a to i v širším kontextu jejího vzniku. Důležitým faktorem je též možnost studovat a porovnat zkoumané stavební prvky v jejich autentické podobě. Předmětem širšího průzkumu se tak stává vyhledávání dobře zachovaných konstrukcí, které dosud nebyly opravovány či konzervovány. Na konkrétní konstrukci, která poslouží jako vzor, je nutné odlišit pozdější úpravy, degradaci a případně i dřívější restaurátorské zásahy. Poté následuje obeznámení se s celkovou situací, aby bylo možné stanovit místa odběru vzorků a upřesnit si otázky, na které bude detailní analýza odpovídat. Pak přichází na řadu sám materiálový rozbor. K popisu pojiva a plniva lze využít celou škálu známých analytických metod.<sup>2</sup> Výhodné je založit materiálový rozbor na optické a elektronové mikroskopii; společně s makroskopickým zhodnocením poskytují příležitost popsat a prozkoumat materiál podle jeho strukturního rozložení. Navíc je tak možné hodnotit i určité jevy spojené s výrobními technologiemi. Další metody, jako např. termická analýza, práškové rentgenová difrakce, rentgenová fluorescence, využívají homogenizovaného vzorku reprezentujícího odebraný materiál.

### PRŮZKUM IN-SITU

Pro pochopení skladby historické konstrukce a technologie její výroby je důležitá celá řada informací, jejichž rozmanitost je poměrně značná, proto se při jejich dohledávání musí vždy postupovat individuálně. Základem je využití stávající odborné literatury i případně existujících archeologických, stavebněhistorických, stavebnětechnických, restaurátorských a dalších specifických průzkumů. Důležité jsou též archivní rešerše historických pramenů týkající se stavebního vývoje a umělecké předlohy. Nabízejí též možnost získat informace o datu výstavby konkrétní části, jejích stavitelích a další stavebnětechnologické okolnosti jejího vzniku včetně původu surovin.

Ve zkoumaných případech se cíl vždy zaměřil na popis a dokumentaci autentické podoby studovaného stavebního prvku, tj. podlahové konstrukce, románského zdiva, renesančního sgrafita a raně barokního štuky. Vedle konstrukce, složení vrstev a povrchových

2 Groot, Ashall, Hughes 2007. Příklad již aplikovaného postupu je například uveden v Lesniaková et al. 2013, s. 232.

úprav se sledovaly i stopy dokládající použité stavební technologie, např. po nástrojích nebo nátěrové vrstvy. Zaměřovaly se a zakreslovaly všechny studované stavební prvky, pořídila se fotografická dokumentace. Následoval specificky zaměřený postup podle charakteru zkoumané konstrukce. Při průzkumu v terénu se uplatnily zejména následující metody:

### Pozorování v šikmo dopadajícím světle

Průzkum sgrafita v ostrém bočním světle poskytl relevantní podklady ohledně ryté kresby a stínování. Polohu světla je žádoucí měnit, ostré boční světlo pomáhá objasnit strukturu omítek, podpoří snadné rozlišení tenkých vyškrabávaných linií a odliší detaily od poškození. V bočním světle a za tmy se snadno přenáší dochovaná šrafura na plastovou pauzu. V bočním světle lze též pozorovat stopy po nástrojích.

### Pozorování v UV světle

Pozorování v UV světle pomohlo při detekci povrchových nátěrů, biologického poškození či předchozích obnov. UV záření posloužilo při průzkumu štukové výzdoby společenského sálu na zámku Červená Lhota k rozlišení původních a pozdějších nátěrů. Rozdílné fluorescence pigmentů v UV záření se následně využily i k odlišení doplňků od originálních prvků.

### Přenosné RTG snímkování

Mobilní RTG zářič byl využit při dokumentaci skrytých kovových výztuží.<sup>3</sup> U štukové výzdoby jídelního sálu tato metoda potvrdila velmi řídké využití kovových prvků pro kotvení větších tvarů.

### Snímkování termokamerou

Termokamera posloužila pro ověření, zda se jedná o plné, nebo duté modelace štukové výzdoby, a to na základě rozdílné rychlosti chlazení. Snímkování těla a hlavy putta doložilo, že jde o plný profil bez větších dutin.

## ODBĚR VZORKŮ

Malty se vzorkovaly s ohledem na minimalizaci zásahu do celku tak, aby bylo k dispozici reprezentativní zastoupení jednotlivých konstrukčních vrstev. Vzorky sestávaly ze soudržného kusu pro přípravu výbrusu (v řezu o rozměrech alespoň 20 × 20 mm) a dostatečného množství malty pro charakterizaci pojiva a plniva podle předpokládaných analytických metod (optimálně 50–100 g). Odebíranému vzorku byl přiřazen kód a místo odběru se fotograficky zdokumentovalo před vyjmutím malty a po něm. Dokumentace slouží nejen k evidenci

vzorku, ale je podstatná i pro navazující průzkumy a jejich pozdější interpretace.

Po odběru následuje zpracování v laboratoři. Vzorek se vyfotografuje a vytvoří se k němu průvodní zápis, který obsahuje přesné místo odběru, makroskopický popis a další dostupné souvislosti. Důležitou součástí zápisu je analytický plán. Podle něho se vzorek dále dělí na celistvé kusy vhodné pro mikroskopii, směsný vzorek reprezentující celkovou povahu malty, archivační a referenční části, případně, pokud se vyskytnou, na specifické částice, které je možné vyjmout a zkoumat samostatně, typicky technologické částice pojiva, uhlíky a odlišné kamenivo. Část směsného vzorku se využije pro separaci pojiva, z další části se stanovuje poměr rozpustné a nerozpustné složky malty ve zředěné kyselině octové nebo chlorovodíkové. Pro pojmenování vzorků se používá kódové označení stavby doplněné číslováním vzorků vzestupně podle odběru. Způsob označování upřesňuje **tabulka 1**. Doplňková písmena za číselným označením B a L označují separované pojivo a pojivo ve formě částic.

#### 1 DOPLŇKOVÁ OZNAČENÍ SPECIFICKÝCH ČÁSTÍ ANALYZOVANÉHO VZORKU

Popis	Označení vzorku	Postup získání vzorku
Vzorek separovaného pojiva	Připsáno písmeno B, např. PH 1B	Získá se jemným rozdužením vzorku (stačí zhruba 1–2 cm <sup>3</sup> ) v třecí misce. Vzorek se zpracovává tak, aby se co nejméně rozbila zrna, která tvoří plnivo. Poté jsou sítím oddělena zrna o velikosti menší než 63 μm. Získaná jemná frakce je považována za pojivo, které však obsahuje také jemnou frakci plniva. Množství plniva se liší podle složení, ale musí se s ním počítat při vyhodnocení.
Technologické pojivové částice	Připsáno písmeno L, např. PH 1L	Při zpracování vzorku se manuálně (pomocí skalpelu a pinzety) vybere pojivo ve formě kousků. Pokud je možné odlišit, zda jde o nedopálenou surovinu, nebo pouze o nerozmíchané vápno (tj. čisté pojivo), je třeba tuto charakteristiku uvést do poznámky.

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE

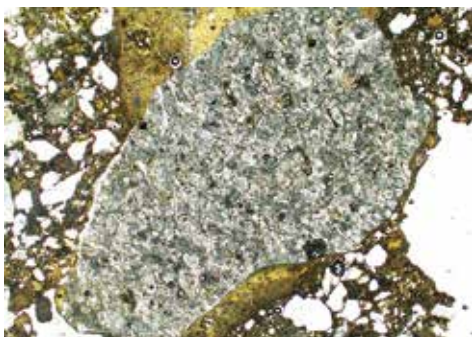
Optická mikroskopie (OM) je vhodná jako úvodní krok k popsání charakteru zkoumané malty, jejích vybraných vlastností a složení.<sup>4</sup> Jedná se o základní analytickou metodu určenou k mineralogickému popisu plniva a k charakterizaci základní pojivové hmoty včetně pórových prostor.

V optické mikroskopii se využívá standardní petrografický mikroskop pro pozorování horninových a materiálových vzorků, ze kterých jsou zhotoveny výbrusy či nábrusy. Nejčastěji se analyzují zakryté či nezakryté leštěné výbrusy se standardními rozměry sklíčka 4,8 × 2,8 mm. Vzorek materiálu umístěný na sklíčku je natolik zeslabený broušením, že je průhledný a dovoluje mikroskopické studium

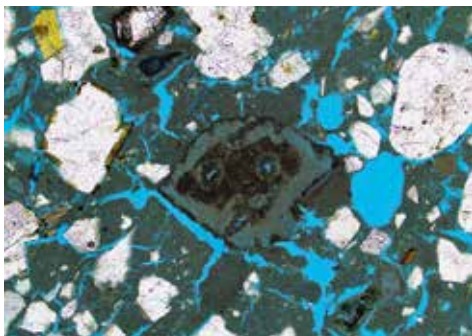
3 Weiss 2007.

4 Ingham 2011.

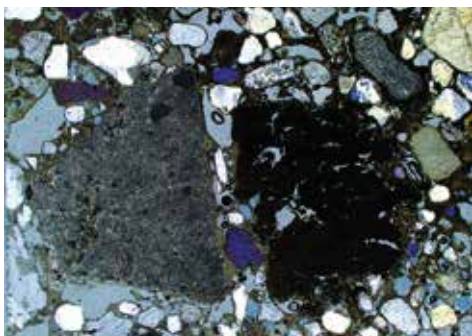
2 Úlolek nevypálené suroviny z malty románského zdiva, Pražský hrad, vzorek PH 3, PPL.



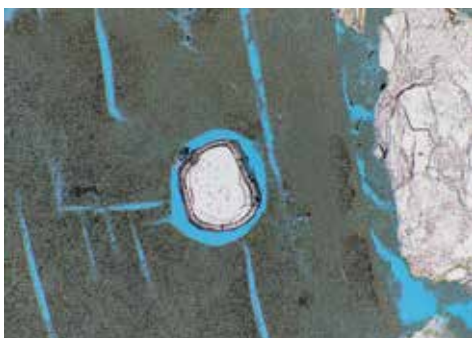
3 Částečně vypálený úlolek vápence ve svrchním vápenném štuku, zámek Červená Lhota, vzorek SCL 14 s modře obarvenou zalévací hmotou, PPL.



4 Rozdíly mezi nevypáleným úlomkem vápence a shlukem jemnozrnného pojiva ve vzorku malty, Mikulčice, vzorek ML 10, XPL.



5 Částečně natavené křemenné zrnko ve shluku jemnozrnné základní hmoty, svrchní vápenný štuk, zámek Červená Lhota, vzorek SCL 14, PPL.



v procházejícím světle.<sup>5</sup> Tloušťka výbrusů činí obvykle 0,03–0,04 mm. Řez vzorkem se záměrně dělá tak, aby vystihoval reprezentativní, či naopak zcela specifickou zájmovou oblast daného materiálu. Druhá polovina vzorku se v ideálním případě ponechá jako referenční materiál pro případné porovnání a další analýzy. Výbrusy je možné následně pozorovat v procházejícím světle bez zasunutého analyzátoru, tj. v přímém polarizovaném světle (PPL), nebo se zasunutým analyzátozem, tj. ve zkříženém polarizovaném světle (XPL).<sup>6</sup> V přímém polarizovaném světle lze zkoumat reliéf, tvar, barvu či štěpnost minerálních komponent, ve zkříženém polarizovaném světle navíc zhasnutí či interferenční barvy. Materiálové nábrusy je naopak možné sledovat pouze pod odraženým světlem. Jsou vhodné k popisu povrchových vrstev/nátěrů a posouzení jejich barevnosti. Nábrusy se připravují zalitím vzorku do epoxidové pryskyřice a následným vyleštěním povrchu.

**Instrumentace OM:** Optický mikroskop Olympus BX53M s procházejícím přímým a zkříženým polarizovaným světlem (PPL a XPL), případně s využitím odraženého kolmého (RL) nebo šikmo dopadajícího světla (IL). Fotografie jsou pořízené digitální kamerou Olympus DP 27. Snímky jsou analyzovány v softwaru Olympus Stream Essential.

Pomocí optické mikroskopie bylo možné u jednotlivých vzorků malt rozlišit základní pojivovou hmotu (matrici) podle charakteru použitého pojiva na kategorie vápenné vzdušné, vápenné hydraulické, sádrové, případně cementové. Obvykle se matrice historické vápenné malty skládá z jemnozrnného či hrubozrnného kalcitu, který vznikl při karbonataci vyhašeného vápna. Velikost a textura kalcitu závisí na podmínkách karbonatace.<sup>7</sup> Mezi kalcitovou maticí se u historických malt často nacházejí technologické pojivové částice. Tímto názvem označujeme relikty nedopálené nebo částečně vypálené suroviny, případně shluky nerozmíchaného pojiva. (2, 3) Pomocí optické mikroskopie jsou vzájemné rozdíly mezi těmito částicemi dobře patrné. (4) Tato metoda je jediným nástrojem, kterým se dá alespoň odhadem kvantifikovat jejich množství na mikroskopické úrovni. Podle jejich výskytu, velikosti a tvaru a podle struktury pojivové základní hmoty lze usuzovat, zda se pro výrobu malty použilo vápno ve formě hydrátu nebo kaše, či byla vyrobena přímým smícháním nehašeného vápna s pískem, např. jako horká malta. Jednoznačný indikátor technologického postupu ale neexistuje, jelikož vždy mohly existovat výjimky. Pro zpřesnění hypotézy je nutné kontrolovat, zda se zjištění shodují s popisem makroskopického vzorku i poznatky z průřezu in-situ.

5 Petránek et al. 2016.

6 Zkratky PPL, XPL, RL a IL jsou odvozeny z anglického popisu *plain polarised light, crossed polarised light, reflected light a incident light*.

7 Elsen 2006.



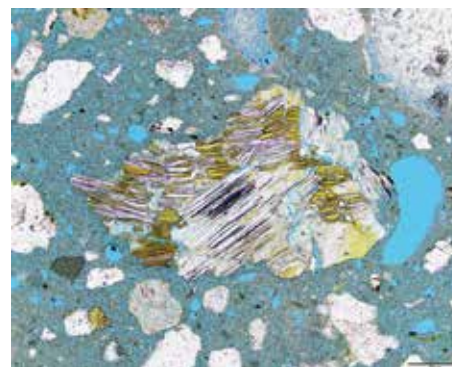
Podle charakteru některých přítomných pojivových částic je možné odhadovat okolnosti výpalu surovin. Nedostatečně vypálený vápenec je charakteristický pro teploty pod 900 °C, skelné částice jsou typické pro roztavená nebo jen částečně natavená křemenná zrna obsažená v metamorfovaných vápencích pálených při teplotách nad 1000 °C. (5) Pro síranové pojivo jsou typické anhydritové částice, které vznikají výpalem sádrovce nad 350 °C. (6)

Nevypálené nebo částečně vypálené vápenné úlomky lze pomocí optické mikroskopie petrograficky klasifikovat a podle mineralogického složení a struktury určit typ, v ideálním případě i oblast, odkud daná surovina pochází. Příkladem přínosu optické mikroskopie k určení proveniencí surovin je analýza nevypálených úlomků z malt historických objektů Pražského hradu. Z jejich petrografického vyhodnocení se zjistilo, že v maltách se vyskytuje dokonce několik různých typů vápenců pocházejících z nedaleké geologické jednotky Pražské pánve.<sup>8</sup> Konkrétně šlo o nálezy z přídolských vrstev silurského stáří a kotýských, sliveneckých, dvorecko-prokopských a zlíčovských vápenců devonského období. (7)

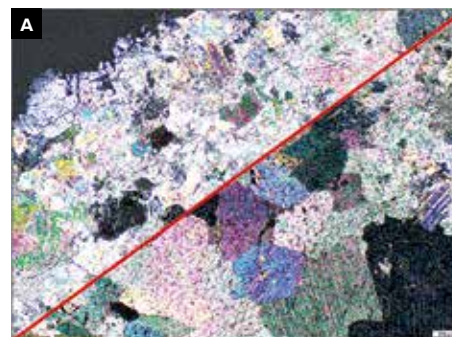
Kromě karbonátových komponent byl pomocí optické mikroskopie proveden detailní rozbor písků použitých ve vzorcích jako plnivo. Z mineralogického popisu a vyhodnocení tvaru zrn bylo možné rámcově určit, z jakého prostředí daný klastický materiál pocházel. Hlavními morfologickými znaky jsou zakulacení – sféricita – a zaoblení.<sup>9</sup> Zakulacení je ovlivněno výchozím tvarem minerálního zrna, zatímco zaoblení vyjadřuje stupeň opracování hran a rohů a je ukazatelem intenzity obroušování, tedy délky transportu daného klastu. Zaoblená zrna jsou typická pro fluvialní písků s delším transportním

8 Pražská pánev (Pražská synforma) je centrální část geologické jednotky nazvané Barrandien. Rozkládá se přibližně mezi Prahou a Plzní a její výplň tvoří převážně mořské sedimenty z období ordoviku až devonu.

9 Petránek et al. 2016.



6 Částice anhydritu, vnitřní sádro-vápenné jádro štukového ovoce, zámek Červená Lhota, vzorek LCL 8, PPL.



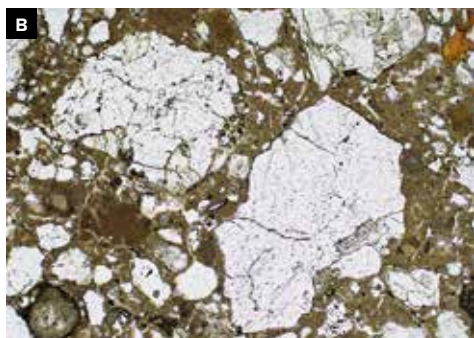
7 V děleném obrázku jsou vybrané příklady vápenců nalezených v maltách Pražského hradu (část nad úhlopříčkou) a charakteristické příklady daných typů vápenců (část pod úhlopříčkou). Slivenecký vápenec, vzorek z kostela Panny Marie, vzorek MHPB 1, vs. vápenec z lomu Radotín-Špička, XPL (A).



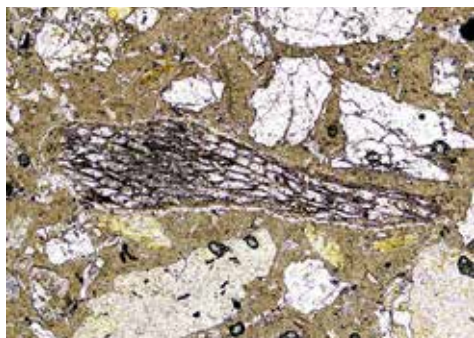
Dvorecko-prokopský vápenec, malta nalezená pod Jiřským náměstím, vzorek PHA 3, vs. vápenec z lomu Branické skály, PPL (B). Zlíčovský vápenec z románského hradebního zdiva Pražského hradu, vzorek PH 5, vs. vápenec z Prokopského údolí, PPL (C).



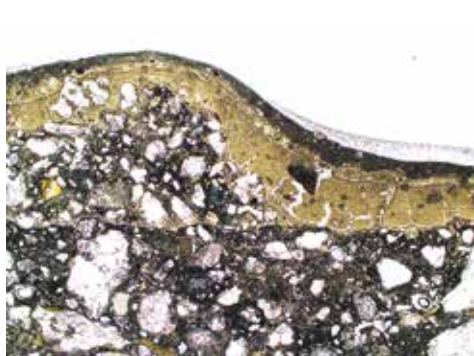
8 Příklady různých tvarů zrn zdokumentovaných ve vzorcích malt. Zaoblená zrna fluvialního písku, Pražský hrad, vnitřní jádro hradební zdi, vzorek PH 4, PPL (A). Ostrohranná zrna eluviálního původu, omítka domu č. p. 545 ve Slavonicích, vzorek OSL 2, PPL (B).



9 Úloмок dřeva nalezený v maltě ze štukového žebra, zámek Červená Lhota, vzorek SCL 7, PPL.



10 Vrstvy vápenných nátěrů na vzorku lepicí sádro-vápenné malty, zámek Červená Lhota, vzorek LCL 2, PPL.



procesem, zatímco ostrohranné klasty dokládají eluviální původ, rozdruzování horniny v místě vzniku a krátký transport. (8) Při stavebních pracích je též možné narazit na drčené kamenivo s typickými zrny s ostrými hranami. Pro kopaný písek jsou obvyklé jemnozrné příměsi, např. jílové minerály. Naopak písky přímo z řečiště neobsahují jemné jílové částice a při snosu z větší nebo geologicky rozmanité oblasti jsou často polymiktní, tj. obsahují horniny různorodého složení. Hodnocení písku na základě výbrusu by se mělo vždy shodovat s analýzou písku získaného po rozpuštění vzorku v kyselině.

Pomocí optické mikroskopie lze popsat pevné složky příměsí, které mohou pocházet z technologického procesu přípravy malty, jako jsou uhlíky, úlomky dřeva, sláma, drčené cihly, pálený jíl a jiné. (9)

Pro nátěry a vícevrstvé vzorky platí, že pokud je řez vzorkem veden přes více vrstev, lze v daném místě přesně charakterizovat jejich tloušťku a případně odlišné vlastnosti. Někdy lze v maltě i v nátěru odlišit jednotlivé vrstvy nanášení. (10) Samotnou barevnost nátěrových vrstev je vhodné určovat na nábrusech v odraženém, šikmo dopadajícím světle.

Z nábrusu/výbrusu lze podle proporčních etalonů odhadnout objemový poměr pojiva a plniva. Tento poměr sloužil zejména jako kontrolní údaj poměru mísení stanoveného z podílu rozpustné a nerozpustné složky malty. Obrazová analýza ani bodová kvantifikace nebyly v této studii využity. Optická mikroskopie však umožnila odhadnout efektivitu pojiva, tj. jeho distribuci, nebo přítomnost pojivových kusů. Obdobně mikroskopie napomohla při hodnocení tvaru a typu opracování písku. Jednotlivé frakce písku byly navíc posuzovány po sítové analýze nerozpustného zbytku, typicky cca 50 g písku, což tvořilo výrazně větší, a tudíž i více reprezentativní vzorek.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM-EDS<sup>10</sup>) představuje pokročilou analytickou metodu, která umožňuje zobrazení a studium prvkového složení objektů s velikostí nad 1  $\mu\text{m}$ .<sup>11</sup> Obvykle probíhá v návaznosti na optickou mikroskopii, přičemž umožňuje detailnější analýzu jednotlivých mikrokomponent. Vzorky pro elektronovou mikroskopii se zpracovávají ve formě horninových či materiálových výbrusů a nábrusů s leštěným povrchem. Povrch se upravuje pokovením, aby se zvýšila vodivost materiálu a odvedl negativní náboj, jenž vzniká na nevodivých plochách vzorků. Při pozorování se vzorek umístí do vakuové komory a vystaví proudu elektronů. Když se použije skenovací elektronový mikroskop, není elektronový paprsek statický, ale probíhá po vzorku a v jednom okamžiku pokrývá vždy jen jeho malou

<sup>10</sup> Skenovací elektronová mikroskopie s energiově disperzním spektroskopem.

<sup>11</sup> De Gree 2016.

plochu (rastruje). Výsledný obraz pak vzniká pomocí sekundárních nebo zpětně odražených elektronů, které umožňují pozorovat rozdíly v relativní průměrné atomové hmotnosti studovaných materiálů.<sup>12</sup>

**Instrumentace SEM-EDS:** Mikroskop TESCAN Mira II. Preparáty jsou po naprášení vrstvy uhlíku pozorovány za vysokého vakua v sekundárních a zpětně odražených elektronech. Mikroskop je vybaven mikrosondou od firmy Bruker, která umožňuje semikvantitativní bezstandardovou analýzu prvků (EDS).

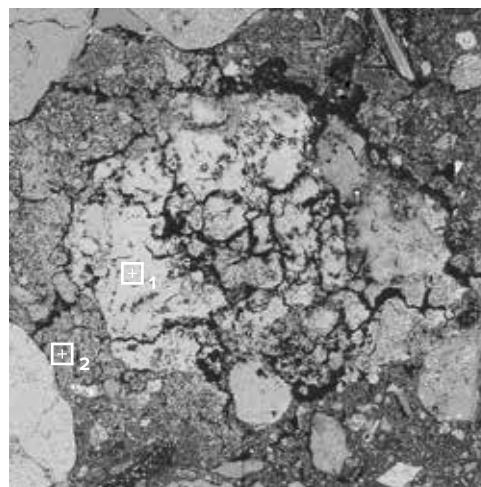
Skenovací elektronová mikroskopie je vhodná k ověřování špatně identifikovatelných komponent. Velkou výhodou je, že kombinace elektronového mikroskopu s energiově disperzním detektorem umožňuje dělat mikroanalýzy prvků během přímého pozorování, a tudíž lze ověřit chemické složení na vybraném místě vzorku. Tato metoda je proto velmi užitečná zejména při hodnocení hydraulických vlastností základní pojivové hmoty a pojivových částic. Z chemického složení lze vypočítat teoretický stupeň hydraulicity použitého vápna pomocí cementačního indexu.<sup>13</sup> Vzorec a klasifikace jsou uvedeny v **tabulce 2**.

## 2 VÝPOČET CEMENTAČNÍHO INDEXU A Z NĚJ ODVOZENÉ KLASIFIKACE HYDRAULICKÝCH VLASTNOSTÍ VÁPEN

$$CI = \frac{2,8 \times SiO_2 + 1,1 \times Al_2O_3 + 0,7 \times Fe_2O_3}{CaO + 1,4 \times MgO}$$

Cementační index (CI)	Hydraulické vlastnosti
0–0,3	Nehydraulické vápno
0,3–0,5	Slabě hydraulické vápno
0,5–0,7	Středně hydraulické vápno
0,7–1,1	Silně hydraulické vápno
> 1,1	Románský cement

Pro ilustraci použité metody je uveden příklad analýz vzorků malt z Pražského hradu, u nichž bylo možné dobře rozlišit základní karbonátovou hmotu a pojivové částice a provést chemickou analýzu. (11) Z těchto dat byl vypočítán příslušný cementační index a zhodnoceny hydraulické vlastnosti jednotlivých pojivových složek v maltách.



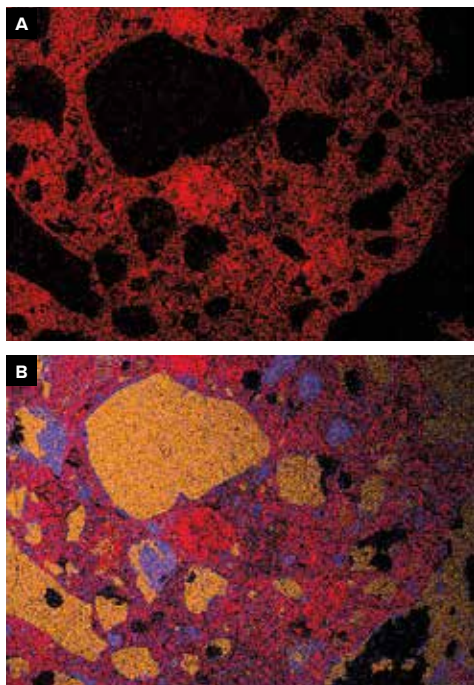
11 Vzorek historické malty Pražského hradu. Body označují místa provedených chemických analýz pojivové částice a základní karbonátové hmoty. Složení v tabulce je kvantifikováno a z určených poměrů je vypočten cementační index.

	Analýza 1 – pojivová částice	Analýza 2 – matrice
CaO	97,99	90,93
SiO <sub>2</sub>	1,91	6,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	1,38
MgO	–	0,19
Na <sub>2</sub> O	–	0,16
K <sub>2</sub> O	–	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	0,31
Suma	100,10	99,99
Cementační index	0,06	0,22
Hodnocení hydraulických vlastností	Vzdušné vápno, velmi čistá výchozí surovina	Vzdušné vápno, výchozí surovina slabě znečištěna

12 Goldstein et al. 1992.

13 Eckel 2005, s. 172–205. Kromě klasifikace hydraulických vápen zahrnuje cementační index i tzv. „přírodní cementy“, tj. vyráběné vypalem vápence bez předchozího mletí a míchání s jinou surovinou.

12 Prostorové rozložení hlavních prvků ve vybraném úseku vzorku malty z podlahy z Pražského hradu, vzorek PH 30. Rozložení vápníku Ca (červeně) (A); kombinace prvků Ca (červeně), Si (oranžově) a Al (modře) (B).



Kromě přímých bodových, liniových či plošných chemických analýz umožňuje instrument semikvantitativní kompoziční mapování. Tímto způsobem vznikly prvkové mapy vybraných výseků zkoumaných vzorků, které vystihovaly prostorové rozložení zájmových prvků. (12) Zvolená intenzita barvy na získaných snímcích odpovídá relativnímu zastoupení jednotlivých prvků.

V uvedeném postupu analýzám v elektronovém mikroskopu vždy předchází předběžné určení zájmových míst na základě popisu preparátu v optickém mikroskopu. Vysoké rozlišení dovoluje detailní analýzy, které ale musí být propojeny s celkem. Malty jsou kompozitní materiály a jejich složení může být podle okolností vzniku a použitých surovin značně heterogenní. Typicky je tak potřeba analyzovat více míst z různých částí preparátu. Pro hodnocení hydraulicity pojivové matrice nebo technologických částic na základě cementačního indexu je vhodné naměřit nejméně pět analýz pro jeden průměr. Složení prvků a cementační index je nutné dále porovnat s výsledky termické analýzy, případně rentgenové fluorescence. Při interpretaci cementačního indexu jako míry hydraulicity vápna je vždy zapotřebí uvážit, že ne všechny kvantifikované prvky jsou nutně součástí hydraulických vazeb. Nicméně pro kvalitní vápenické suroviny je cementační index pro hodnocení jejich stupně hydraulicity vhodnou metodou.

## TERMICKÁ ANALÝZA

Termická analýza (TA) se zakládá na měření hmotnostních změn během zahřívání vzorku, u historických stavebních materiálů většinou do 1000 °C. Pokud je známo chemické složení vzorku, je touto metodou možné identifikovat mineralogické fáze a stanovit jejich obsah.

**Instrumentace TA:** Přístroj SDT Q600 firmy TA umožňuje simultánní záznam signálu TG (úbytek hmotnosti), DTG (derivace úbytku hmotnosti) a DSC (tepelný tok) během ohřevu vzorku. Pro analýzu se do platinových kelímků navázilo zhruba 10 mg rozetřeného vzorku, který se spaloval ve vzduchové nebo v dusíkové atmosféře v rozmezí 25–1000 °C (případně 1200 °C) rychlostí ohřevu 20 °C za minutu. Výsledkem je termogravimetrická křivka, na obrázcích vyznačena červeně, modrá barva označuje její derivaci.

Pomocí termické analýzy lze vystihnout několik významných charakteristik maltových vzorků. Obvykle se testují vzorky separovaného pojiva (označení B) a vzorky pojivových částic (označení L). Endotermický rozklad kalcitu probíhá při teplotě v rozmezí 600–900 °C v závislosti na množství a velikosti krystalů.<sup>14</sup> (13) Pokud jde o dolomitické vápno, projevuje se dvojitým maximem na stejné teplotní škále. (14) Někdy dojde k úbytku hmotnosti vzorku při 550–670 °C a teprve po něm následuje pokles typický pro rozklad kalcitu. (15) Taková křivka se objevuje u jeho zvětralé formy nebo za přítomnosti dalších modifikací uhličitanu vápenatého (aragonit, vaterit).<sup>15</sup> Jak jsou jednotlivé píky zřetelné, závisí vždy na množství a poměru obsažených složek, jež vzájemně mohou do jisté míry ovlivňovat i teplotu rozkladu.

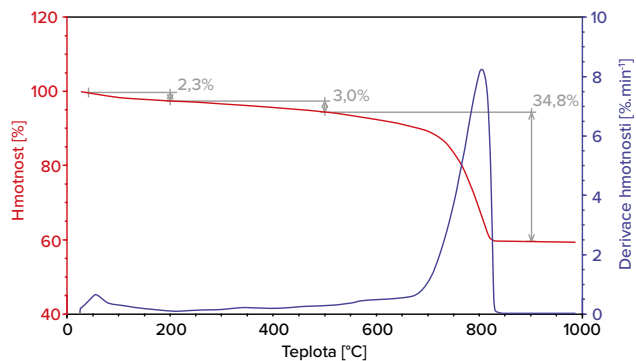
Podle množství kalcitu a hmotnostního úbytku při 200–600 °C lze uvažovat o míře hydraulicity daného materiálu. V této teplotní oblasti se ovšem také rozkládají některé minerály, jež pocházejí z kameniva nebo organických látek.<sup>16</sup> Organické příměsi či znečištění lze odhalit a v některých případech i úspěšně identifikovat v závislosti na jejich množství a případně stupni degradace. (16)

Dalším druhem pojiva, které je možné identifikovat na základě termické analýzy, je sádra. (17) Endotermická dehydratace sádry probíhá v několika stupních; nejprve sádra ztrácí adsorbovanou vodu (do 105 °C) a poté se ve dvou fázích zbavuje vody krystalické; nejprve se vytváří hemihydrát síranu vápenatého (zhruba do 175 °C) a pak bezvodý síran vápenatý ve formě nestálého anhydritu III (asi do 220 °C).

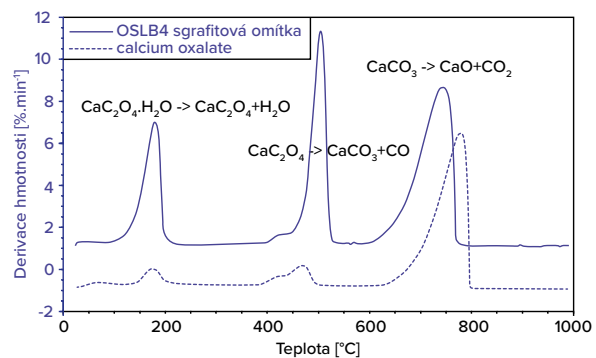
14 Földvári 2011.

15 Földvári 2011.

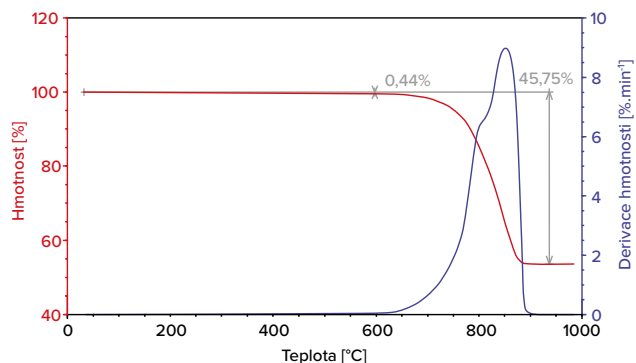
16 Rozklad minerálů se projevuje endotermickým efektem, zatímco rozklad organických látek (hoření) je exotermický děj. Tento rozdíl by byl pozorovatelný na křivce tepelného toku za přístupu kyslíku.



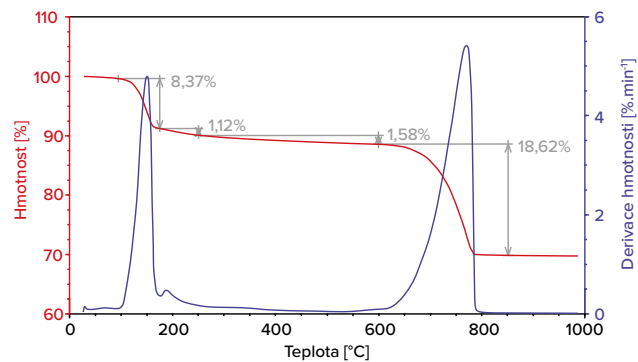
13 Termogravimetrická křivka vzorku pojivového kusu slabě až středně hydraulického vápna z malty románského zdiva kaple sv. Bartoloměje, Pražský hrad, vzorek PH 17L.



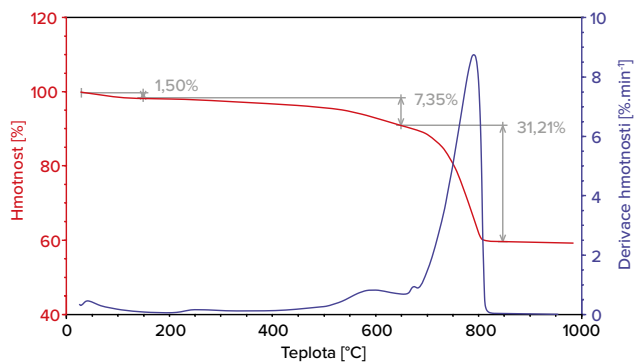
16 Identifikace organického znečištění pomocí termické analýzy. Porovnání derivačních termogravimetrických křivek (DTG) rozkladu vzorku povrchového nátěru ze slavnického sgrafita a šavelanu vápenatého, který byl v omítce přítomen jako produkt biologického znečištění.



14 Termogravimetrická křivka vzorku dolomitizovaného vápence z lokality Chýnov, vzorek VPH 3.



17 Termogravimetrická křivka vzorku sádro-vápenného pojiva lepicí malty štuků ze zámku Červená Lhota, vzorek LCL 1B.



15 Termogravimetrická křivka vzorku pojivového kusu slabě až středně hydraulického vápna z malty podlahy kaple sv. Bartoloměje, vzorek PH 30L.

Dehydratace je u konce zhruba při 250 °C.<sup>17</sup> Dále je možné pozorovat exotermický přechod na nerozpustný anhydrit kolem 350 °C.<sup>18</sup>

Pomocí termické analýzy lze také sledovat pucolánovou reakci, rozklad jejích produktů nastává při teplotách do 350 °C.<sup>19</sup> Ve studovaných maltách nebyly pucolánové příměsi detekovány.

## RENTGENOVÁ FLUORESCENCE

Výsledkem rentgenové fluorescenční analýzy (XRF) je prvkové složení vzorku, pro dané využití uváděné v oxidické formě přepočtené na hmotnostní procenta z celku.

**Instrumentace XRF:** Analytický přístroj EDXRF X-Supreme 8000 (Oxford Instruments). Prvkové složení se měří v atmosféře helia. Výsledek je vyjádřen ve formě oxidů v hm. %. Vzorky pojiva či surovin (asi 0,5 g) se před analýzou jemně namelou a získaný jemný prášek se vylisuje do tablet s kyselinou boritou. Druhý způsob úpravy vzorků spočívá ve vytavení perly. Vzorek s tavivem se smísí na elektrické odporové tavičce LeNeo Claisse v misce o průměru 40 mm v poměru 1 : 10. (Použité tavivo se skládá z 66,67 %  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 32,83 %  $\text{LiBO}_2$  a 0,50 % LiB.) Taví se při teplotě 1065 °C při programu Cement and Raw Materials.

V porovnání s výsledky bodového měření získanými pomocí analýz ze SEM-EDS poskytuje rentgenová fluorescence chemické složení celého vzorku v objemu, v této studii tedy vzorku suroviny (ozn. L) nebo pojiva malty (ozn. B). Spolehlivost výsledků závisí na přípravě vzorku a na správné kalibraci přístroje. Je třeba počítat s tím, že vzorek obsahuje poměrně velké množství uhličitanu vápenatého doprovozené uhličitanelem hořečnatým. Přítomný uhlík společně s vodíkem, který je zastoupen zejména ve fyzikálně a chemicky vázané vodě, nelze detekovat, neboť jde o příliš lehké prvky, a ty není možné tímto způsobem měření zachytit. Z tohoto důvodu se vzorek před analýzou vyžihá na potřebnou teplotu, pro uhličitany platí zpravidla 900 °C. Vyžihávaný vzorek se vylisuje do tablety s kyselinou boritou. Lepší homogenizace vzorku lze dosáhnout vytavením vzorku v tavičce.

Využití výsledků z rentgenové fluorescence je obdobné jako v případě mikroanalýz z elektronového mikroskopu. Lze je použít k posouzení hydraulických vlastností daného materiálu a slouží ke křížnému porovnání výsledků s termickou analýzou a práškovou rentgenovou difrakcí. Při interpretaci výsledků je nutné brát zřetel na skutečnost, že výsledkem je souhrnné chemické složení analyzovaného

vzorku. Na jednu stranu se může oproti elektronovému mikroskopu jednat o výhodu, protože nedochází k subjektivní separaci „zajímavějších“ částic. Na druhou stranu je u malt problematické odstranit všechny příměsi a analyzovat pouze základní pojivovou hmotu; díky variabilní kontaminaci nelze přesně určit skutečné množství oxidů, které jsou považovány za nositele hydraulických vlastností. Rentgenová fluorescence se dobře uplatňuje při analýzách čistých surovin, u kterých tento problém nevzniká, pokud se vzorek před zpracováním kvalitně očistí.

Na příkladu chemického složení vzorku malty z podlahy v kapli sv. Bartoloměje je možné přiblížit důležitost vzájemného porovnání výsledků z více nezávislých analýz. Ztráta žháním vzorku (separovaného pojiva), tedy množství uvolněné vody a oxidu uhličitého, činila 29,9 hm. %. U čistého uhličitanu vápenatého by měla být 44 hm. %; jde tedy buď o silně hydraulické vápno, nebo o vzorek silně znečištěný jemnou frakcí plniva. Pokud z chemického složení získaného pomocí XRF uvedeného v **tabulce 3** vypočteme cementační index, získáme hodnotu 1,5. V tom případě by šlo o velmi silně hydraulické pojivo, respektive tato hodnota výrazně přesahuje meze vhodné pro výrobu hydraulického vápna. Na výbrusu tohoto materiálu byl mikroanalýzou v elektronovém mikroskopu stanoven cementační index pro pojivovou matici i vápenné částice maximálně okolo 0,3, hodnoty typické naopak pro velmi slabě hydraulické vápno. Dalším vodítkem je porovnání s termickou analýzou, díky které je stanoven obsah 48 hm. %  $\text{CaCO}_3$  pro stejně zpracovaný vzorek, jaký byl použit pro XRF. Analýza tak potvrdila nízké zastoupení karbonátů v separovaném pojivu. Naopak pro vyjmutou pojivovou částici původní suroviny byl stanoven obsah 71 hm. %  $\text{CaCO}_3$  a jedná se tak o středně hydraulické vápno. Na základě analýz byl učiněn závěr, že separované pojivo obsahuje velké množství silikátových a jílových částic, které zkruslují vyhodnocení hydraulicity pouze na základě chemického složení a úbytku hmotnosti karbonátů během termického rozkladu. Při celkovém hodnocení je nutné brát v potaz nejen všechny získané hodnoty, ale je nutné zohlednit i jejich jednotlivá omezení.

**3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ NAMĚŘENÉ POMOCÍ XRF VYJÁDŘENÉ V OXIDICKÉ FORMĚ VZORKU POJIVA SEPAROVANÉHO Z MALTY Z PODLAHY V KAPLI SV. BARTOLOMĚJE, PRAŽSKÝ HRAD**

[wt. %]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl
<b>PH 30B</b>	0,02	1,28	5,38	19,07	0,04	0,16	0,03
[wt. %]	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO
<b>PH 30B</b>	1,27	39,85	0,4	0,01	0,07	2,48	0,03

17 Engbrecht, Hirschfeld 2016.

18 Adams, Kneller, Dollimore 1992; Freire et al. 2019.

19 Frankeová, Slížková 2016.

## RENTGENOVÁ DIFRAKCE

Rentgenová prášková difrakce (RTG) se používá při fázovém rozboru pevných krystalických látek. Je založena na identifikaci mezimřížkových vzdáleností na základě měření zesílených intenzit (difrakčních maxim) odraženého rentgenového záření.<sup>20</sup> Rentgenová prášková difrakce je určena ke stanovení obsažených mineralogických fází ve vzorcích malt, hornin a technologických částic, jejichž analýzou se určuje místo původu surovin.

**Instrumentace RTG:** Spektrometr D8 Bruker s měděnou anodou. Nastavení 40 mA a 40 kV. Úhlový rozsah je 5–80° 2 $\theta$  při kroku 0,01° 2 $\theta$  a rychlosti 0,04 s/krok. Před analýzou byl vzorek vždy jemně rozetřen na analytickou jemnost a homogenizován s vnitřním standardem (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NIST 676a). Standard byl přidán za účelem kvantitativní analýzy včetně zjištění množství amorfního podílu. Ke kvantifikaci fází včetně amorfního podílu posloužila Rietveldova metoda.<sup>21</sup> Minimální množství vzorku pro kvantifikaci obsahovalo asi 0,5 g jemně rozetřeného materiálu.

Mineralogické složení malt se určuje u vzorků separovaného pojiva.<sup>22</sup> Určené složení doplňuje ostatní analýzy a pomáhá ověřit správnost hypotéz z hlediska dalších stavebnětechnologických interpretací.

Jak již bylo řečeno, separované pojivo může částečně znečistit jemná složka plniva, což lze RTG analýzou postihnout a případně i zaznamenat její podíl. Výsledek analýzy pro vzorek z podlahy kaple sv. Bartoloměje, jehož prvková analýza je popsána výše, je uveden v **tabulce 4**. Vzorek poměrně silně znečistily fáze albitu, muskovitu, kaolinitu a mikroklinu, které lze s největší pravděpodobností přiřadit k plnivu. Za něj je patrně možné považovat i část oxidu křemičitého ve formě křemene. Pojivo tak lze pokládat za méně hydraulické, než se podle rentgenové fluorescence zdálo.

Pokud se do vzorku přidá specifické množství standardu, je možné z něj kvantifikovat amorfní podíl. Stanovení jeho složek však není běžnou součástí analýzy malt a interpretace z hlediska materiálového složení pojiva je tak obtížná. Kromě málo krystalického kalcitu obsahuje amorfní podíl také hydratované hydraulické komponenty, které nejsou při rentgenové analýze detekovatelné. Uvedený příklad analýzy pojiva vzorku z podlahy kaple sv. Bartoloměje neobsahuje hydraulické fáze typické pro přirozené hydraulické vápno. Lépe řečeno tyto fáze jsou ve formě hydratovaných gelů započítány jako součást amorfního podílu, jak vyplývá z výsledků ostatních analýz.

20 Fiala 1994.

21 Rietveld 1969.

22 Viz metodika odběru vzorků.

Množství karbonátových složek, tj. kalcitu stanoveného Rietveldovou metodou a CaCO<sub>3</sub> podle termické analýzy by mělo být z hlediska použití obou metod podobné.<sup>23</sup> Výsledky kvantifikace práškové rentgenové difrakce posloužily k výpočtu poměrů složek sádrovápenného pojiva v kombinaci s termickou analýzou.

### 4 MINERALOGICKÉ SLOŽENÍ VZORKU POJIVA SEPAROVANÉHO Z MALT Z PODLAHY V KAPLI SV. BARTOLOMĚJE, PRAŽSKÝ HRAD

Minerál	Chemický vzorec minerálu	PH 30B
Quartz	SiO <sub>2</sub>	11,2
Microclineintermediate	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,7
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	46,4
Albite	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,6
Muscovite-2M1	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	4,4
Kaolinite	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2,4
Amorfni podil	–	34,3

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ

Rozpouštění v kyselině se aplikuje na vzorky, u nichž je žádoucí odstranit rozpustnou karbonátovou složku a získat nerozpustný nekarbonátový materiál, a to buď za účelem dalších analýz, nebo zjištění poměru mezi pojivem a plnivem.

Před zkouškou se vzorek vysuší do konstantní hmotnosti při teplotě 60 °C. Poté se rozpouští v 10% kyselině octové podle své velikosti po dobu několika hodin. Rozpouštění je ukončeno, jestliže nenastala viditelná reakce, když se přidala koncentrovaná kyselina octová. Roztok se dále přefiltruje přes jemný filtrační papír (Munktell Ahlstrom 392) a pečlivě promyje destilovanou vodou. Vzorky, které obsahovaly sádru, byly rozpuštěny v kyselině chlorovodíkové (zředěné vodou 1 : 3) a přivedeny do varu asi na dvě minuty.<sup>24</sup> Po rozpouštění byl nerozpustný zbytek přefiltrován přes jemný filtrační papír a několikrát promyt destilovanou vodou do vymizení reakce na chloridy.

Zvolená kyselina ovlivňuje barevnost nerozpustného plniva. Kyselina chlorovodíková na rozdíl od kyseliny octové zrna písku zesvětluje. Když se z rozpouštění v kyselině stanovuje poměr vstupních surovin, musí se zkontrolovat nerozpustnost plniva a ověřit kvalita rozpouštění. Do složky pojiva se započítávají i pojivové shluky a technologicky nedokonale zpracované pojivové částice. Proporční množství těchto materiálů není možné vzhledem k jejich velikosti vždy dopředu určit, proto se obvykle zahrnují do rozpustné složky. Získaná

23 Pro uváděný příklad podlahy z kaple sv. Bartoloměje jde o 46,4 a 48 hm. % CaCO<sub>3</sub>. Více o rozdílu při stanovení CaCO<sub>3</sub> viz Válek, Skružná 2020.

24 Postup převzat z Middendorf et al. 2005.



**18** Základový pilíř odkrytý v archeologické sondě v podlaze kaple sv. Bartoloměje (A). Pražský hrad, vzorek PH 27 (B). Malta se jeví jako chudá na pojivo, ale vápno tvoří až několik cm velké shluky. Z odebraného vzorku je zřejmé, že vápna nebylo přidáno tak málo, jak se na první pohled zdá, ale při ledabylém promíchání během hašení s pískem se nevytvořila homogenní maltová směs.



nerozpustná složka v popisovaných studiích sestává pouze z očištěného písku. Při analýze uhlových sgrafit se písek od dřevěného uhlí dále odděloval plavením.

## PŘEPOČET NA POMĚR POJIVA A PLNIVA A NÁVRH MALTY

Návrh opravné směsi je výsledkem stanovení poměru základních složek, tedy pojiva, plniva a případně příměsí. Pokud se plnivo neskládá z karbonátů, je nejlepší poměr určit rozpuštěním vzorku originální malty v kyselině. Kontrolně je vhodné porovnat výsledek s odhadem učiněným během popisu pod optickým mikroskopem, kdy se sleduje zejména charakter pojiva včetně výskytu pojivových technologických částic.

Na určení poměru vápenného pojiva a plniva v maltě má vliv, že při rozpouštění pojiva nelze rozlišit jeho heterogenitu a hrubost. V důsledku toho jsou do něj zahrnuty i různě velké pojivové částice,

pokud se v maltě vyskytují. Čím hrubší pojivo, větší pojivové částice a jejich počet, tím vyšší vychází poměr ve prospěch pojiva. Stanovený poměr samozřejmě hmotnostně odpovídá původnímu dávkování, ale vlastnosti malty jsou zároveň ovlivněny i jeho formou, která se může výrazně lišit podle zvoleného způsobu zpracování. Formu je možné zjednodušeně materiálově popsat jako charakter a velikost částic. Charakter a velikost částic historického pojiva ale není snadné dostupnými metodami kvantifikovat, přestože zásadně ovlivňují vlastnosti malty a její použitelnost pro různé aplikace.<sup>25</sup>

Zpracování pojiva zanechává určité technologické stopy, které souvisejí i s výskytem pojivových částic. Ze studia originálu a jeho analýz lze o použitých technologiích uvažovat, ačkoli je nelze přesně stanovit. (18)

Pro návrh repliky malty je podstatné dodržet určený poměr a zároveň dosáhnout požadovaných vlastností včetně například výskytu pojivových částic. Z uvedeného rozboru vyplývá, že pokud máme k dispozici původní suroviny a dokážeme správně odhadnout technologii výroby malty, kterou hodláme následovat, je možné stanovený poměr pouze přepočíst podle hmotnostních poměrů mezi vyzrálým, tedy karbonatovaným vápnem ( $\text{CaCO}_3$ ) a vápnem ve formě, v jaké bylo použito, tedy nehašeným vápnem ( $\text{CaO}$ ), hašeným hydrátem či kaší ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). U hydraulických vápen je vhodné navíc zvážit korekci stanovené proporce podle míry znečištění surovin. Dávku vápenného pojiva je možné navýšit o neaktivní část suroviny.<sup>26</sup> Toto hmotnostní navýšení je však nutné zároveň odečíst od stanoveného plniva.

Bude-li se stanovená technologie výroby malty od původní lišit, může dojít k výraznému posunu ve vlastnostech připravené malty právě v důsledku odlišnosti charakteru a velikosti částic. Zkušenosti z provedených experimentů naznačují, že navrženou maltu lze uzнат jako vyhovující pouze na základě praktických zkoušek, které obnášejí i samotnou replikaci výroby studovaného prvku. V některých případech tak bylo během experimentálního ověřování nutné porovnat více způsobů zpracování vápna a přípravy malty.

Z hlediska výroby technologické kopie není příliš účelné se snažit dodržet přímo specifické vlastnosti surovin, jako je například velikost částic konkrétního pojiva, byť je z výše uvedeného popisu zřejmé, že je tento parametr podstatný. Ke kvalitě používaného vápna řemeslníci obecně přistupovali na základě vlastních zkušeností. Pro zjednodušení se vždy volilo mezi jeho hašením v nadbytku vody, na prach, případně hašením vápna s pískem se zohledněním typu surovin a množství technologických částic. Dávkování pak vyplynulo z konkrétního písku a typu aplikace.

<sup>25</sup> Velikost částic ovlivňuje zpracovatelnost, rychlost tuhnutí a tvrdnutí a výslednou pevnost malty. Charakter částic odleželé vápenné kaše zlepšuje její plasticitu.

<sup>26</sup> Například stanovením nerozpustného podílu nebo na základě termického rozkladu vápencových surovin.



Pro přepočítání na objemová procenta je nutné znát objemovou hmotnost kaše, hydrátu, kusového vápna, písku, obsah sušiny ve vápenné kaši a množství neaktivních částic (nehasitelný podíl) v kusovém vápně, pokud nejde o čistou kalcitickou surovinu. Při použití pojiva připraveného tradičním způsobem je vždy nutné stanovit zásadní parametry pro každý případ zvlášť. Například sypaná objemová hmotnost vápenného hydrátu může velmi kolísat vlivem různé míry kompaktnosti práškového materiálu, zbytkové vody a množství nehasitelného podílu. Objemové hmotnosti se musí stanovit až po přesítování na danou maximální velikost částic.

### **KVALITA POJIVA A VÝSKYT POJIVOVÝCH ČÁSTIC NA ZÁKLADĚ VÝBĚRU SUROVIN, POSTUPU VÝROBY POJIVA A PŘÍPRAVY MALTY**

#### **SUROVINY**

**Čisté sedimentární vápence** – poskytují velmi kvalitní vzdušné vápno, heterogenita a výskyt pojivových částic jsou dány kvalitou následného zpracování a skladování.

**Znečištěné sedimentární vápence** – kromě vápenného pojiva a hydraulických fází obsahují po výpalu další minerály, které je možné souhrnně označit jako neaktivní součást pojiva, jež tvoří nehasitelný podíl. Silně hydraulická vápna mohou mít až 40 hm. % neaktivních fází. Následnými technologickými kroky je možné tyto fáze redukovat na základě velikosti. U středně a silně hydraulických vápen není běžné hašení v nadbytku vody a vytřídění těchto fází je tak v zásadě možné jen přesátím po vyhašení na prach.

**Krystalické, metamorfované vápence** – obdobně jako u sedimentárních vápenců, ale kalcium-silikátové a další fáze se vyskytují již před výpalem. Při výpalu se taví křemičité sloučeniny a vytvářejí sklovité částice. Možnosti separace pojiva od technologických částic jsou stejné jako u sedimentárních vápenců.

#### **VÝPAL VÁPNA**

V tradičních jednorázových pecích na dřevo se běžně produkuje měkce až středně pálené vápno, které se dobře hasí. Na druhou stranu výpal vápna dřevem neposkytuje rovnoměrnou kvalitu výpalu, a tudíž ani vápna. Každá dávka takřka vždy obsahuje určité procento neúplně vypálené suroviny, která se projevuje jako nedopálené jádro v kameni. Při ručním zpracování, typickém pro vápenictví u nás asi do poloviny 19. století, kvalita vápna závisela dále na jeho výběru a návazném zpracování. Po výpalu bylo možné vápno vytřídít podle požadované kvality a zjevný nedopal odstranit. Jádra pouze mírně nedopáleného kamene se mohou rozpadnout a zůstávají v pojivu jako ostré hrubozrné částice.

#### **HAŠENÍ VÁPNA**

**Hašení v nadbytku vody.** Pokud probíhá v hasnici a vápno se dále přepouští přes síto, zpracování umožňuje separaci jemného pojiva od dalších technologických částic na základě velikosti a objemové hmotnosti. Hašení v nadbytku vody rovnou ve skladovací jámě dovoluje, aby se pojivo separovalo pouze na základě sedimentace. Nedopal a technologické částice mají vyšší objemovou hmotnost, a klesnou tudíž na dno jámy. Uležením vzniká vápenná kaše, která může obsahovat menší heterogenní částice, většinou o velikosti pod 1 mm, jež nebyly vytříděny sedimentací. Větší pojivové částice se v maltě připravené z vápenné kaše vyskytují v důsledku nekvalitního zpracování ve formě nerozmíchaných shluků.

V nadbytku vody lze efektivně hasit vzdušná až slabě hydraulická vápna, skladovat v jámě má smysl pouze vápna vzdušná. Vápno je možné po hašení v nadbytku vody smíchat s pískem a maltu nechat odvodnit a uležet i mimo jámu. Hašení tohoto typu probíhá v nádobě, kde se na dně shromažďují nedopálené a další technologické částice – jejich odstranění či ponechání závisí na zpracovateli.

**Hašení ponořením nebo kropením.** Při hašení v omezeném množství vody se kusové vápno rozpadá na prach – jemné pojivo. Větší částice a nedopal lze vytřídít přesátím přes síto. Pro malty z prachového vápenného hydrátu jsou tak typické menší pojivové částice asi do 5 mm. Hrudky se zaoblenými hranami vznikají lokálně, s vodou se při zpracování slepí. U přirozených hydraulických vápen se vyskytují i další minerální fáze, které se nerozpadnou při hašení. Velikost těchto částic odpovídá jejich charakteru, případně velikosti zvoleného síta.

**Hašení vápna s pískem a výroba horké malty.** V tomto případě se částice kusového vápna často udrží v celistvém stavu. Zachovají si pak do jisté míry strukturu původní suroviny, rozpadají se ostrým lomem a mají četné trhliny. Výjimkou nejsou ani zaoblené vápenné shluky. Tento způsob přípravy malty obecně nepodporuje jakékoli hromadné separování „nežádoucích“ částic.

#### **SKLADOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ**

Vápno se v minulosti prodávalo nehašené a v kusech. Vzhledem k jeho schopnosti reagovat s vodou, a to i ve formě vzdušné vlhkosti, muselo docházet k jeho částečnému hašení již během delší přepravy nebo skladování. Vznikal tak vápenný prach podobně jako při hašení kropením. Při dlouhodobém skladování nehašeného vápna dochází k postupné hydrataci a karbonataci. Pozvolné působení těchto procesů dokáže výrazně snížit reaktivitu vápna bez jeho rozpadu na jemné pojivové částice. Přítomnost karbonátových a dalších technologických částic tak nemusí nutně vypovídat o záměru použít určitý způsob hašení, ale pouze o využití staršího vápna a podmínkách jeho skladování.

### Přepočet výsledku rozpouštění na poměr pojiva a plniva

Poměr dávkování pojiva a plniva se určuje z poměru rozpustné a nerozpustné složky pomocí zjednodušeného modelu. Pokud vápno pochází z relativně čisté kalcitické suroviny, lze za veškerou rozpustnou složku považovat pouze uhličitán vápenatý ( $\text{CaCO}_3$  100 g/mol), který vznikl karbonací z hydroxidu vápenatého ( $\text{Ca(OH)}_2$  74 g/mol).

- Pro hmotnostní výpočet obsahu vápna jako práškového hydrátu ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) stačí obsah rozpustné složky vynásobit konstantou 0,74.
- Jestliže chceme vyjádřit množství vápenné kaše, musíme započítat množství obsažené vody. Získané množství  $\text{Ca(OH)}_2$  vydělíme předpokládaným obsahem sušiny, která se obvykle pohybuje kolem 50 hm. %.
- Třetí možností je nehašené vápno. Chceme-li pojivovou složku vyjádřit jako oxid vápenatý ( $\text{CaO}$  56 g/mol), při přepočtu násobíme obsah rozpustné složky 0,56.

U vzorků sádro-vápenné malty ze zámku Červená Lhota pojivo sestávalo ze směsi dvou složek, které se rozpustily v kyselině. Proto je k výpočtu použit jejich vzájemný poměr získaný z termické analýzy.

U obsaženého nerozpustného plniva je proces přepočtu jednodušší, jelikož se jedná o složku, která v čase nemění své chemické složení, tudíž ani související hmotnost a zpravidla ani objem. Proto lze veškerou nerozpustnou složku ve zjednodušeném modelu považovat za plnivo (písek, případně dřevěné uhlí aj.).

### SÍTOVÁ ANALÝZA A MINERALOGICKÁ CHARAKTERISTIKA PLNIVA

Další metodou používanou pro přesnější charakterizaci plniva malt je síťová analýza. Materiálem, který se pomocí této metody zpracovává, je nerozpustný zbytek po loužení v kyselině.

**Síťová analýza:** Nerozpustný zbytek se vysuší při teplotě 60 °C a přesítuje přes sadu standardních kruhových sít o průměru 125 mm a velikosti ok s hranou 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm. Písek se hodnotí pomocí optické mikroskopie v bočním osvětlení.

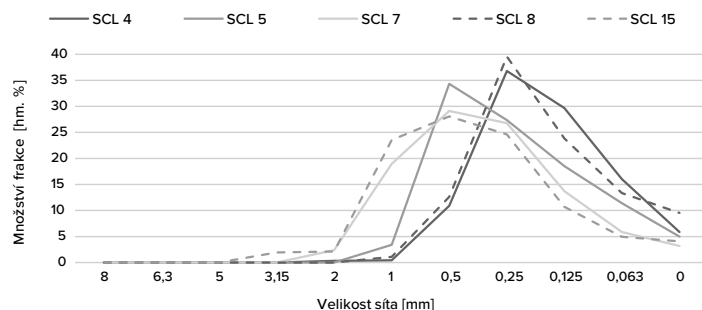
U plniva se posuzuje zejména mineralogické složení a velikostní distribuce zrn. Maximální velikost zrn a jejich granulometrie svědčí o možné úpravě použitého písku. Podle charakteru ostrohranosti a opracování plniva lze odvozovat jeho původ. Nízké či vysoké množství jemné frakce svědčí o dynamice prostředí vzniku a sedimentaci písku, tedy o jeho fluviálnímu původu. V některých případech může být jemný podíl navýšen o nerozpustné složky pocházející z pojiva, především s vyšším hydraulickým charakterem. Pro detailní pozorování a mineralogické rozlišení jednotlivých frakcí písků



19 Vybrané frakce písku po rozpouštění vzorku malty perlovce ze štukové výzdoby na zámku Červená Lhota, vzorek SCL 15. Zrnitostní frakce 0,063–0,125 mm (A), 0,125–0,5 mm (B) a 0,5–1 mm (C).

získaných loužením v kyselině posloužil optický mikroskop s bočním osvětlením. (19)

Při výzkumu autentických historických materiálů je častým problémem omezené množství vzorku. V případě jemnozrného plniva lze pro síťovou analýzu použít i relativně malé množství materiálu. U nevytříděných písků mohou náhodná větší zrna výpovědní hodnotu výsledku výrazně ovlivnit. Nedostatečné množství plniva je možné nahradit analýzou několika menších vzorků. Tohoto postupu se využilo při analýzách písků pocházejících ze štuků na zámku Červená Lhota. V tomto případě se analyzovalo několik vzorků o původní hmotnosti 10–20 g před rozpouštěním. Z následného rozpouštění



**20** Síťová analýza vzorků písků získaných rozpouštěním malty štukové výzdoby ze zámku Červená Lhota. Na grafu jsou zobrazeny granulometrické křivky písků ze štukových malých tvarů, vzorky SCL 4, 5, 8 a hrubší písek štukového žebra, vzorky SCL 7, 15.

v kyselinách se získalo 5–12 g písku. Výsledné granulometrické křivky dokládají výskyt jednotlivých zrnitostních frakcí ve studovaných vzorcích. **(20)** Za dostatečně reprezentativní množství lze považovat navážku okolo 60–100 g malty před rozpouštěním v kyselině.

## ANALÝZA ORGANICKÝCH PŘÍMĚSÍ

Z vyhodnocení předchozích metod lze u některých vzorků v historických maltách předpokládat, že obsahují organické příměsi nebo jsou organicky znečištěny. Identifikaci těchto příměsí komplikuje fakt, že jich je obvykle velmi malé množství, a navíc podléhají různému stupni degradace. K bližšímu popsání posloužily dvě metody: infračervená spektrometrie a nanokapalinová chromatografie.

Infračervená spektrometrie (FTIR<sup>27</sup>) využívá schopnosti molekul interagovat s infračerveným zářením. Díky infračervenému spektru studovaného vzorku lze identifikovat organické i anorganické látky. K správné interpretaci je potřeba získané spektrum porovnat s knihovnou spekter. Hlavní úskalí představuje detekční limit, který se pohybuje okolo 5 hm. %, ale může v závislosti na absorpci jednotlivých složek a jejich počtu ve vzorku kolísat od 1 do 30 %.<sup>28</sup>

**Instrumentace FTIR:** Infračervená spektrometrie byla využita pro zjištění chemického složení práškových vzorků. Měření pomocí této metody se uskutečnila na sekundárním modulu iZ10 FTIR mikroskopu iN10 (Thermo Scientific) technikou ATR ve spektrálním rozsahu 4000–525 cm<sup>-1</sup>. Práškový vzorek byl vždy nanesen na povrch

diamantového ATR krystalu, kde se následně naměřilo infračervené spektrum z celkem 64 skenů při použití spektrálního rozlišení 4 cm<sup>-1</sup>.

Druhou použitou metodou je nanokapalinová chromatografie v kombinaci s hmotnostním spektrometrem. Při této metodě se štěpí látky na ionty pomocí šetrné techniky (MALDI-TOF<sup>29</sup>), při které nedochází k fragmentaci molekul. Proto je možné identifikovat širokou škálu proteinů. Vyhledávání proteinů se uskutečnilo přes rozsáhlou databázi, která obsahuje proteiny pocházející od mikroorganismů (např. bakterií) až po savčí proteiny. Metoda neumožňuje identifikaci dalších organických látek (olejů, sacharidů, DNA),<sup>30</sup> zato je vhodná pro analýzu proteinů i ve velmi malých koncentracích, zhruba od 0,01 %.<sup>31</sup>

**Instrumentace MALDI-TOF:** Vzorky určené k měření pomocí nanokapalinové chromatografie byly po dobu dvou hodin štěpeny trypsinem. Pak byly přečištěny a zahuštěny na reverzní fázi C18 (Zip Tip). Poté se analyzovaly pomocí nanokapalinové chromatografie spojené s hmotnostním spektrometrem ESI-Q-TOF Maxis Impact. Peaklist ze změřených dat byl extrahován programem Data Analysis 4.1. Proteiny byly identifikovány za pomoci softwaru Mascot verze 2.2.04 vyhledáváním v proteinové databázi SwissProt, NCBI a MS/MS přesností přiřazení hmotností peptidových štěpů 0,05 Da. Měření na VŠCHT v Praze provedla doc. Štěpánka Kučková.

Pomocí analytických metod bylo možné odhalit přítomnost organické příměsi, ovšem přesné určení druhu je značně komplikované. Obvykle vyžaduje dlouhodobé zkušenosti a obsáhlou srovnávací databázi.

## ANALÝZA STABILNÍCH IZOTOPŮ

Při hledání zdrojového sádrovce využitelného na přípravu opravných sádro-vápenných štuků na zámku Červená Lhota, byla využita analýza izotopů síry ( $\delta^{34}\text{S}$ ) a stroncia ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ).<sup>32</sup> Tuto metodu lze aplikovat, když je zapotřebí rozlišit různá ložiska sádrovců odlišného stáří. Pro porovnání hodnot izotopů je však nutné srovnání s rozsáhlou databází výsledků ze zdrojových lokalit. Platí však, že pro mnohá evropská i světová ložiska lze dohledat hodnoty těchto stabilních izotopů v dostupné literatuře. V souvislosti s výzkumem štuků z Červené Lhoty a vyhledáváním náhradních surovin se k odlišení

<sup>27</sup> Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací.

<sup>28</sup> Derrick, Stulik, Landy 1999.

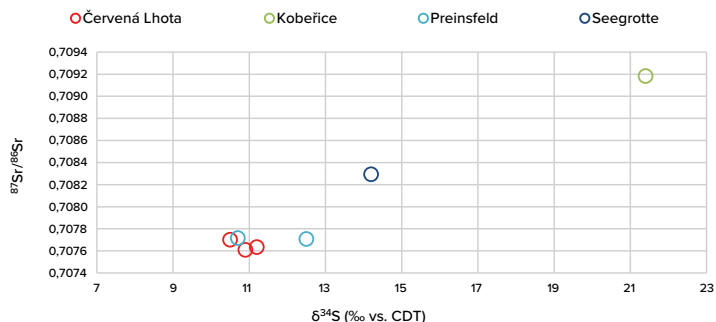
<sup>29</sup> Matrix assisted laser ionization v kombinaci s detektorem doby letu (time-of-flight).

<sup>30</sup> Kučková et al. 2018.

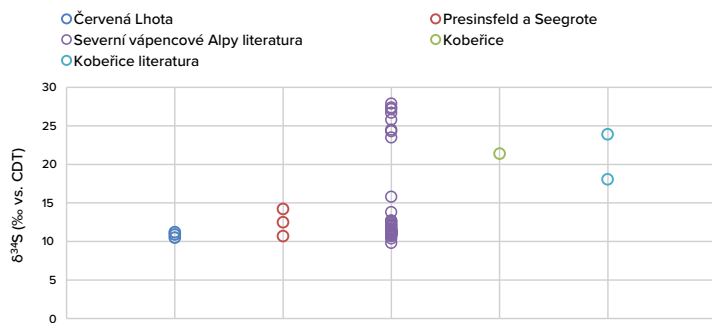
<sup>31</sup> Křížová et al. 2018.

<sup>32</sup> Gale et al. 1988.

## TECHNOLOGIE VÝROBY A PŘÍPRAVY SUROVIN



**21** Porovnání stabilních izotopů stroncia a síry ve třech vzorcích sádry ze štuků na Červené Lhotě se dvěma vzorky z Preinsfeldu, jedním vzorkem ze Seegrote a jedním vzorkem z Kobeřic.



**22** Porovnání získaných hodnot izotopů síry s hodnotami z literatury pro sádrovce z lokality Severní vápencové Alpy (Spötl, Pak 1996), která zahrnuje 45 vzorků včetně lomů v Preinsfeldu a Seegrötte, a z lokality Kobeřice (Peryt et al. 1997). V této studii byla pro skupinu analyzovaných vzorků z Kobeřic publikována pouze maximální a minimální hodnota poměru stabilních izotopů.

dvou nejbližších ložisek uplatnila analýza izotopů  $\delta^{34}\text{S}$  i  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . (21, 22)

Při rozboru vzorků pro izotopickou analýzu síry se nejdříve vysrážel nerozpustný síran barnatý ze vzorků malt rozpuštěných v kyselině. Vzorky pro stanovení poměrů stroncia byly rozpuštěny v 10% kyselině octové. Z nerozpustného zbytku se ručně vybraly kousky nerozpuštěné sádry a jejich složení bylo ověřeno na SEM-EDS. O stanovení  $\delta^{34}\text{S}$  i  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v získané sádrě se postaralo Oddělení stabilních izotopů České geologické služby.

Základní suroviny pro přípravu malty jsou známy takřka od nepaměti. Z vápna i sádry stavěly již starověké civilizace a jejich praktické poznávání a používání trvá již několik tisíc let. Z hlediska výrobních technologií se proto materiály podařilo velmi dobře poznat, stejně jako se povedlo popsat procesy, při kterých tvrdnou nebo degradují. Studium souvisejících chemicko-fyzikálních procesů je aktuální i v současnosti, kdy rozvoj vědy poskytuje nové možnosti hlubšího poznávání.

V praxi tak lze například využít exaktní znalosti týkající se složení suroviny a chemických reakcí, které řídí procesy výpalu vápna nebo jeho tvrdnutí, ale také již zmiňované a stále se zpřesňující analytické metody, které umožňují zpětně zkoumat i historické postupy a technologie. Následující řádky stručně popisují základní technologické principy, jež jsou podstatné pro studium historických pojmů a jejich replikace.

### VÁPNO

#### Charakterizace suroviny

Základní surovinou pro výrobu vápna je vápenec. Jedná se o sedimentární typ horniny, v jejímž složení převažuje uhličitán vápenatý. Metamorfózou z vápenců vznikají krystalické vápence neboli mramory. Ty se často poměrně značně liší od sedimentárních typů, což je dáno mineralogickými a strukturálními změnami, které nastávají následkem vysokých teplot a tlaků během metamorfických procesů.

K výrobě vápna se používají různé typy přírodních vápenců s rozdílným zastoupením nekarbonátových příměsí. Množství těchto příměsí určuje, zda je daná surovina vhodná k výrobě vzdušného nebo hydraulického vápna, a také postupy výroby těchto pojmů. Dolomitické vápno se získává ze suroviny obsahující ve zvýšeném množství oxid hořečnatý. Pro posouzení suroviny z hlediska vhodného způsobu výroby vzdušného nebo hydraulického vápna lze využít cementační index, který zahrnuje podstatné prvky, jež teoreticky mohou proniknout do reakcí během výpalu.

Vápence často vytvářejí jednotlivé vrstvy a souvrství. Pokud se vyznačují podobnými charakteristikami, označují se specifickým názvem, např. slivenecké vápence z pražského souvrství (stupeň prag) stáří spodního devonu. Poměrně často se stává, že se jednotlivé typy vápenců z různých lokalit zcela neshodují. Dochází u nich k variacím v chemickém složení, přičemž hlavní petrografické a strukturální parametry zůstávají zachovány. Po zpracování vápenců a mramorů

na vápno označujeme výsledný produkt podle použité suroviny např. jako vápno ze zlíčovského vápence nebo vápno z chýnovského mramoru.

Vzhledem k příznivým geologickým podmínkám se na našem území vyskytují ložiska vápenců relativně hojně. V dnešní době se těžba soustředí na větší ložiska a pro výrobu vápna se upřednostňují čistší vápence. Vzdušné vápno se totiž uplatňuje v široké škále odvětví. Méně čisté vápence slouží zejména pro výrobu cementu. Na rozdíl od minulosti se výrazně snížil počet lomů a variabilita surovinové základny. Podle údajů z mapování historických lomů se odhaduje, že lom na vápenec mohl být na našem území dostupný do vzdálenosti 40 km od každé stavby.<sup>33</sup> Možnost získat kvalitní surovinu na výpal vápna, případně si vybrat mezi několika typy, byla ovšem přirozeně omezena pouze na větší vápenické oblasti.<sup>34</sup>

### Výpal vápence

Vápenec se může vypalovat v zařízeních nejrůznějších konstrukcí, ať už v jednoduchých jámách, milířích, nebo v polních, kruhových, šachtových či rotačních pecích. Výpalem vzniká nehašené vápno, někdy též nazývané kusové, jelikož i po výpalu zůstane tvar kamene zachován. Pro historické vápenky je typická nerovnoměrnost výpalu a určité procento nedopálené suroviny.

Při výpalu čistého vápence s minimem příměsí, tj. při výrobě vzdušného vápna, nastává zahřátím suroviny na teplotu nad 900 °C chemický rozklad neboli kalcinace vápence. Uhlíčan vápenatý se rozkládá na oxid vápenatý a oxid uhličitý, který uniká do okolní atmosféry.<sup>35</sup> Podle dosažené teploty a doby jejího působení se rozlišuje měkce pálené vápno, které vzniká v teplotním rozmezí 900–1050 °C a vyznačuje se vysokou reaktivitou. Za tvrdě vypálené vápno se označuje takové, které má nižší reaktivitu a je typické pro provoz pracujících s vyšší teplotou výpalu. Vystavením vyšším teplotám po delší dobu může dojít i k přepálení vápna.

Při výpalu suroviny, která obsahuje nekarbonátové příměsí, tj. při výrobě přirozeně hydraulického vápna, dochází kromě rozkladu uhlíchanu vápenatého k reakci křemičitých, hlinitých a železitých složek obsažených ve vápenci s nově vznikajícím oxidem vápenatým.<sup>36</sup> Tyto reakce postupně nastávají již od teploty 600 °C.<sup>37</sup> Výsledkem jsou hydraulické minerální fáze, jejichž složení určuje vlastnosti hydraulického vápna.

33 Válek 2015A, s. 28. Calcarius – geodatabáze surovinových zdrojů a technologických zařízení pro výrobu a zpracování vápna. Dostupné na <http://www.calcarius.cz/gjs>.

34 Zejména oblasti Českého krasu, Moravského krasu, Železných hor, Chýnova, Strakonicka, Krkonoš a Podkrkonoší, Králického Sněžníku, Rychleb, Jeseníků, Tišnova, Kuřimi, Přerova, Hranic na Moravě, Štramberku a Mikulova.

35 Boyton 1980, Oates 1998.

36 Eckel 2005.

37 Lea 1970.

### UHLÍČITAN VÁPENATÝ, KALCIT, ARAGONIT, VATERIT

Základní složka vápenců, chemický vzorec  $\text{CaCO}_3$ . Vyskytuje se v různých mineralogických modifikacích, nejčastější jsou klencový kalcit, kosočtverečný aragonit a hexagonální vaterit.

### SEDIMENTÁRNÍ VÁPENCE

Vápence vznikají přímým vysrážením z roztoku, z kosterních elementů rostlin a živočichů vylučujících uhlíčan vápenatý, např. koráli, nebo nashromážděním nejrůznějších vápnatých úlomků. Nejtypičtějším prostředím vzniku jsou mělká teplá moře, ale vznikají též ve sladkovodním prostředí.

### KRYSTALICKÉ VÁPENCE NEBOLI MRAMORY

Metamorfovaná hornina, kterou tvoří převážně kalcit nebo dolomit, vznikla metamorfózou sedimentárního vápence. Mramory mohou být jemnozrnné až hrubozrnné, velikost krystalů roste se stupněm metamorfózy. Pro vápenné pojivo získané výpalem jsou typická kalcium-silikátová zrna a méně časté jsou i skelné částice.

### ČISTOTA SUROVINY, NEKARBONÁTOVÉ PŘÍMĚSI

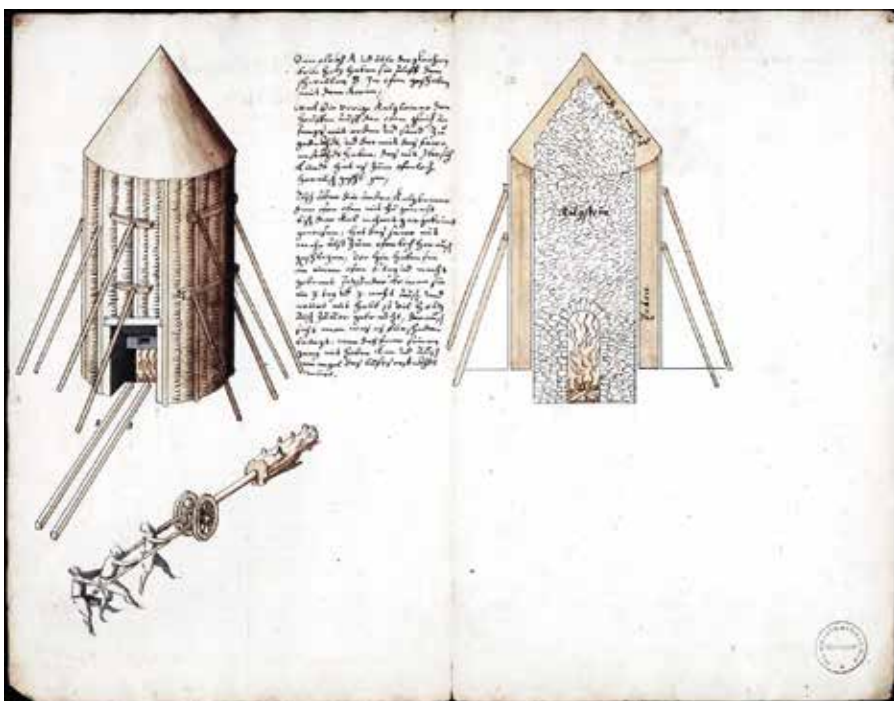
Čistota vápence, respektive přítomnost a množství nekarbonátových příměsí určuje vlastnosti vápna po výpalu. Ze stavebního pohledu je důležité rozdělení na suroviny vhodné pro výrobu vzdušného vápna a na ty, ze kterých je možné vyrobit hydraulické vápno. Hydraulické vápno se dá získat výpalem méně čisté suroviny, která se vyznačuje vyšším obsahem oxidů hliníku, železa a křemíku. Určující je poměr karbonátových a nekarbonátových složek, jejich charakter, velikost a distribuce. Za vysokoprocentní vápence se považují suroviny s obsahem alespoň 96 % karbonátové složky, z toho maximálně 2 %  $\text{MgCO}_3$ .

### DOLOMIT

Minerál, chemický vzorec  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Označení dolomit se užívá také pro horninu, která ho obsahuje více než 90 %. Přechod mezi vápencem a dolomitem tvoří dolomitické vápence.

### PŘÍMĚSI VÁPENCŮ

Nejtypičtějšímími příměsími vápenců jsou jílové minerály, s nimiž často vytvářejí přechody do slínů a slínovců, dále písčité příměsí, různé formy křemene  $\text{SiO}_2$ , zbytky organické hmoty a další minerály. Často jsou jimi pyrit, apatit, siderit, magnetit, sádrovec, živce, slídy a dolomit. Tyto příměsí mohou být ve vápencích jemně rozptýleny, typicky jílové minerály a křemičitá hmota, nebo tvoří heterogenní inkluze, shluky, výplně či povlaky.



23 Mobilní vápenná pec z proutí a zeminy ze stavby v Montbéliardu. Popis a kresba od Heinricha Schickhardta, kolem 1600. Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv Stuttgart. N 220 T 44. Trvalý odkaz <http://www.landesarchiv-bw.de/plink/?f=1-119086-2>

Uvedený způsob vypalování vápna je znám již od počátků rozvoje římského impéria.<sup>38</sup> Dá se předpokládat, že velmi podobným způsobem se vypalovalo po relativně dlouhé období, přibližně tisíc let, i na našem území. Vápno se tradičně páliło v jednorázových pecích, ve kterých se topilo dřevem. Pece se navzájem lišily velikostí a počtem topných kanálů, ale základní principy, které ovlivňovaly kvalitu vápna s ohledem na tento typ výpalu, zůstávaly po dlouhou dobu obdobné.<sup>39</sup> V oblastech, v nichž se postupem času dřeva nedostávalo, vápeníci jako palivo využívali dřevěné uhlí.<sup>40</sup> Výroba vápna se soustředila většinou u zdroje vápence a paliva, ale větším městům se vyplatila vlastní vápenka. Z archivních záznamů je známo, že se pece dočasně stavěly na náměstích nebo u významnějších staveb.<sup>41</sup> (23) Výraznější změny nastaly až během 19. století, kdy se dřevo postupně

nahradilo uhelným palivem. Vyšší poptávka a celková industrializace provozu následně změnila konstrukce pecí i vlastnosti vápna ovlivněné technologií výroby.

### Hašení vápna

Vypálené vápno se převádí na pojivo pomocí hašení. Dochází k němu při kontaktu čerstvě vypáleného nehašeného vápna s vodou, chemická reakce produkuje silné teplo a provází ji rozpad na drobné částice. V současnosti se vápno do maloobchodů prodává již hašené, jelikož v mechanizovaných a automatizovaných výrobních lize lépe celý proces kontrolovat, navíc transport spojený s manipulací nehašeného vápna představuje určité riziko, které je tak eliminováno. V minulosti se naopak vápno po výpalu rozváželo a následně se na staveništi ručně hasilo. Ručně je možné vápno hasit za mokra v nadbytku vody, nebo za sucha. Specifickým, historickým způsobem je hašení vápna spolu s pískem. (24)

Vzdušná vápna je výhodné hasit v nadbytku vody, kdy se výsledným produktem stává řídká vápenná kaše. Obdobně lze hasit i slabě hydraulická vápna, ale jejich použití je časově omezeno přibližně na dva týdny od vyhašení. Výsledkem suchého hašení s nízkým

38 Marcus Cato (234–149 př. n. l.) popisuje ve spisu De Agri Cultura, 38:1–4 výpal vápence, Kato 1959. Obdobný způsob výpalu je možné vysledovat ve střední Evropě až do 20. století, kde přetrvával v horských a méně stavebně rozvinutých oblastech, Válek, 2015A.

39 Válek 2015A, Válek et al. 2015B.

40 Dřevěné uhlí poskytuje vyšší výhřevnost, a navíc je díky nižší váze oproti dřevu jeho převoz výhodnější. Potřebu šetřit dřevo zmiňuje stavitel a architekt Heinrich Schickhardt působící v okolí Stuttgartu kolem 1600. Pozůstalost Heinricha Schickhardta, architektka a inženýra, N220. Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv Stuttgart.

41 Během obnovy po požáru Norimberku v 15. století stály dvě vápenné pece přímo na náměstí, Marinowitz 2012.

### **KALCINACE VÁPENCE (PROCES), VÝPAL VÁPNA**

Výpal vápna je endotermní reakce, při které se rozkládá uhličitán vápenatý na oxid vápenatý a oxid uhličitý.

*Hlavní reakce:  $\text{CaCO}_3 + \text{teplo (1764 kJ/kg)} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$*

Z hlediska hmotnostní bilance uvedené rovnice platí, že při úplném rozkladu  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CO}_2$  a  $\text{CaO}$  vznikne ze 100 kg  $\text{CaCO}_3$  celkem 56 kg  $\text{CaO}$  a také 44 kg  $\text{CO}_2$ .

### **NEHAŠENÉ VÁPNO, KUSOVÉ VÁPNO**

Vypálením vhodné vápenické suroviny vzniká nehašené vápno. Při styku s vodou dochází k exotermické reakci, k hašení vápna. Vzdušná nehašená vápna sestávají převážně z oxidu vápenatého a oxidu hořečnatého. Nehašená přirozená hydraulická vápna obsahují i další hydraulické minerální fáze. U přirozených hydraulických vápen se předpokládá možnost hašení, tzn. že musí obsahovat určitý minimální podíl volného vápna. V tomto případě definice vychází z tradičního zpracování vápna na pojivo pomocí hašení.

### **NEDOPAL**

Množství nedopálené suroviny závisí na efektivitě výpalu, tj. hlavně na zkušenostech vápeníka, ale také na druhu použité suroviny a procesu pálení. Nedopálený materiál lze částečně oddělit, když se vybírá pec, ještě před hašením vápna. Nedopálená surovina je nereaktivní a v maltě neplní funkci pojiva. Obsah nedopalu lze popsat zjištěním množství zbytkového  $\text{CO}_2$ , jehož stanovení požaduje také norma ČSN EN 459-1 u moderních vápen.

### **PŘEPAL**

Výpalem může na kontaktních zónách paliva a kamene vznikat přepálené vápno. Přepálené vápno je minimálně reaktivní a neplní funkci pojiva.

### **VZDUŠNÉ VÁPNO**

Vzdušné vápno sestává převážně z oxidu nebo hydroxidu vápenatého, který tvrdne na vzduchu reakcí s atmosférickým oxidem uhličitým.

### **HYDRAULICKÉ VÁPNO, PŘIROZENÉ HYDRAULICKÉ VÁPNO**

V tradičním pojetí se jedná o vápno vyráběné z jednoho zdroje výpalem více či méně zahliněných nebo křemičitých vápenců. Díky přítomnosti hydraulických minerálních fází mají schopnost, podle míry hydraulicity, tuhnout a tvrdnout pod vodou, čímž se odlišují od vzdušných vápen. Dnešní norma definuje kategorii přirozené hydraulické vápno, angl. natural hydraulic lime (NHL).

### **ROMÁNSKÝ CEMENT, „PŘÍRODNÍ“ CEMENT**

Vysoce hydraulické pojivo se vyrábí obdobně jako přirozené hydraulické vápno výpalem při teplotách 800–1200 °C ze zahliněných a křemičitých vápenců. Sestává z hydraulických minerálních fází a minimálního nebo žádného množství volného vápna, takže vypálený materiál není možné hasit a pro přeměnu na pojivo je nutné ho umlít na určitou jemnost. Tím se odlišuje od vysoce hydraulických vápen s nižším podílem hydraulických fází a nižším cementačním indexem. Specifické složení suroviny určuje způsob výpalu i výsledné vlastnosti pojiva. Typickou vlastností je vysoká rychlost tuhnutí a nabytí počáteční pevnosti. Existují ale i pomalu tuhnoucí „přírodní“ cementy.

### **HYDRAULICKÉ MINERÁLNÍ FÁZE**

Vznikají výpalem vápence s nekarbonátovými příměsmi. Mezi nejvýznamnější takto vzniklé složky patří křemičitan divápenatý, belit, mineralogicky larnit s chemickým vzorcem  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , zkráceným cementářským zápisem  $\text{C}_2\text{S}$ . Jeho přítomnost zásadně ovlivňuje proces tuhnutí, tvrdnutí a dosaženou pevnost pojiva. K dalším fázím formovaným při výpalu hydraulického vápna náleží hlinitokřemičitan vápenatý, gehlenit, s chemickým vzorcem  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)$ , zkráceně  $\text{C}_2\text{AS}$ , nebo hliňoželezitan vápenatý, tj. brownmillerit neboli celit, s chemickým vzorcem  $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$ , zkráceně  $\text{C}_4\text{AF}$ .

*Tyto fáze vznikají podle teploty a podmínek výpalu, které nemusí být v peci rovnoměrné. V přirozených hydraulických vápnech a románských cementech se například může vyskytovat v malém množství křemičitan trivápenatý, alit, zkráceně  $\text{C}_3\text{S}$ .*

*Zápis tvorby belitu:  $\text{SiO}_2 + 2 \text{CaO} \rightarrow \text{Ca}_2\text{SiO}_4$*

### **REAKTIVITA VÁPNA**

Stanovení reaktivity vápna se provádí laboratorní metodou, která spočívá v měření vzestupu teploty v závislosti na čase v průběhu hašení vápna. Rychlost hašení je výrazně vyšší u vzdušných než u hydraulických vápen. Kromě chemického složení ovlivňuje reaktivitu také teplota výpalu a čistota vody.

### **VÁPENNÉ ČÁSTICE**

Jde o druh pojivových (technologických) částic, které prokazatelně sestávají z oxidu, hydroxidu nebo uhličitanu vápenatého.



24 Historická ilustrace zobrazuje přípravu malty, okolí Norimberku, 1425. Typická je vysoká hromada malty a míchání motykou. Stavební dělník Cuncz Mortterrurer byl zvěčněn při výkonu své profese přípravě malty na památku díky Mendlově nadaci. Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen, Amb. 317,2 ° Folio 36 recto (Mendel I), odkaz <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317-36-r/data>.

přebytkem vody je práškový vápenný hydrát.<sup>42</sup> Na sucho je možné hasit všechny druhy vápen, ale tento způsob je vhodný zejména pro hydraulická vápna, která reagují pozvolna. Předpokladem je, že tento materiál po výpalu obsahuje dostatek volného vápna, aby se vyhasil a rozpadl. Během první poloviny 20. století se vyráběla i silně hydraulická vápna, která nebylo možné hasit pro velmi nízký, až nulový přebytek volného vápna. Před použitím se tato vápna pouze mlela

42 Hlaváč 1981.

na dostatečnou jemnost.<sup>43</sup> Označení takto silně hydraulického pojiva za vápno je otázkou klasifikace, lze jej též charakterizovat jako „přírodní“ nebo románský cement.<sup>44</sup> Pro pochopení historických technologií je podstatné, že mletí stavebních surovin je náročné a u vápen se zřejmě nepoužívalo, protože bylo málo efektivní, navíc bylo možné pro získání pojiva využít velmi jednoduchý a výrazně ekonomičtější proces hašení.

Před použitím hašeného vápna je dobré dbát na to, aby bylo hašení dokončeno a reakce již neprobíhala. Dále je nutné zjistit množství vody v kaši či zbytkové vody v práškovém hydrátu, maximální velikost částic a obecně posoudit kvalitu vápna a jeho vyhašení ve vztahu k jemnosti a vazným schopnostem. Aby se hašení dokončilo, nechává se vápno odležet, ať již jako kaše, nebo malta. Délka odležení závisí na aplikaci a typu vápna. Pro zdění je možné ho použít hned po vyhašení, naopak pro omítky je vhodné nechat vápno odležet i více dní. Výsledkem hašení vápna v nadbytku vody je řídká vápenná kaše. Přepuštěním vápna do jámy nebo odležením po smíchání s pískem je možné vodu redukovat. Důležitým faktorem je velikost částic, která ovlivňuje efektivitu pojiva a závisí na složení původního vápence, podmínkách výpalu a samém procesu hašení.<sup>45</sup> Částice o velikosti v řádu od jednoho až desítky mikrometrů tvoří hlavní složku běžného vápenného pojiva.<sup>46</sup> Větší částice jsou jako pojivo již méně efektivní. Většinou se vyskytují právě v důsledku složení méně čistých surovin a určité nedokonalosti technologických procesů, tj. výpalu a hašení. Na stanovenou maximální velikost je možné pojivo upravovat přesátím. Podle archivních účetních dokladů lze dovozovat, že se vápno přes síta přesávalo, popřípadě přepouštělo i v minulosti.<sup>47</sup> Po zavedení norem kvalitu vápna ve vztahu k jemnosti pojiva stanovil zbytek na sítu určité velikosti.<sup>48</sup> Z normovaného definování jemnosti je možné nepřímo odvozovat, že velikost částic vápenného pojiva má být menší než 0,09 mm, přičemž v omezené míře se toleruje i o něco hrubší frakce. S velikostí částic a kvalitou vápna souvisí i parametr známý jako vydatnost po hašení. Hašením a rozdužením na částice se navyšuje objem. Údaje o navýšení, tzv. rozmnožení vápna, sloužily k přepočtu na objemové dávkování zejména v dobách, kdy se prodávalo

43 Bárta 1961.

44 Za románské a „přírodní“ cementy jsou označována hydraulická pojiva, která vycházejí z patentů Jamese Parkera (Parker's cement, 1796) a pozdějších. Slovo přírodní se vztahuje k surovině, která se nachází v přírodě a pojivových schopností nabývá výpalem. Též Tišlová 2011.

45 Hlaváč 1981.

46 Válek 2015A.

47 Výdaje na nákup „síta k čištění vápna“ zmiňují například účty stavby svatovítské katedrály, Suchý 2003, s. 38 a v TAB. XVIII na s. 113.

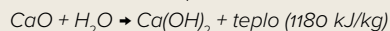
48 Podle ČSN EN 459-1:2015 musí pro všechny kategorie vzdušných vápen činit hmotnostní zbytek na sítu 0,09 mm ≤ 7 % a zároveň na sítu 0,2 mm ≤ 2 %. Pro všechny kategorie hydraulických vápen je stanoven hmotnostní zbytek na sítu 0,09 mm ≤ 15 % a zároveň na sítu 0,2 mm ≤ 5 %.



### HAŠENÍ (PROCES)

Jde o exotermní reakci oxidu vápenatého s vodou za vzniku hydroxidu vápenatého.

*Reakce volného vápna s vodou:*



Z hlediska hmotnostní bilance uvedené rovnice platí, že 74 kg  $\text{Ca(OH)}_2$  vznikne reakcí 56 kg CaO s 18 kg vody. K tomu, aby reakce proběhla úplně, je však potřeba větší množství vody, protože se vznikajícím teplem odpařuje.

### SUCHÉ HAŠENÍ, HAŠENÍ VÁPNA NA PRACH, VÁPENNÝ HYDRÁT

Vápno se na prach hasí buď tak, že se krátce ponoří do vody, nebo se kontrolovaně kropí. Vznikne vápenný hydrát, malé pojivové částice, jejichž maximální zrnitost lze upravit síťováním. Vápenný hydrát je možné připravit ze všech druhů vápenné suroviny. Musí se skladovat v suchých podmínkách, nejlépe bez přístupu vzduchu, jinak dochází k postupné karbonataci.

### MOKRÉ HAŠENÍ, HAŠENÍ VÁPNA V NADBYTKU VODY, VÁPENNÁ KAŠE

Hašením za mokra v nadbytku vody vzniká vápenné mléko, do formy vápenné kaše musí vápno dozrát odvodněním a sedimentací. Na vyhašení 50 kg kusového vápna je potřeba přibližně 130 litrů vody. Vyhašené vzdušné vápno je vhodné skladovat ve vápenné jámě, kde dochází k dohašení částic, odvodnění, sedimentaci a rozpadu portlanditu na menší destičkové krystaly. Kaši lze skladovat takřka po neomezenou dobu, je však nutné ji chránit, aby se nevysušila nebo nepřemrzla. Tento způsob hašení je vhodný pro vzdušné nebo slabě hydraulické vápno. Nesprávný postup hašení vede k horší kvalitě vápna. Příliš vysoká teplota a nedostatek vody způsobuje krupovitost. Náhlé ochlazení může reakci zastavit; na povrchu se vytvoří nepropustná vrstva a jádro zůstane nedohašeno.

### HAŠENÍ VÁPNA SPOLEČNĚ S PÍSKEM, HORKÁ MALTA

Hašení vápna společně s pískem je jednoduchý proces, ke kterému lze využít všechny druhy vápen. Produktem je horká malta (neboli hot mix), kterou lze aplikovat ve velmi čerstvém stavu (ještě horkou), nebo nechat několik dní uležet. Během uležení se do jisté míry rozpadají nedohašené částice. Výsledná malta se vyznačuje vysokým podílem pojivových částic, které mohou být velké až několik centimetrů.

vápno nehašené.<sup>49</sup> Vzdušné má oproti hydraulickému jemnější částice, menší podíl hrubších částic a vyšší objemovou vydatnost.

Vliv na velikost částic má odležení pojiva společně s vodou, při kterém se vytvářejí podmínky pro rozpad krystalů hydroxidu vápenatého na menší, tím se zvětšuje plocha povrchu pojivových částic, a tudíž efektivita pojiva.<sup>50</sup> Tradiční odležení vzdušného vápna ve vápenných jámách tak kromě dohašení částic, odvodnění kaše, sedimentační selekce podle objemové hmotnosti a vhodné formy dlouhodobého skladování umožnilo též získat pojivo s vylepšenými funkčními vlastnostmi. V praxi se odleželá vápenná kaše pokládá za jemnější, vaznější a vydatnější.<sup>51</sup>

### Tuhnutí a tvrdnutí vápenných pojiv

Z vápenného pojiva se připravuje malta s vodou a pískem, která po aplikaci tuhne a tvrdne. Tuhnutí je převážně fyzikální proces, při němž se během vysychání malta zpevňuje, ztrácí plasticitu a získává počáteční pevnost. Při tuhnutí začínají probíhat i chemické reakce, v jejichž důsledku tvrdne pojivo a nabývá výslednou pevnost a odolnost. Vápenná malta tvrdne přechodem pojiva do formy produktu karbonátce. Postupným zráním získává vyšší pevnost, potřebnou pro použití materiálu v konkrétní stavební aplikaci. Tuhnutí a tvrdnutí závisí na okolních podmínkách, které je možné a žádoucí do jisté míry ovlivňovat, aby malta dosáhla správných vlastností. Fáze tvrdnutí je oproti tuhnutí výrazně dlouhodobější proces.

Mezi vzdušným a hydraulickým vápnem dochází při těchto postupech k několika zásadním funkčním rozdílům. Vzdušné vápno tvrdne reakcí hydroxidu vápenatého s atmosférickým oxidem uhličitým. Z chemického hlediska se tak znovu vytváří uhličitán vápenatý. Tento děj se označuje jako karbonatace.<sup>52</sup> Karbonatace probíhá od povrchu dovnitř a její rychlost je ovlivněna difúzí oxidu uhličitého do struktury malty. Vzhledem k nízké koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu a specifickým podmínkám, které jsou pro reakce nutné, se jedná o relativně pomalý proces.<sup>53</sup> Ideální podmínky pro zrání malt ze vzdušného vápna jsou spíše vlhké s dostatečným přístupem vzduchu. Obvykle se relativní vlhkost vzduchu uvádí v rozmezí 40–80 %.<sup>54</sup>

49 Podle doporučení berounské vápenky z konce 19. století se koněpruské bílé vápno rozmnožovalo hašením na sucho 3,47násobně a při zmáčení 2,14násobně. Damišské hydraulické vápno se rozmnožovalo hašením na sucho 2,58násobně a při zmáčení 1,65násobně. Hošek, Muk 1989, s. 67–68.

50 Hansen, Rodríguez-Navarro, Van Balen 2008. Ruiz-Agudo, Rodríguez-Navarro, 2010. Boháč, Nečas 2016.

51 Janč, Kudrlička, Kytýr 1953, s. 77–81.

52 Škvára 1994.

53 Lawrence et al. 2006.

54 Cizer et al. 2012.

Hydraulické vápno obsahuje kromě hydroxidu vápenatého další, nově tvořené minerální fáze, které reagují s vodou. Vznikají tak jejich hydratační produkty, které postupně přecházejí jak do krystalické, tak do hydratované gelové formy.<sup>55</sup> Tyto složky vytvářejí vzájemně propojenou vnitřní síť a pevné odolné vazby. V materiálu navíc kromě hydratace dochází také ke karbonataci hydroxidu vápenatého, která se rovněž podílí na vzniku pevné struktury vytvrzené malty.<sup>56</sup> Hydraulická vápna jsou na rozdíl od vzdušných pojiv schopna tuhnout a tvrdnout ve vlhkém prostředí, silně hydraulická i pod vodou. Hydratace belitu, tedy hlavní složky přirozených hydraulických vápen, probíhá relativně pomalu. Měření pevnosti ukazují nárůst spojený s hydratací belitu přibližně po dobu jednoho roku. Vlhké podmínky zrání mohou upřednostnit hydrataci před karbonatací, příliš suché podmínky jsou nepříznivé pro obě reakce. Ve stavební praxi je nutné zajistit vhodné podmínky zrání, pro optimální karbonataci je nejčastěji uváděna relativní vlhkost od 40 % do 80 % a teplota kolem 20 °C. Pro zdárný souběh obou procesů je vhodné se přiklonit k vyšší hranici relativní vlhkosti okolního vzduchu. Občasné kropení v průběhu zrání může do porézního systému dodat vodu potřebnou pro hydrataci a zároveň aktivně podpořit karbonataci při transportních procesech během vysychání. Podmínkou pro karbonataci je výměna vzduchu.<sup>57</sup>

Kromě přírodního složení vápenných surovin lze k dosažení hydraulických vlastností také přidat pucolánové příměsi, které mohou být přírodní, např. sopečný popel. Z římských staveb je znám velmi rozšířený způsob vylepšování pevnosti vápenných malt tím, že se přidává drcená pálená keramika. V dnešní době se také využívají mleté pálené jíly a různé odpadní produkty, jako je popílek nebo křemičitý úlet.<sup>58</sup> Tyto látky zajišťují přísun reaktivní formy oxidu křemičitého, nebo hlinitého; vlivem pucolánové reakce vznikají hydratované křemicitany a hlinitany vápenaté a další produkty hydratace.

## SÁDRA

### Charakterizace suroviny

Obdobně jako vápno je sádra významným historickým pojivem, které se tradičně připravuje výpalem přírodního sádrovce. Sedimentární ložiska sádrovce vznikají odpařováním vody v mělkých mořských zálivech nebo slaných jezerech v pouštních oblastech.<sup>59</sup> Během odpařování se v těchto solankách tvoří sádrovec společně s halitem a anhydritem – jejich vznik závisí na vlastnostech a teplotě rozkladu. Zahříváním sádrovce vzniká také minerál basanit. V současnosti

55 Rassineux, Petit, Meunier 1989.

56 Rovnaníková 2004.

57 Alvarez et al. 2021.

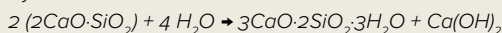
58 Charola et al. 2005.

59 Kukul 1985.

### HYDRATACE (PROCES)

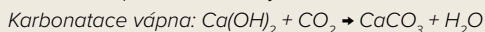
Hydraulické minerální fáze reagují s vodou za vzniku hydratovaných křemičitanů vápenatých ve formě gelu. Nejvýznamnější z těchto reakcí je hydratace belitu –  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , resp.  $\text{C}_2\text{S}$ , při níž zároveň vzniká nový hydroxid vápenatý, který může opět procházet karbonatací.

*Hydratace belitu:*



### KARBONATACE (PROCES)

Jde o reakci hydroxidu vápenatého s oxidem uhličitým za vzniku uhličitanu vápenatého a vody.



Hmotnostní bilance této rovnice je následující: ze 74 kg  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a 44 kg  $\text{CO}_2$  vznikne 100 kg  $\text{CaCO}_3$  a 18 kg  $\text{H}_2\text{O}$ . Rychlost karbonatace je ovlivněna množstvím vody v maltě, relativní vlhkostí okolního prostředí, teplotou a parciálním tlakem  $\text{CO}_2$ .

### PUCOLÁNOVÁ REAKCE

Pucolány jsou anorganické látky, které obsahují amorfni oxid křemičitý a/nebo reaktivní formy hlinitokřemičitanů a které v přítomnosti vody a hydroxidu vápenatého tuhnou a tvrdnou. Pucolánová reakce se odehrává v několika krocích a jejím produktem jsou gely C-S-H ( $x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$ ) a C-A-H ( $x\text{CaO}\cdot y\text{Al}_2\text{O}_3\cdot z\text{H}_2\text{O}$ ), podobně jako u hydratace hydraulických minerálních fází.

Lze sádro vyrábět i ze sádrovce, který vznikl jako vedlejší produkt při odsiřování tepelných elektráren nebo při dalších průmyslových procesech.

Přírodní sádrovec se v minulosti využíval nejen jako surovina pro výrobu sádry, ale také jako ozdobný kámen. V této souvislosti se s ním setkáváme pod dalšími názvy, jako je alabastr, mariánské sklo nebo pouštní růže.<sup>60</sup> Stále se však jedná o dihydrát síranu vápenatého tedy sádrovec, případně o jeho směs s anhydritem; jednotlivé odrůdy sádrovce se liší pouze v čistotě a ve velikosti krystalů.

### Výpal sádrovce

Sádrovec se tradičně vypaloval v polních podmínkách v pecích jednoduché konstrukce a při vysoké teplotě.<sup>61</sup> (25) Pro pece na sádrovec bylo charakteristické otevření do prostoru. Sádrovec se do pecí

60 Ďoubal 2020.

61 Kalivoda 2013.

## SÁDROVEC

Sádrovec je sedimentární hornina složená převážně z hydratovaného síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Vzniká odpařováním slané vody, hydratací anhydritu nebo zvětráváním sulfidů. Kromě sedimentární formy se sádrovec poměrně hojně vyskytuje v hydrotermálních žilách a ve spojitosti s působením vulkanických plynů – fumarol, dále v horninách obohacených pyritem a v hnědouhelných pánvích. Zde se ovšem vyskytuje pouze okrajově. Zpravidla jde o menší žilky, drúzy nebo samostatné krystaly, které netvoří taková ložiska, jež by se dala využít.

## ALABASTR

Alabastr neboli úběl označuje bělavou, velmi jemnozrnnou odrůdu sádrovce, která se v minulosti používala pro speciální sochařské nebo štukatéřské účely.

## MARIÁNSKÉ SKLO

Mariánské sklo je název pro velké průsvitné až průzračné štěpné tabulkovité krystaly sádrovce.

## POUŠTNÍ RŮŽE

Pouštní růže se používá pro sádrovec rostlý v růžicovitých agregátech, tedy ve srostlící neprůhledných hrubých krystalů. Krystaly jsou často zbarveny hnědě, okrově až růžově.

## ANHYDRIT (PŘÍRODNÍ)

Přírodní anhydrit je evaporit, který se běžně vyskytuje společně se sádrovcem. Jedná se o bezvodou formu síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4$ ). Vyskytuje se nejen v přírodní podobě, ale také jako produkt výpalu sádrovce.

Přeměna sádrovce na anhydrit může v evaporitových sedimentech nastat i vlivem poklesu vrstev do větších hloubek a jejich následnou dehydratací. Pokud se však anhydritové polohy dostanou na zemský povrch, anhydrit obvykle znovu přijímá vodu a mění se zpět na sádrovec.

## BASANIT

Minerál o chemickém složení  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  vzniká dehydratací sádrovce v místě zvýšeného proudu tepla. Vyskytuje se ve směsi se sádrovcem.

## HALIT

Halit neboli sůl kamenná (chemický vzorec  $\text{NaCl}$ ) vzniká odpařováním slaných vod. Tam, kde se vyskytují ložiska halitu, se často nalézá jak sádrovec, tak anhydrit a další soli.



25 Popis různých metod výpalu sádry od Heinricha Schickhardta, architekta a inženýra ve Stuttgartu kolem roku 1600. Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv Stuttgart. N 220 T 44. Trvalý odkaz <http://www.landesarchiv-bw.de/plink/?f=1-119087-1>

skládala a podobně jako u vápence se topeniště vytvářelo přímo ze suroviny určené k výpalu. Přední stěna pece ze strany, z níž se přikládalo, často chyběla. V tomto typu peci je teplota výpalu záměrně značně nerovnoměrná. V topeništi snadno přesahuje 600 °C, ale prohřátí a výpal celé vsázky sádrovce probíhá při různých teplotách. Výsledným produktem je pojivo, které se skládá z více modifikací síranu vápenatého, tedy hemihydrátu a anhydritu. Jedním ze způsobů, jak regulovat teplotu výpalu a zajistit správný poměr nově vzniklých fází, bylo otevření pece zpředu. V pecích tohoto typu se však mohla zpracovávat jen soudržná surovina. Vypálený sádrovec se proto musel před použitím nadrtit nebo namlít.

Dalším používaným způsobem, známým z historického popisu z přelomu 17. století, bylo zahřívání předem nadrceného sádrovce ve varném kotli.<sup>62</sup> Výhodou je, že výpal, který nastává při teplotách do 150 °C, je možné kontrolovat. Výsledným produktem je tak sádra pálená na nízkou teplotu složená převážně z hemihydrátu síranu vápenatého. Vaření sádry v kotlích je vhodné zejména při malých dávkách. Při stavbě, která vyžaduje poměrně velké objemy, je nevýhodou i samo drcení sádrovce.

Pro použití je způsob výpalu důležitý. Výpal na vysokou teplotu v pecích a milířích poskytoval pomalu tuhnoucí pojivo a naopak, nízké teplotě výpalu v kotli odpovídalo rychle tuhnoucí pojivo. Z historických popisů jsou známy i další způsoby výpalu popisované jako smíšené, což byly varianty výpalu na vysokou teplotu. Tím se získávalo pojivo o různých vlastnostech, zejména odlišné rychlosti tuhnutí. S nástupem industrializace se začal sádrovec pálit ve velkém množství v šachtových, rotačních nebo kruhových pecích, které umožnily kontinuální výrobu.<sup>63</sup> Moderní metodou je pálení sádry ve vařácích – velkoobjemových kotlích nebo autoklávech.

Kalcinace sádrovce za nízkých teplot probíhá v závislosti na použité technologii o teplotách kolem 100–180 °C. Při nich dochází k částečné ztrátě vody, tzv. dehydrataci, a v závislosti na tepelném způsobu zpracování vznikají různé krystalické formy hemihydrátu síranu vápenatého –  $\alpha$  a  $\beta$  modifikace, které se svými vlastnostmi podstatně liší.<sup>64</sup> Při zvyšování teploty nad 170 °C vznikají dehydrataci sádrovce v závislosti na kalcinačních podmínkách různé typy anhydritů. Ty se od sebe svými vlastnostmi značně liší, zejména dobou tuhnutí a konečnou pevností. Jako první vzniká anhydrit III, který však není stabilní a má tendenci hydratovat zpět na dihydrát, mj. i působením vzdušné vlhkosti. Při zvýšení teploty nad 200 °C se vytváří anhydrit II, jediná modifikace síranu vápenatého, která je za běžných atmosférických podmínek stabilní.<sup>65</sup> Přibližně nad 1180 °C vzniká také metastabilní fáze anhydrit I.<sup>66</sup> Složení surovin ovlivňuje procesy probíhající při zvýšené teplotě a je patrně i příčinou značně rozdílných teplot uváděných v literatuře pro vznik jednotlivých typů anhydritu.<sup>67</sup>

Znalosti uvedených procesů se uplatňují k cílené výrobě rychle nebo pomalu tuhnoucí sádry, která se využívá k výrobě podlah a omítek.<sup>68</sup> Kromě nich se ze směsi sádry a dalších přísad připravují také sádry upravené a anhydritová maltovina.<sup>69</sup> Historický způsob

kalcinace dovozoval mnohem menší kontrolu než moderní výroba sádry v kontrolovaných podmínkách, což mělo za následek vznik rozdílných fází v různém poměru. Historické sádrové pojivo obsahovalo směs dihydrátu, hemihydrátu a různých variací anhydritu II.

### HEMIHYDRÁT SÍRANU VÁPENATÉHO

Vzniká dehydratací dihydrátu síranu vápenatého, a hemihydrát se vytváří v prostředí nasyceném vodní parou (v autoklávech) při tlaku 0,3–0,35 MPa a teplotě 100–150 °C. Formuje se do pravidelně uspořádaných jehlicovitých krystalů. Vyznačuje se pomalejším tuhnutím při hydrataci, vyžaduje k ní méně vody ( $v/s \sim 0,4$ ) a nabývá zpravidla vyšší pevnosti než  $\beta$  hemihydrát. Ten naopak vzniká při běžném atmosférickém tlaku v prostředí za teplot kolem 100–160 °C. Částice  $\beta$  hemihydrátu jsou zpravidla pórovité a mají nepravidelný tvar. Častější jsou též poruchy v jeho krystalové mřížce.  $\beta$  hemihydrát tuhne rychleji, má vyšší spotřebu záměsové vody ( $v/s = 0,6$ ) a dosahuje nižší pevnosti.

### ANHYDRIT III

Výpalem sádrovce nad 170 °C a pokračující dehydratací hemihydrátu vzniká anhydrit III v modifikacích  $\alpha$  a  $\beta$ . Obě formy anhydritu III jsou nestálé a působením vzdušné vlhkosti hydratují zpět na hemihydrát.

### ANHYDRIT II

Za teplot 200–300 °C vzniká rozpustný anhydrit II-T, při 300–700 °C nerozpustný anhydrit II-N, v literatuře také označovaný jako termální anhydrit. Tzv. estrichová sádra neboli anhydrit II-E je vysokoteplotní modifikací bezvodého síranu vápenatého, která se vytváří při teplotě nad 700 °C – část anhydritu se rozpadá na oxid vápenatý a oxid siřičitý. Ve směsi se tudíž vyskytuje také volné vápno. Uvedené teploty závisejí na složení surovin a podmínkách výpalu.

### ANHYDRIT I

Výpalem za teplot nad 1180 °C lze dosáhnout přeměny anhydritu II na anhydrit I, který obsahuje větší množství volného vápna. Anhydrit I je však také metastabilní a při snížení teploty ochotně přechází zpět na anhydrit II.

### DIHYDRÁT SÍRANU VÁPENATÉHO

Přírodní sádrovec je dihydrát síranu vápenatého krystalizující v jednoklonné soustavě, chemický vzorec je  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ .

### DEHYDRATACE SÁDROVCE (VÝPAL NEBOLI KALCINACE SÁDROVCE)

Principem kalcinace sádrovce je dehydratace dihydrátu síranu vápenatého. Ke ztrátě vody dochází ve dvou krocích. Při teplotách

62 Götz et al. 2018.

63 Thorpe 1912.

64 Gregerová 1996. Kalivoda 2013.

65 Adams, Kneller, and Dollimore 1992. Freire et al. 2019.

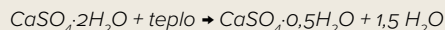
66 Wirsching 1976, s. 292–293. Odler 2000.

67 Engbrecht, Hirschfeld 2016.

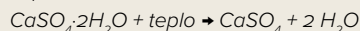
68 Rovnaníková 2004, Schultze, Lach 1990. V moderní technologii se již pomalu tuhnoucí sádra nevyrábí. Ke zpomalení tuhnutí se využívají přísady, jako je kyselina vinná nebo octová.

69 Jirásek, Vavro 2008.

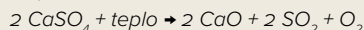
100–150 °C vzniká hemihydrát síranu vápenatého.



Dalším zahříváním se zbylá voda uvolňuje a vzniká anhydrit síranu vápenatého.



Síran vápenatý se začíná rozkládat na oxid siřičitý, oxid vápenatý a kyslík při teplotách okolo 700 °C.



### RYCHLE TUHNOUCÍ SÁDRA

Rychle tuhnoucí sádrovou je pojivo složené z  $\alpha$  a  $\beta$  hemihydrátu a menšího podílu  $\alpha$  a  $\beta$  anhydritu III. Podle použití se pak jednotlivé typy rychle tuhnoucí sádry označují jako štukatérská sádra, obsahující  $\alpha$  a  $\beta$  hemihydrát, nebo jako sádra modelářská, ve které převažuje  $\alpha$  hemihydrát.

### POMALU TUHNOUCÍ SÁDRA

V pomalu tuhnoucí sádře dominuje anhydrit v různých modifikacích s menším podílem hemihydrátu a volného vápna.

### MODIFIKOVANÉ SÁDRY A ANHYDRITOVÁ MALTOVINA

Jako modifikované sádry se označují pojiva, do kterých se záměrně přidávají příměsi, aby se docílilo požadovaného stupně zpracování a dalších vlastností. Nejčastěji se jedná o strusku, cement nebo látky s pucolánovými vlastnostmi. Do této skupiny lze zařadit i historická směsná pojiva jako De Wyldovu, Scotovu nebo Pariánskou sádrovou či Keenův cement. Anhydritovou maltovinu tvoří směs přírodního anhydritu nebo uměle vypáleného anhydritu II s cementem, vápnem, struskou nebo síranem sodným.

### Tuhnutí a tvrdnutí sádry a anhydritových pojiv

Tuhnutí sádry je opačným procesem její výroby ze sádrovce. K tuhnutí dochází, když se sádra rozmíchá s vodou, protože nastává rehydratace vypáleného hemihydrátu. Sádra se totiž po smíchání s vodou rozpustí a vytvoří přesycený roztok, ze kterého postupně krystalizuje dihydrát síranu vápenatého. Krystaly dihydrátu postupně rostou a vzájemně srůstají a vytvářejí tak pevný produkt. Reakce sádry s vodou se děje při výrazném zvýšení teploty a mírném zvýšení objemu pojiva.

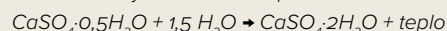
Tuhnutí sádry lze podle kinetiky dané reakce rozdělit do tří stadií. Iniciační fáze je charakterizována rozpouštěním částic hemihydrátu. Rychlost rozpouštění závisí na velikosti jednotlivých částic. Tato fáze umožňuje rozmíchání a zpracování sádrové směsi. Druhá, tzv. reakční fáze probíhá prakticky paralelně s rozpouštěním a přechází do pomalé hydratace. Ve třetí, hydratační fázi vznikají typické jehlicovité

krystaly sádrovce, směs tuhne a tvoří se pevná struktura. Během tvrdnutí materiál získává konečnou pevnost.<sup>70</sup>

Anhydritová pojiva tuhnou podobně jako sádra. Rychlost reakce anhydritových částic je však výrazně pomalejší a trvá řádově několik hodin. Navíc nevzniká tak výrazné teplo, jako když tuhne hemihydrát. Tuhnutí a hydrataci anhydritových pojiv lze korigovat pomocí aktivátorů. Jedním z nich je volné vápno, jehož přítomnosti díky rozkladu anhydritu při výpalu na vyšší teploty využívá i estrichová sádra. Při dalším zpracování sádry se po výpalu mohou přidat další vnější aktivátory, které nejen urychlují hydrataci, ale také mají příznivý vliv na výslednou pevnost pojiva.<sup>71</sup> Samotný anhydrit vypálený za vyšší teploty hydratuje pouze částečně, proto jej lze nalézt v historických maltách. V případě, že se anhydritové částice vyskytují v historických pojivech, lze je odhalit pomocí OM, SEM nebo XRD.

### HYDRATACE HEMIHYDRÁTU SÍRANU VÁPENATÉHO

Hemihydrát síranu vápenatého reaguje s alikvotním množstvím vody za vzniku dihydrátu síranu vápenatého.



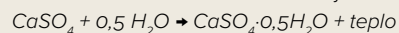
Hemihydrát síranu vápenatého dominuje v rychle tuhnoucí sádře, v menším množství také v sádře pomalu tuhnoucí.

### HYDRATACE ANHYDRITU SÍRANU VÁPENATÉHO

Anhydrit síranu vápenatého při kontaktu s vodou tvoří dihydrát síranu vápenatého. Rehydratace anhydritu je výrazně pomalejší než rehydratace hemihydrátu.



Anhydrit III při kontaktu s vlhkostí rehydratuje zpět na hemihydrát. Při dalším kontaktu s vodou vzniká dihydrát síranu vápenatého.



Tento proces zefektivňují aktivátory hydratace anhydritu, např. vápno, vodní sklo, struska, sírany, portlandský cement.

### RYCHLOST TUHnutí SÁDRY

Rychlost tuhnutí lze u sádry a anhydritových pojiv regulovat změnou podmínek během přípravy, např. množstvím záměsové vody – změnou vodního součinitele, její teplotou nebo intenzitou rozmíchávání směsi. Fáze tuhnutí a zpracování sádrového či anhydritového pojiva se často reguluje tím, že se přidávají látky, které prodlužují dobu tuhnutí, např. klíž, kreatin, melasa, mléko, agar nebo kyselina citronová, případně použitím příměsí, které dobu tuhnutí urychlují, např. NaCl, KCl nebo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

70 Adrien et al. 1992.

71 Schultze, Lach 1990.

## PÍSEK

### Charakterizace suroviny

Nepostradatelnou surovinou v historických konstrukcích je písek, nezpevněný klastický sediment o velikosti zrn od 0,06 mm až do obvyklých 2 mm. Podle zrnitosti jej rozlišujeme na jemnozrnný (0,06 až 0,25 mm), středně zrnitý (0,25 až 0,5 mm) a hrubozrnný (0,5 až 2 mm).<sup>72</sup> Ve stavebnictví jím nazýváme přírodní plnivo malty, většinou až do velikosti zrn 8 mm. Písek nejčastěji vzniká jako produkt rozpadu celistvých hornin, v různé míře přemístovaný, tříděný a opracovaný. Převládající složkou písku bývají křemenná zrna, ale jeho složení je variabilní a odráží složení původní horniny, může tudíž být křemenný, arkózový, korálový, jílovitý, glaukonitický apod. Ložiska písku vznikají především ve vodním prostředí nahromaděním klastických sedimentů v řekách, jezerech, deltách či v mělkých šelfových mořích.

### Úpravy písku

Písek odebíraný z ložisek obvykle nevykazuje takové parametry, aby se dal bez úpravy univerzálně použít. Běžně se setkáváme se směsným materiálem, který obsahuje zrna nejrůznějších velikostních frakcí. Prvním krokem je už sám výběr vhodné zrnitosti přímo v místě ložiska. Záměrem je odebrat takový materiál, který se velikostí zrn co nejvíce přibližuje požadovanému plnivu, aby se minimalizovala nutnost dalších úprav.

Ve většině případů je však nutné odebrat písek upravovat proházáním či přeséváním, a tak získat požadovanou zrnitost bez nadměrně velkých valounů nebo naopak příliš jemnozrnného materiálu. V případě potřeby lze tímto způsobem míchat jednotlivé velikostní frakce zrn ve specifických poměrech, aby plnivo dosáhlo přesně požadované zrnitosti.

Jestliže je jemnozrnných částic (obvykle jílu) příliš mnoho, je možné písek promývat a plavit. Pokud je však nutné získat jemnozrnější frakci, lze vytěžený materiál rozdužovat pomocí různých typů drtičů. Tímto způsobem se dá upravit i tvar a přílišná zaoblenost jednotlivých zrn a klastů.

## PŮVOD A DOSTUPNOST SUROVIN

Při analýzách materiálů použitých v historických konstrukcích nelze opomenout identifikátory, které mohou pomoci s vymezením původu surovin.

V případech, kdy je hlavním cílem nalézt surovinu s odpovídajícími vlastnostmi, lze určení původu stavebních materiálů do jisté míry chápat pouze technologicky. U vápenného pojiva jsou v tomto směru podstatné hlavně charakteristiky dané jeho praktickým využitím. Ty odpovídají zdroji vápence, z něhož pochází, tedy jeho prvkovému a mineralogickému složením. U písku k nim navíc náleží tvar, opracovanost a velikostní distribuce zrn. Na základě běžného postupu charakterizace malt je tak možné popsat složení původní suroviny a porovnat ho se známou lokalitou, v níž se vyskytuje. Pro adekvátní srovnání je potřeba mít velmi dobré a detailní znalosti o charakteru hornin a míst, odkud mohl být materiál dodáván. Také se vyplatí informovat se o současných, ale zejména historických lomech a surovinových zdrojích v nejbližším okolí. Pokud je uvedená surovina stále dostupná, popř. se těží, je možné ji pro výrobu kopie využít. V takovém případě lze považovat její určení za dostatečné, ačkoli se nemusí nutně jednat o skutečný historický zdroj.

Jestliže informace o vhodných a odpovídajících materiálech nejsou k dispozici, popřípadě nejsou uspokojivé nebo je nutné původ dále zpřesňovat a lokalizovat, je možné přímo porovnat originální materiál se vzorky z potenciálních zdrojových lokalit.<sup>73</sup> Podmínkou ovšem je, že se podaří získat srovnávací materiál; tomu však nutně předchází identifikace a nalezení historicky relevantních lomů a těžebních ložisek. Důležitou součástí je tak práce s dalšími informačními prameny, zejména archivními, které mohou pomoci bádání nasměrovat.<sup>74</sup> Určitou výhodou je, že otevření byť i malého ložiska většinou vedlo k jeho návaznému využití, jež po sobě tudíž zanechalo historickou stopu, která mohla být zaznamenána. Na druhou stranu je nutno

73 Podstatným zdrojem informací jsou zejména pozůstatky původních surovin zachované v maltě jako technologické částice.

74 Může se jednat o poměrně širokou škálu pramenů i sekundární literatury. Například lze uvést archivované účetní záznamy a soupisy majetku. Přímé uvedení původu surovin nelze většinou očekávat, ale existují případy, kdy se z archivních pramenů podařilo původ surovin lokalizovat, např. Suchý 2003.

zdůraznit, že většina historických lomů dnes již neexistuje nebo je jejich surovina již nepřístupná.<sup>75</sup>

Aby bylo možné zdrojová místa blíže specifikovat, je zapotřebí získat relevantní vzorky hornin a využít další analytické postupy vhodné pro určování původu. Kromě standardní materiálové analýzy se využívá analýza stabilních izotopů, určení stopových prvků a výskyt fosilii.<sup>76</sup> Přesnější určení může poskytnout další zajímavé informace. I přes mnohé komplikace jsou výsledky charakterizace surovin a vymezení jejich možné provenience podstatné, jelikož blíže určují použité suroviny a popisují další vazby mezi samotným dílem, procesem výstavby a konkrétními surovinovými zdroji. Sám výzkum potenciální surovinové základny poskytuje další poznatky ohledně místních možností a jejich využití. V historických konstrukcích se až na výjimky využívají přírodní suroviny, jejichž vlastnosti a složení jsou ovlivněny prostředím a podmínkami v místě jejich vzniku. Uvážíme-li, že se z pochopitelných důvodů dávala přednost surovinám, které se vyskytovaly v místě, je zřejmé, že jejich kvalitu a druh předurčovala konkrétní geologická situace. Schopnost přizpůsobit se regionální variabilitě surovin byla nepochybně nezbytnou součástí řemeslné zdatnosti historických stavitelů.

### Provenience vápence

Při určování provenience vápenců a úvahách o možných ekvivalentech použitelných k výrobě vápna, které jsou dostupné v současnosti, byla pro zkoumané případy zásadní především materiálová shoda s originální surovinou v základních charakteristikách, a to v mineralogickém a chemickém složení. Právě to určuje míru dosažené hydraulicity, stupeň dolomitizace a výskyt dalších nekarbonátových příměsí. Obecně známý charakter jednotlivých typů vápenců, případně i vlastnosti odebraných vzorků z dohledaných místních lomů umožnily porovnat současně dostupné suroviny s původním pojivem a materiálem. Míra shody ve výše zmíněných parametrech a možnost vybranou surovinu získat v požadované kvalitě a množství byly hlavními kritérii výběru pro výrobu technologické repliky.

Postupy určující provenienci vápence se v závislosti na regionální situaci lišily. U staveb, v jejichž okolí je výskyt surovin omezen, bylo nutné zejména lokalizovat možné lomy, odebrat vzorky a následně je porovnat. Proti tomu zjistit skladbu původních surovin malt románských staveb na Pražském hradě, tedy v místech, kde se dlouhodobě

používaly nejrůznější druhy vápence, vyžadovalo o poznání komplexnější přístup. Je velmi pravděpodobné, že vápence použité na výrobu vápna pro tento účel pocházely z míst v okolí řeky Vltavy na jihozápadě dnešní Prahy.<sup>77</sup> Vltava, případně Berounka zajišťovaly výhodné dopravní spojení s pražskou aglomerací. Natěžená surovina se svážela po proudu do centrální části Prahy, kde se pak v místních vápenkách dále zpracovávala.<sup>78</sup> Historické využití některých specifických typů vápenců navíc dokládají i dochované písemné prameny. Těžba a využití sliveneckého vápence jsou doloženy přinejmenším od 14. století.<sup>79</sup> Existence kamenného lomu v Braníku je známa ze zmínky z roku 1327, kdy byl v držení českých královen, ale i poté, když byl již majetkem Starého Města pražského.<sup>80</sup>

Výsledky analýz a srovnání materiálů z Pražského hradu a Pražské pánve potvrdily shodné parametry vápenců pocházejících ze zdiva se současně dostupnými horninami. Nevypálené částice se podle mineralogického složení, mikrofosilii, strukturních a texturních znaků shodovaly zejména se sliveneckými, dvorecko-prokopskými a zlíčovskými vápenci. Z analýz chemického složení částic a pojiva je zřejmé, že například pro stavbu románské kaple sv. Bartoloměje bylo využito více vápenných surovin, které poskytly celou škálu vápen o různém stupni hydraulicity. Potvrzují tak značnou variabilitu ve vlastnostech tehdy využívaných surovin, ale i velkou škálu již v minulosti dostupných a těžených vápenců v okolí Prahy.

V okolí Slavonic i Červené Lhoty se podařilo v dostupné dopravní vzdálenosti jednoho dne lokalizovat několik lomů s vhodnými krystalickými vápenci. Analýzy vzorků ani archivní průzkum sice nevedly k jednoznačnému určení konkrétních zdrojových lomů, ale průzkum poskytl přehled o vyskytujících se surovinách a u některých lomů upřesnil i jejich historické využití.<sup>81</sup> Z posuzovaných míst bylo možné vybrat vápence, které poskytují podobné vápno, jaké je použito ve stavbě. Navíc svou regionální geologickou příslušností splňovaly podmínku využití místních surovin.

### Provenience písků

Pro určování místa původu písků použitých v historických konstrukcích jsou zásadními parametry jejich mineralogické složení, tvar a velikost zrn, podíl jemné frakce (< 0,063 mm) a jeho barevnost. Pro písky obecně platí, a to ještě markantněji než pro vápenické suroviny, že se v minulosti stavitelé snažili zpracovávat místní suroviny, které byly

75 V minulosti se zpravidla těžilo z malých ložisek na místní úrovni. Často se stává, že byl historický lom v minulosti vytěžen, zcela zanikl a odběr vzorků pro srovnávací účely již není možný. Vzhledem k charakteru dřívější těžby, kdy se veškeré práce vykonávaly ručně, nebyly zásahy do krajiny tak výrazné. Původní prostředí se proto obvykle velmi rychle obnovilo. Po těžbě zbyly jen nepatrné prohlubně či osamocené lomové stěny. Mnohdy se lomy po vytěžení i záměrně zavážely. Pokud se ložiska nacházela v blízkosti větších sídel, často se zástavba při rozšiřování měst dostala až do míst, v nichž se kdysi těžilo.

76 Válek et al. 2017.

77 Kozlovce, Válek, Skružná 2019.

78 Holec 1961, Suchý 2014, Suchý 2015, Válek 2015A.

79 Rybařík 2017.

80 Holec 1961, s. 204–207.

81 Zde je nutno poznamenat, že složení suroviny v rámci jednoho určitého ložiska nemusí být a často není homogenní. I v případě stejného lomu a stejné geologické vrstvy může mít nový vzorek odlišné chemické a mineralogické složení od původně těžené suroviny. Tento fakt výrazně ztěžuje identifikaci původního zdroje pouze na základě analýz několika málo vzorků.

relativně dostupné, a tak minimalizovali náklady na transport. Proto je při hledání zdrojů v první řadě nutné přednostně prověřit lokální zdroje historických materiálů.

Obdobně jako u vápenců je možné historicky nedávné zdroje písků dohledat v písemných pramenech a dobových mapách.<sup>82</sup> Historickými pískovkami jsou většinou jámy, povrchové lomy menšího rozsahu, v nichž se poměrně rychle obnovuje vegetace, když se s těžbou skončí. V krajině se tak projevují pouze změnou morfologie terénu v rozsahu odpovídajícím intenzitě těžby.

Nejčastěji se s depozity písků setkáváme kolem vodních toků, v korytech řek, říčních nivách nebo v rybníčních nánosech.<sup>83</sup> Často tvoří nevelké lavice o různém stupni vytřídění, které vznikají během povodní. Písek může pocházet i ze zvětralých hornin, v nichž tvoří svrchní, nejvíce rozrušenou horninovou vrstvu. Při hledání vhodných zdrojů v určité specifické oblasti je vhodné nejprve zmapovat a prověřit dostupnost a kvalitu písku v místních těžebnách a historických pískovnách. Doporučuje se pátrat podél koryt místních toků a v nivních sedimentech. V místech rybníčních nánosů se písčité polohy vyskytují nejčastěji poblíž přítoků. Písky ze zvětralých hornin je vhodné vyhledávat poblíž skalních masivů a kolem výchozů ve svrchní rozrušené ploše horniny.

Složení písku určují především vlastnosti zdrojové horniny a podmínky transportu. Pokud vzniká zvětráváním přímo v místě, výrazně se složením neliší od mateční horniny, pouze se rozpadají méně stabilní minerály. V případě transportu z větší vzdálenosti zůstávají na místě deponie jen odolnější minerály. Na výsledném složení písku se pak zpravidla projeví skladba hornin z oblasti, kudy je materiál transportován.

V minulosti se na stavby obvykle dodával písek z místního úložiště s parametry, jež odpovídaly přímo zamýšlenému použití. Například si lze představit, že pro štuky v Červené Lhotě byl přímo vyhledán jemný vytříděný písek, který se dnes vyskytuje na dně rybníku obklopujícího zámek, zatímco pro zdění bylo možné využít více zdrojů z okolí. Oba písky svým mineralogickým složením odpovídají regionálně se vyskytujícím horninám, liší se pouze vytříděním vlivem transportu.

### Provenience sádrovce

Uplatnění sádry v architektuře a umění není z historického hlediska pro naše území systematicky zpracováno. Využití v rozsahu potřebném pro stavební účely je nutné vázáno na surovinové zdroje, od kterých se pak následně mohl materiál i jeho využití dále šířit. V západní a jižní Evropě existovalo několik center, v nichž se sádrové pojivo dlouhodobě hojně využívalo, nicméně k jeho všeobecnému rozšíření

mimo tyto oblasti došlo až s rozvojem železniční dopravy a průmyslu.<sup>84</sup> Ložiska sádrovce se na našem území nacházejí ve větším množství pouze v okolí Opavy. Do začátku 19. století nejsou přesně zmapována. Zmínky o dřívější těžbě a využití jsou pouze ojedinělé a nejisté, nicméně zjevně se i v této oblasti ve stavebnictví upřednostňovaly vápenné technologie. Záznam z účetních knih zámku Plumlov, že v roce 1685 štukatér Jan B. Brentani smluvně zajišťuje dodávku sádry z Opavy, je tak důležitým a prozatím nejstarším známým svědectvím, ze kterého lze vyvozovat, že na Opavsku se mohla sádra vyrábět již v 17. století.<sup>85</sup> O širším či dřívějším využití sádry z opavského ložiska nebyly nalezeny bližší doklady. Doložena je však těžba a využívání sádry na území polského Slezska, a to již v 16. století.<sup>86</sup> S průmyslovou těžbou na Opavsku se začalo až během 19. století, kdy Moravsko-slezská společnost pro povznesení zemědělství, přírodovědy a vlastivědy v Brně vypsalá soutěž na nalezení ložiska sádrovce na území Moravy a Slezska. Jako první na něj upozornila společnost Silesia.<sup>87</sup>

Při určování původu sádrovce kvůli výběru vhodné suroviny pro výrobu technologické kopie je možné, podobně jako u vápna, vycházet z požadavku na dodržení základních vlastností, které určují kvalitu pojiva. Tedy chemického a mineralogického složení a příměsí. Vhodnou metodou k určování proveniencie surovin sádry je analýza izotopů síry (<sup>34</sup>S) a stroncia (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr),<sup>88</sup> kterou lze dobře využít při rozlišování oblastí zdrojů s výskytem sádrovců o různém stáří vzniku.

Poměrně zásadním rozdílem mezi vyhledáváním ložisek vápencových surovin a ložisek sádry je četnost jejich výskytu, neboť zdroje sádrovce jsou ve střední Evropě výrazně vzácnější než vápenců. Tuto skutečnost velmi dobře zdokumentovalo hledání historických ložisek a v současnosti využitelných zdrojů sádry k opravám štukových prvků na zámku Červená Lhota. Využití ojedinělého a podružného výskytu sádrovce sice nelze zcela vyloučit, ale z hlediska výroby sádry v podobě pojiva se jako pravděpodobnější jeví dovoz z oblasti, která byla na sádrovec významně bohatší.<sup>89</sup> Od Červené Lhoty jsou co do vzdálenosti nejbližšími ložisky opavská pánev a severovýchodní část Severních vápencových Alp. Opavská pánev na česko-polském

84 Např. oblast okolo Paříže, odkud pochází označení Pařížská sádra neboli Plaster of Paris.

85 „Mistr žádal pro začátek vápno, tlučený cihlový prášek, tlučené sklo, okovinu, 6 sudů sádry, 5 sudů vína, 60 věder lněného oleje, drát a hřebíky. O vápno a tlučené cihly nebyla nouze. Těžší bylo opatření tlučené sklo. Knižně sám se stal o Brentaniho potřebě a upozornil, že tlučené sklo a lněný olej mohou dodat liechtenštejnské sklárny na Kolštejnsku a město Opava sádru; ve Vídni sám opatřil mosazný drát a drátěná i vlasová síta a kolekci štětek.“ Kühndel, Mathon 1937, s. 44.

86 Piesiewicz 1981.

87 Hanáček 2014.

88 Gale et al. 1988.

89 V současnosti je na území ČR evidováno 5 ložisek sádrovce, a to Kobeřice – jih, Kobeřice – sever, Rohov – Strahovice, Sudice a Třebom. Těž se pouze v Kobeřicích – jih. Sádrovec se ale často vyskytuje jako vedlejší minerál v jílových břidlicích ordovického stáří v pražských lokalitách Malešice, Hloubětín, Košíře či Řeporyje, v ložiscích pyritu ve Chvalčticích, Valachově, Hromnicích a Čivčicích nebo v hnědouhelných pánvích u Kadaně, Čermníku a Šaratic. V těchto místech ale nevytváří taková ložiska, z nichž by se dalo těžit.

82 Např. Vachtl a kol. Soupis lomů ČR z let 1932–1961.

83 Petránek 1963.



pomezí je součástí karpatské předhlubně a místní sádrovce jsou neogenního stáří.<sup>90</sup> Další ložiska se nacházejí jižně v oblasti Severních vápencových Alp stáří perm/trias v Rakousku.<sup>91</sup> Potenciální oblastí pro dovoz sádry či sádrovce na Červenou Lhotu může být i alpský region v okolí Lugana, odkud pocházeli autoři štukové výzdoby. Další možné zdroje sádrovců se nacházejí v geologické formaci Zechstein stáří perm/trias na území Německa.<sup>92</sup> (26) Pro rozlišení proveniencí byly vzorky sádrovce odebrány v lokalitách Preinsfeld a Seegrotte v Severních vápencových Alpách a v lokalitě Kobeřice v opavské pánvi. Následně byly porovnány se sádrou ze štuků z Červené Lhoty. Vzhledem k různému geologickému stáří obou lokalit byly podle izotopické analýzy hodnoty  $\delta^{34}\text{S}$  i  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  rozdílné. Při porovnání s materiály z Červené Lhoty se zjistilo, že nejlépe odpovídaly vzorkům z oblasti Severních vápencových Alp. Přesnější lokalizaci však nebylo možné pouze na základě hodnot  $\delta^{34}\text{S}$  a  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  určit. Ačkoli je oblast Zechstein stejného stáří, a tudíž i podobného izotopického složení jako Severní vápencové Alpy, doprava materiálu z této oblasti není příliš pravděpodobná. Nejen kvůli vzdálenosti, ale také vzhledem k sociálně-ekonomickým podmínkám v 17. století. Jako potenciální zdroj však bylo díky izotopické analýze možné vyloučit opavskou pánev.

#### Současná dostupnost surovin pro výrobu materiálové kopie

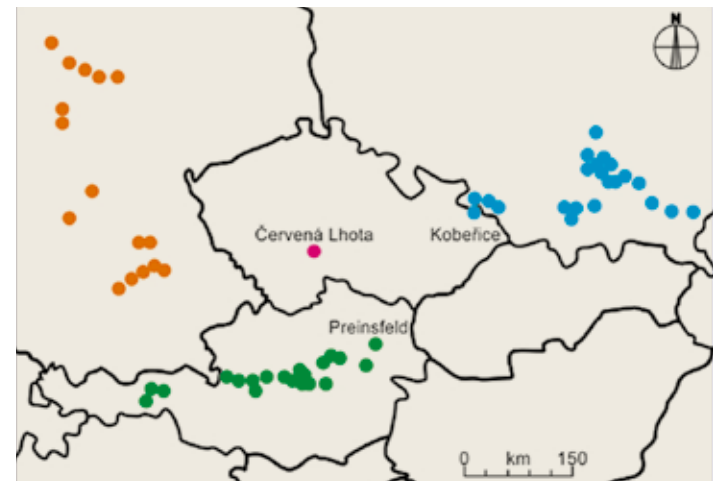
Na základě studia proveniencí surovin vznikl přehled o surovinách přístupných v současnosti, které je možné vzorkovat a studovat. Z pohledu výroby technologické kopie malty je ale zcela zásadním parametrem dostupnost surovin a možnost je získat k dalšímu zpracování v odpovídajícím množství.

Průzkumy prokázaly, že historická místa těžby je velmi obtížné dohledat a ve většině případů různé okolnosti neumožňují získat větší množství pro materiálovou kopii. Výjimkou jsou lokality, kde se v současnosti těží. Existují však i uzavřené lomy a zdroje, kde bylo možné za určitých podmínek odpovídající materiál získat. Konkrétní postupy popisují následující části studie.

K orientaci v dostupnosti jednotlivých materiálů je vhodné využít nejrozumnější informační zdroje, např. ročenku Surovinové zdroje ČR od České geologické služby, webový přehled dekoračních kamenů, vápenců a vybraných písků nebo databázi Calcarius.<sup>93</sup> Pro současnou těžbu vápence, ale i sádrovce a písků platí, že se na rozdíl od minulosti soustředí ve velkých lomech a těžebnách, jejichž výroba

má často nadnárodní charakter. Ve vápencových lomech se obvykle dobývají velmi čisté suroviny pro výrobu vzdušného vápna nebo suroviny s hydraulickými vlastnostmi, které se využívají v cementářském průmyslu. Výhodou velkolomů je, že mnohdy odkrývají několik různých vrstev s rozmanitým složením a vlastnostmi. Často jsou tak odhaleny i vrstvy, ze kterých se v minulosti surovina těžila. Po nezbytném srovnání a kontrole vlastností je tak možné surovinu z dané vrstvy použít. K tomuto účelu může dobře posloužit složení sond odebíraných přímo během těžby. Další výhodou je možnost snadno odebrat dostatečné množství požadovaného materiálu. S takto rozšířenou těžbou se však obvykle setkáváme pouze ve větších vápenických oblastech. Navíc i u těchto velkých lomů platí, že ne vždy obsahují suroviny se specificky požadovanými parametry.

Historické lomy se v současnosti poměrně intenzivně zavážejí a likvidují, což je patrné například při porovnání současného stavu se situací z padesátých let 20. století. Z hlediska zachování rozmanitosti surovin, charakteru místní krajiny a životního prostředí mají drobná a v minulosti otevřená ložiska svou hodnotu, kterou je před jejich konečnou likvidací vždy potřeba zvážit. Zánik surovinové základny na místní úrovni v podstatě znemožňuje zachovávat kvality spojené s místními materiály.



26 Přehledová mapa významných ložisek sádrovce ve střední Evropě: zelená barva – ložiska sádrovce v Severních vápencových Alpách, modrá barva – ložiska sádrovce v karpatské předhlubni, oranžová barva – ložiska sádrovce v oblasti Zechstein.

90 Chłędziński 2008.

91 Spötl, Pack 1996.

92 Krassman 2016.

93 Starý et al. 2019. Databáze dekoračních kamenů, vápenců a vybraných písků ČR, dostupná na: <http://kamenolomy.fzp.ujep.cz/index.php?page=project>. Databáze Calcarius – geodatabáze surovinových zdrojů a technologických zařízení pro výrobu a zpracování vápna, dostupná na <http://www.calcarius.cz/gis>.

# NAPODOBENÍ HISTORICKÝCH TECHNOLOGIÍ

Z předchozího textu víme, jak je možné postupovat při výběru potřebných surovin, jak jsou na sobě závislé výroba a zpracování poviv ve vztahu k jejich vlastnostem a kvalitě. Výroba obecně má na kvalitu i vlastnosti zásadní vliv, a pokud uvažujeme o technologické kopii, je nutné tyto vazby znát, aby se podařilo nejen získat odpovídající materiál, ale také jej správně použít.

Jak jsme již zmínili, stanovit přesné postupy není možné, otázka proto zní, jaký postup zvolit u technologické kopie. V hrubých rysech jsou výrobní procesy zřejmě, jelikož vycházejí ze základních chemicko-fyzikálních principů. U historických technologií ale často šlo o určité specifické modifikace, které z dnešního pohledu nebyly optimálně efektivní. Na druhou stranu, zavedené řemeslné procesy zpracování umožňovaly získat materiály v potřebné kvalitě a maximálně využít jejich specifických vlastností. Při napodobování historických technologií vycházíme ze současného stavu poznání doplněného o znalosti historických postupů popsaných v literatuře, popřípadě z jejich odvození na základě studií archivních materiálů nebo experimentů. Napodobení postupu do jisté míry nahrazuje případnou neznalost některých vlivů, jež mohly u historických technologií hrát důležitou roli.

## VÝPAL A HAŠENÍ VÁPNA

Vápenné suroviny pro technologické kopie byly vypáleny v peci provozované pro experimentální účely v Solvayových lomech.<sup>94</sup> Pec je konstruována tak, aby v hlavních rysech umožnila nastolit podmínky typické pro jednorázový výpal za použití dřeva jako paliva.

Výpal následoval již dříve ověřený postup, který odpovídal i předpokládanému historickému způsobu.<sup>95</sup> Ten ve všech případech probíhal obdobně. Nejprve se postaví klenba nad topeništěm a osadí se na zvýšený lem po okrajích. (27 A) V praxi se osvědčilo, aby se prostor topeniště udělal vyšší, než je pro příkládání paliva teoreticky potřeba. Pec má pak lepší tah a dochází i k rovnoměrnějšímu rozložení tepla v peci. Zaklenutí musí být pevné, kameny do sebe dobře opřené, ale nikoli neprodyšné. Naopak je žádoucí mít mezi kameny mezery. Při skládání vsázky je též důležité dbát na vytvoření pomyslných tahových kanálů tak, aby bylo teplo při výpalu rozváděno do stran. Výhodné je

skládat klenbu z kamenů, které mají jednu stranu výrazně delší, a právě tu používat jako styčnou ve svislém směru. Tím se zabezpečí, že bude klenba pevná i při případném posunu, a zároveň se vytvoří vhodné průchody pro vedení horkého vzduchu a odtah spalin. Praktické též je, když je kámen lomový a má ostré hrany. V takovém případě dobře drží i při takzvaném skládání z ruky, tj. bez podpěrného bednění. Do zaklenutí mohou přijít i poměrně velké kameny, přibližně do váhy 25 kg. Nad klenbu se již vkládají kameny do průměru 200 mm. Směrem nahoru a do stran se velikost kamene zmenšuje. Velikost menší frakce se liší podle druhu kamene. Přibližně 30 cm pod korunou pece se kameny již neskládají opřené o zdivo, ale záměrně se nechává několikacentimetrová mezera, která podporuje rozprostření vedení tepla směrem do stran. Kámen se může navršit i nad korunu pece. Celkové množství vsázky potřebné pro zaplnění pece je kolem 900 kg vápence.

Po zapálení v peci se postupně přikládá po půlhodinových intervalech přibližně 8–16 kg suchého dřeva. (27 B) Spotřeba paliva závisí na klimatických podmínkách a teplotě v peci. S ohledem na experimentální provoz se osvědčilo dodržovat pravidelné intervaly a příkládané množství kontrolně vážit. Kámen se do pece vkládá vesměs suchý, proto je možné minimalizovat dobu na sušení a takřka od počátku topit v uvedených dávkách.



27 Dokumentace stavby klenby topeniště (A) a příkládání v pokročilém stadiu výpalu (B). Výpal sliveneckého vápence v roce 2019.



94 Experimentální pracoviště Ústavu teoretické a aplikované mechaniky, AV ČR, v. v. i., založené v r. 2010. V místě Společnost Barbora, z. s., provozuje skanzen Solvayovy lomy – Muzeum těžby a dopravy vápence v Českém krasu, katastr sv. Jan pod Skalou, okres Beroun.

95 Válek, 2015A.



**28** Roztopená pec přibližně po 20 hodinách, po přiložení prochází plamen skrz vsázku a hoří nad ní. Výpal krystalického vápence z obecního lomu v Nedvědicích z r. 2017.



**30** Dobré klimatické podmínky umožnily hladký průběh výpalu včetně „dopálení“ vsázky až po svrchní vrstvu. Na kamenech je vidět část jílové vrstvy. Výpal chýnovského vápence v r. 2018.

Když se většina vsázky prohřeje cca na 500–600 °C, plamen se po přiložení rozhoří i nad horními kameny. **(28)** V tomto momentu již je teplota dostatečně vysoká, aby se spalovaly dřívě usazené saze a kondenzované zplodiny, ale také začíná rozklad karbonátů, tj. výpal vápence, při němž se uvolňuje oxid uhličitý. Podle tradičních postupů je od tohoto momentu vhodné, aby se vrch vsázky zakryl.<sup>96</sup>

<sup>96</sup> Tuto praxi, která se používá při tradičním výpalu vápna dřevem, známe již ze spisu De Agri Cultura, Marcus Cato, Kato 1959, část 38:4.



**29** Naplnění pece (A), zakrytí jílovou mazaníci cca po 6 h výpalu (B) a celkový pohled vsázky na konci výpalu (C). Výpal krystalického vápence z obecního lomu v Nedvědicích z r. 2017.



**(29)** Uspoří se tím teplo a zároveň je možné regulovat směry, kudy se v prostoru pece šíří. Pro zakrytí používáme mokré smrkové chvoji, na které se rozprostře jílová vrstva. Po obvodě se ponechá část nezakrytá. Ta se časem přikrývá keramickými dlaždicemi s vynechanými mezerami pro odtah spalin.

Celý proces monitoruje několik termočláneků. Při dobrých podmínkách je výpal poměrně rychlý. Přibližně do 14 hodin od zapálení je možné dosáhnout provozní kalcinační teploty, to znamená, že na nejteplejším místě je stabilně naměřeno 900 °C a více. Od té doby je nutné připočítat přibližně 16 hodin pro dokončení výpalu. Tento model slouží jako zjednodušený odhad, jak dlouho výpal potrvá. Skutečné teploty jsou v peci poměrně nehomogenní. Například na klenbě topeniště může teplota dosahovat i nad 1300 °C. Naopak kraje pece, kde jsou umístěny termočlánky, zůstávají delší dobu chladnější. Výpal ovlivňují i klimatické podmínky, zejména směr větru a stoupající či klesající vzduchové proudy. Směr větru má vliv na tah tepla pece. Když například fouká takzvaně do pece, tedy po směru otvoru, jímž se přikládá, dosahuje se nejvyšších teplot na protější straně pece. Při nepříznivých podmínkách má pec špatný tah, respektive palivo pomalu hoří. Tomu pak odpovídá velmi pomalý až nulový nárůst teplot. Špatné podmínky většinou netrvají po celou dobu výpalu. **(30)** Vypálení průměrně zabere kolem 34 až 38 hodin a spotřebuje se při něm 800–900 kg směsi dubového a smrkového dřeva.

## VÝPAL ZLÍCHOVSKÉHO VÁPENCE

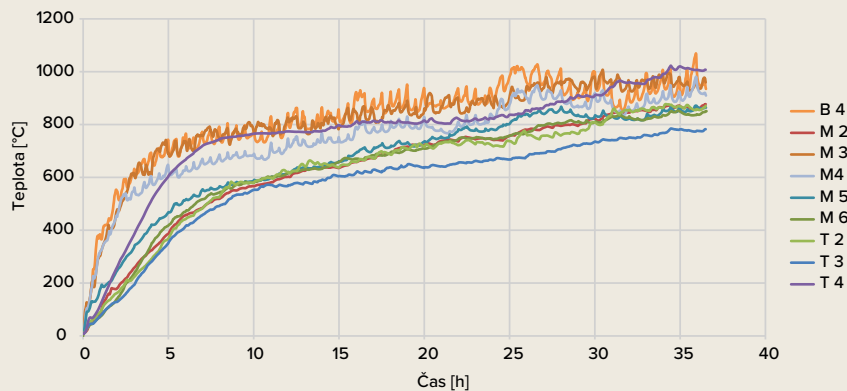
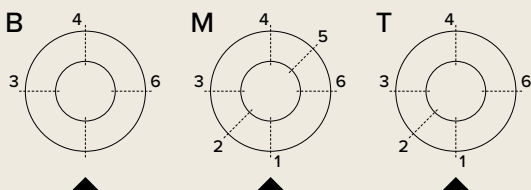
**Doba výpalu:** 36 hodin (18. října od 4:30 do 16:30 následujícího dne 19. října 2016)

**Množství spotřebovaného paliva:** 770 kg

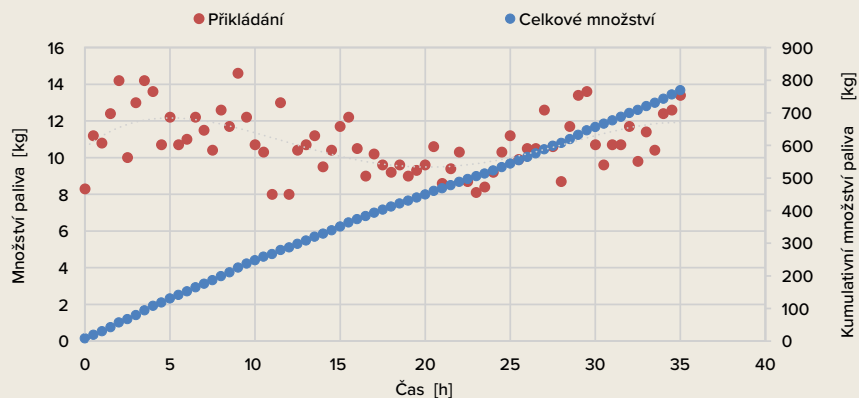
**Vsázka:** 851 kg

**Vápno:** 499 kg

**Schéma rozmístění termočlánku v peci:**



Průběh teplot při výpalu zlíčovského vápence. Termočlánky měří tepoty přibližně jeden centimetr od vnitřního obvodu šachty pece. V místech teplotních tahů pece narůstá teplota rychleji a termočlánky umístěné poblíž ukazují i teplotní výkyvy během přikládání. „Schovanější“ čidla ukazují rovnoměrnější nárůst teplot, které jsou označeny podle rozmístění termočlánků v peci; pozice 1 je v ose přikládacího otvoru, viz schéma rozmístění. Úrovně B, M a T jsou ve výškách 0,4 m, 0,7 m a 1,0 m od dna šachty. K jícnu šachty je to 1,4 m. Ve středu pece je výrazně tepleji, rozdíl mezi obvodem a středem pece je v T úrovni přibližně 250 °C.



Stejná frekvence přikládání umožňuje posoudit rozdíly ve změnách podmínek výpalu. Při zhoršení tahu je nutné snížit přikládané množství. Uvedený příklad měl dobré podmínky pro výpal, drobné rozdíly vznikly spíše vlivem lidského faktoru a podmínkami tahu, které se během dne přirozeně mění.



**31** Dokumentace množství svrchu odebraného materiálu do hloubky asi 20 cm pod vrchem pece, který nebyl zcela vypálen (A), odebíraného vápna s tmavším nedopáleným jádrem (B) a kusu plně vypáleného vápna z klenby topeniště (C). Výpal zlíčovského vápence z r. 2016.



Nárůst teploty je následující: přibližně do 600 °C stoupá rychle. Pak pozvolna zpomaluje vlivem endotermického rozkladu uhličitanu vápenatého a také v důsledku vyššího poměru mezi produkovaným teplem a ztrátami. Ke konci výpalu teplota postupně narůstá, jelikož vsázku již „neochlazuje“ reakce a stěny pece jsou dobře prohřáté, takže neodebírají teplo. Průběh teplotního nárůstu je jedním z indikátorů, kdy je možné výpal ukončit. Praktickým způsobem se dá konec výpalu určit tak, že se svrchu vsázky odebere kámen, na němž se ověří, zda je zcela vypálen. U experimentální pece se ukázalo, že je neefektivní výpal prodlužovat až do úplného vypálení horních kamenů. Nedopálené zbytky je do hloubky asi 10 cm možné manuálně odstranit. (31) Indikátory konce výpalu jsou též teplota plamene či barva kouře. Ze zkušeností lze říci, že všechny tyto jevy obecně platí a je možné je více či méně vnímat intuitivně jako určitý stav pece i vsázky.

Pro experimentální kopie byly vypáleny dvorecko-prokopské vápence z lomu Braník, zlíčovské vápence z lomu Kosof a slivenecké vápence z lomu Špička, vápence z obecního lomu z Nedvědice a vápence z Chýnova. Při výpalu se nejvíce projeví rozdíly mezi sedimentárními a krystalickými vápenci. K nejvýraznějšímu poklesu došlo při pálení krystalického vápence z Nedvědice. Další rozdíl se projevil zvýrazněním nekarbonátových příměsí po výpalu, případně natavením některých silikátových fází v krystalickém vápenci. (32)



**32** U nedvědeckého krystalického vápence se výpalem zviditelnily nekarbonátové příměsí, u některých došlo i k natavení a slinutí. Vpravo je vápenec po výpalu, menší bílý kámen vlevo je obdobná surovina před výpalem.

Výpal končí jednoduše tím, že se přestane přikládat. Od této chvíle pec i vsázka chladne. Rychlost chladnutí není u vápna zásadním parametrem, který by ovlivňoval jeho vlastnosti. Je sice vhodné, aby do něj nevnikla srážková voda, ale vzdušná vlhkost není problém, pokud se vápno neponechá v peci příliš dlouho. Obvykle se vsázka vybírala po 12–15 hodinách, kdy teplota ve středu pece dosahovala okolo 200 °C. Při výběru se odstraní zjevný nedopal, tj. svrchní vrstva, případně i ojedinělé další kusy. Vápno se nechá vychladnout a následně se část buď rovnou zpracuje na pojivo, nebo se uskladní v suchých podmínkách bez přístupu vzduchu. Vypálené vápno je vysoce reaktivní, i vzdušná vlhkost může stačit k tomu, že se postupně vyhasí. Pro skladování se osvědčily plastové sudy s víkem staženým kovovou sponou. Kusové vápno v nich vydrželo v dobré kvalitě i několik let.

Část chýnovského vápence byla po výpalu vyhašena a uskladněna v jámě. Hydraulické vápno z dvorecko-prokopských a zlíčovských vápenců se před uskladněním nadrtilo v čelistovém drtiči na frakci 0–2 cm. Kusové vápno z nedvědeckého a sliveneckého vápence bylo uzavřeno do sudů a připraveno k dalšímu použití.

Způsob hašení vápna byl již součástí dalších experimentů. Úvahy o tom, proč a zda zvolit ten či onen způsob, popisují navazující kapitoly.

**33** Hašení vápna z chýnovského vápence den po ukončení výpalu. Dokumentace bouřlivé reakce vápna s vodou, která nastává během několika minut (A) a stavu přibližně po 30 minutách hašení (B).



**34** Hašení vápna z páleného zlíčovského vápence na prach kropením. Dokumentace detailu vápna po provlhčení před začátkem reakce (A) a po vyhašení (B).



**Mokrou cestou na vápennou kaši** se hasila pouze vápna z chýnovského a nedvědicového vápence, tedy vzdušná a slabě hydraulická. (33) Způsob hašení a různá doporučení postupů je možné vyhledat v literatuře.<sup>97</sup> Při první dávce je vhodné použít výrazně menší množství suroviny, nebo si ověřit reaktivitu na vzorku. Po celou dobu je nutné dbát na bezpečnost a chránit si zejména oči, protože reagující částice může náhodně vystřelit. Ze zkušenosti je známo, že při pálení jednorázově dřevem v experimentální peci lze očekávat měkce až středně vypálené vápno s reaktivitou, vyjádřenou jako index  $t_{60^{\circ}\text{C}}$ , mezi 2–6 minutami.<sup>98</sup> Při hašení se dává přednost způsobu, při kterém se jednorázově přidá přibližně polovina vody a vápno se důkladně míchá. U hašení v hasnici o velikosti 1,8 × 1,2 × 0,3 m musí být tři lidé, dva míchají, jeden dolévá vodu. Vodu přidává postupně, vždy v tom okamžiku, kdy var přechází do bouřlivého a nekontrolovatelného stadia. Podstatné je, aby se držela vysoká teplota vody a zároveň se zajistilo její dostatečném množství pro reakci. Mechanické rozdrůvání mícháním je u kusového vápna velmi důležité, jelikož právě tam, kde jsou větší kusy, hrozí nedostatek vody. V hasnici by neměly být

větší kusy než 10 cm v průměru. Reakce a rozpad částic pokračují i poté, co var ustoupí, proto je vhodné ponechat vápno v hasnici delší dobu, pravidelně jej promíchávat a kontrolovat množství vody, které se při reakci postupně spotřebovává nebo se odpařuje. Aby se mohla přelít do jámy, musí se vzniklá kaše vhodně naředit. Jednak se tím ulehčí samotný proces lití, ale hlavně se vylepší podmínky pro následnou separaci objemově těžších částic sedimentací. Do jámy se řídká kaše přepouští přes síto. V daném případě bylo v jámě uskladněno vápno z chýnovského vápence přepuštěné přes síto o velikosti hrany oka 1 mm. Kaše v ní zrála šest měsíců – do prvních experimentů – a pro konkrétní realizaci byla využita po 18 měsících. Hašením v nadbytku vody byl připraven i vápenný nátěr pro sgrafito z nedvědicového mramoru. V tomto případě bylo cílem použít nátěr co nejdříve, po minimálně nutné době pro dohašení a uležení, která byla stanovena na dva týdny.

**Hašením na sucho na vápenný hydrát** se zpracovávala hydraulická vápna ze zlíčovského a dvorecko-prokopského vápence, z páleného nedvědicového mramoru pro sgrafito a vzdušné vápno z chýnovského vápence pro sádro-vápennou směs na přípravu štuků.

97 Např. Janč, Kudrlička, Kytýr 1953, s. 76–82, Chroust a Kvasničkoví 1959, s. 31–34, Severin, Skrbek 1954, s. 268–270.

98 Válek et al. 2019, s. 257–264.

Hydraulická vápna se hasí kropením a překládáním jednotlivých vrstev.<sup>99</sup> (34) Reakce má oproti vzdušnému vápnu výrazně pomalejší nástup a pomaleji též probíhá. Hašení hydraulických vápen je tak nutné poskytnout dostatečný čas za současného udržení zvýšené teploty. Vrstvením pokropeného vápna na sebe se teplo konzervuje a procházející vodní páry dodávají navíc vlhkost vrstvám následným. Lépe a rovnoměrněji se hasí vápno, které je nadrceno.

Rychle reagující vzdušná a slabě hydraulická vápna je výhodné hasit ponorem v koši.<sup>100</sup> Pálené vápno má otevřenou porozitu okolo 50 %, která vznikla únikem oxidu uhličitého, a rychle absorbuje vodu.<sup>101</sup> Ponořené se ponechá do první známky rozpadu, následně se koš vytáhne a vápno se vyklopí na hromadu. Proces se opakuje a vápno se tak vrství na sebe. Obdobně jako u hašení kropením je možné hasící se vápno ještě převrstvit, a je-li potřeba, dodat mu vodu. V obou případech je při hašení na staveništi vhodné hromadu pokrýt vrstvou písku, která zabrání rychlému odparu a ztrátě tepla. Proces hašení je pro různá vápna potřebné znát nebo předem odzkoušet. Vysoká reaktivita například může výrazně snížit dobu, po kterou je možné, aby bylo ponořeno. Větší kusy je nutné předem rozbít palicí.

Vápenný hydrát z nedvědkického vápence se po vychladnutí přesál přes síto o velikosti hrany 4 mm, čímž se odstranila větší zrna nedopálené suroviny a nehasitelného zbytku. Pro vápno z chýnovského vápence bylo použito síto o velikosti hrany 1 mm. Hašení na prachový hydrát na staveništi zahrnuje vždy určité riziko nedokonalosti. Vápno je vhodné hasit několik dní před použitím. Pro náročnější aplikace, například štuků, se malta z hydrátu připravovala na požadovanou zpracovatelnost s předstihem a nechala se několik dní odležet. Kvalitně vyhašený práškový hydrát s minimem zbytkové vlhkosti je možné skladovat v dobře uzavíratelných nádobách i po delší dobu.

**Hašení vápna s pískem** není vhodný způsob pro výrobu jemných štuků, sgrafita ani pro podkladové malty pod nimi, zato je velmi praktický pro přípravu zdicí malty nebo základů podlahových konstrukcí, jak je popsáno v následujících kapitolách.

Malta se pro experimenty připravovala střídavým vrstvením mokrého písku a kusového vápna v předem stanoveném poměru. (35) Směs se dále v každé vrstvě zvlhčila malým množstvím vody. Poslední zakrývací vrstva byla písková. Na povrchu se vlivem teploty a objemových změn tvořily trhliny, ze kterých stoupala horká pára. V tomto stavu se kupa ponechala po dobu několika hodin, je však možné ji takto zanechat i několik dnů. Před použitím se musela směs důkladně promíchat a podle potřeby přidat voda. Takto připravená malta byla použita do základu třívrstvé podlahy a na litou podlahu. Obdobně



35 Hašení vápna ze zlíčovského vápence. Dokumentace vrstvení mokrého písku a vápna (A), rozpraskaná kupa vlivem hašení (B) a řez hromadou vápna a písku po několika dnech (C).

se připravovala malta i pro zdění opukové zdi a výplně jádra zdíva. V tomto případě se po navrstvení ihned smíchala a použila ještě teplá malta, ale došlo i na vyzkoušení varianty s několikadenním odležením na hromadě.

U vápen připravených experimentálním výpalem je důležité ověřit složení a rámcově určit jejich kvalitu. K tomuto účelu byly využity vybrané normované zkoušky, ačkoli norma je platná zejména pro zatřídění a hodnocení současně vyráběných vápen a určení produktové

99 Janč, Kudrlička, Kytýr 1953, s. 76–82, Válek 2015A, s. 87–90.

100 Wacha 2016.

101 Válek et al. 2019.

## 5 VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY POUŽITÝCH VÁPENCŮ A VÁPEN

Vápno z vápence (upřesnění místa/lomu)	Termická analýza vápence		Reaktivita		Nehasitelný podíl po 24 h	Vydatnost 24 h [dm <sup>3</sup> na 10 kg nehašeného vápna]
	Celkový hm. úbytek 0–900 °C [hm. %]	Vypočtený obsah CaCO <sub>3</sub> [hm. %]	t60 °C (* t40 °C)	tmax / Tmax		
zlíchovský (Kosoň)	39,96	88,3	3 min 20 s	10 min 10 s / 63 °C	19 hm. %	31
slivenecký (Špička)	43,41	97,6	3 min 20 s	6 min 30 s / 66 °C	10 hm. %	36
dvorecko-prokopský (Braník)	36,67	81,9	5 min 20 s*	19 min 50 s / 45 °C	37 hm. %	28
nedvědícký (obecní lom)	41,70	94,8	42 min	132 min / 68 °C	25 hm. %	23
chýnovský (Chýnovská jeskyně)	43,31	98,1	3 min 10 s	5 min 40 s / 76 °C	5 hm. %	27

shody.<sup>102</sup> Při zkoušení pojiv je důležité si uvědomit, že laboratorní testování je ovlivněno vzorkováním. V případě malosériové výroby tradičním způsobem je potenciální heterogenita výsledných produktů důležitým parametrem, který je nutné brát v potaz. Výsledné hodnoty tedy vždy platí pouze pro bodový vzorek, jehož vztah k celku je nutné uvážit zvlášť.

Vápence byly vybrány na základě složení, a tudíž bylo možné je předem roztrždit pomocí cementačního indexu jako vhodné pro výrobu vzdušných vápen nebo vápen s odpovídajícím stupněm hydraulických vlastností. Kromě hlavních složek byl stanoven obsah SO<sub>3</sub>, který by měl být menší než 2 hm. %, jak je stanoveno v normě pro všechny popisované třídy vápna. Po výpalu následovala kvantitativní analýza mineralogických fází, která určila podíly jednotlivých hydraulických, nehydraulických a dalších fází. Pomocí ztráty žháním nebo termické analýzy se kontrolovala kvalita výpalu. Vzhledem k přípravě malty a dávkování pojiva bylo důležité znát objemovou hmotnost a u vápenných kaší též obsah vody/sušiny. Pro hašení vápna i přípravu horké malty je vhodné stanovit reaktivitu, vydatnost i obsah nehasitelného podílu, viz **tabulka 5**.

S posouzením kvality pojiva souvisí i vyhodnocení vlastností malty.<sup>103</sup> V rámci prezentovaného postupu výroby replik se upřednostňovalo hodnocení zpracovatelnosti založené na praktických zkušenostech. Vlastnosti malt po vytvrzení nebyly samy o sobě předmětem výzkumu replikace technologických postupů. Ověření, zda jsou maltové směsi vhodné pro opravy sgrafit a štuků, bylo součástí jiných studií, které v této práci nejsou v plném rozsahu publikovány.<sup>104</sup>

102 Požadavky na současná stavební vápna používaná pro zdění, pro vnitřní a vnější omítky jsou uvedeny v normách ČSN EN 459. ČSN EN 459-1 popisuje charakteristické hodnoty pro vzdušná, dolomitická, přirozená hydraulická, směsná a hydraulická vápna, na jejichž základě je lze zařadit do příslušné třídy. ČSN EN 459-2 obsahuje zkušební postupy pro tato stavební vápna.

103 Pro posouzení vlastností malt je možné využít norem ČSN EN 1015: Zkušební metody malt pro zdivo.

104 Výzkum vlivu aplikačních technik na vlastnosti sgrafita, Válek, Skružná 2020.

## VÝPAL A PŘÍPRAVA SÁDRY

Sádrovec byl vypálen na nízkou i vysokou teplotu podle historických popisů. Z našeho prostředí nebyly odpovídající předlohy k dispozici, proto byly použity analogické předlohy z Německa a Itálie, které dobově odpovídaly.<sup>105</sup> V obou případech se jednalo o první pokusy výpalu sádry s minimem předešlých zkušeností. Pokusy měly zejména ověřit, zda je pro pálení na vysokou teplotu vhodné využít již stávající pec, a odzkoušet základní nastavení procesů pro oba způsoby. Počet experimentů byl omezen množstvím získaného sádrovce, který se tudíž vypálil v peci na vysokou teplotu pouze jednou, vařením v kotli při nízké teplotě celkem čtyřikrát.

Pro výpal na vysokou teplotu byla s ohledem na omezené množství sádrovce vystavěna klenba z vápence, na který se navrhly sádrovcové kameny o velikosti do 150 mm v průměru. Pec se zaplnila zhruba do poloviny výšky. (36) Na sádrovec se shora opět volně položily vápenec, aby se horní kameny lépe prohřály. Způsob topení a monitorování teplot probíhal obdobně jako u výpalu vápna.

Sádrovec dehydratuje při teplotách nad 100 °C a kromě aktivního topení je nutné započítat i dobu chladnutí. Teplota v peci dosahovala nad 100 °C celkem 19 hodin, z toho 10 hodin byla nad 200 °C a sedm nad 300 °C. V nejteplejších místech přímo nad klenbou a ve středové oblasti pece přesáhla teplota 600 °C přibližně po dobu čtyř hodin; dokonce překročila hranici 700 °C, takže teoreticky mohlo dojít i k rozkladu anhydritu a tvorbě volného vápna. Vypálený sádrovec byl nadrcen na frakci pod 1 mm. Výsledné pojivo obsahovalo vysoký podíl anhydritu a tuhlo velmi pomalu. Využití pece pro výpal sádrovce se ukázalo jako možné, ale je zřejmé, že pro získání vhodnějšího složení pojiva, tedy například rovnoměrnějšího rozložení hemihydrátu a anhydritu, by proces bylo nutné lépe poznat a optimalizovat.

K výpalu na nízkou teplotu posloužil měděný kotel, ve kterém se sádra na ohni vařila podobně jako cokoli jiného. (37) Termín vaření sádry je pro daný způsob velmi výstižný. Sádrovec se předem nadrtl na velikost pod 1 mm, což byla i požadovaná jemnost pojiva

105 Götze et al. 2018.



36 Dokumentace množství a velikosti sádrovcových kamenů v peci před výpalem (A) a sádrovec svrchu vsázky po výpalu (B). Výpal sádrovce z Preinsfeldu v r. 2019.



odvozená z nálezů sádrových částic v maltě. Na první dva výpaly stačil menší kotel. Podle obrázku z literatury se pak pořídil větší měděný kotel, který bylo možné postavit na trojnožku a v němž se uskutečnily další dva experimentální výpaly.

Jak již bylo uvedeno, při teplotě okolo 100 °C sádrovec dehydratuje a voda se odpařuje. Při varu prochází vodní pára práškovým pojivem. Míchání během varu usnadňuje uvolňování páry a sádrovec se při něm rovnoměrněji prohřívá. Doba odvodnění sádrovce závisí na množství vsázky. V momentě, kdy se již ani po zamíchání v sádře neobjeví typické bublinky, je výpal hotov. Dalším indikátorem blížícího se konce je, že materiál při míchání relativně ztěžkne. Pojivo se již nenadlehčuje unikajícím plynem a při míchání klade větší odpor. Nespornou výhodou výpalu na nízkou teplotu je poměrně snadná kontrola nad celým procesem. Po nabytí základních empirických zkušeností je takovýto způsobem možné bez větších problémů vyrábět rychle tuhnoucí sádru, jejíž hlavní složkou je hemihydrát. Pro výpal je potřebné správně odhadnout poměry mezi velikostí ohniště, výškou a objemem kotle a intenzitou topení. Vaření sádry se již při prvním pálení ukázalo jako velmi intuitivní proces.

37 Dokumentace vaření sádry v kotlíku nad ohněm (A) a projev varu, kdy unikající vodní pára vytváří malé krátery (B). Výpal preinsfeldského sádrovce na nízkou teplotu v r. 2019.



Obdobně jako u vápna byly pro vyrobená sádrová pojiva stanoveny vlastnosti, které ověřily složení po výpalu a v základních parametrech zhodnotily jeho kvalitu. Normované požadavky na sádrová pojiva pro vnitřní omítky se podle použitých liší.<sup>106</sup> Základním předpokladem je obsah síranu vápenatého, který musí být vyšší než 50 %, přičemž norma nerozlišuje, zda jde o anhydrit, hemihydrát nebo dihydrát. Tuto podmínku splňují sádry získané experimentálním výpalem v peci i v kotli, viz **tabulka 6**. U sádrových malt jsou normovanými hodnotami (podobně jako u vápna) počátek tuhnutí, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, přídržnost a také tvrdost povrchu. Nejdůležitější charakteristikou při využití pro štukatérské práce je počátek a doba tuhnutí. Zjištěnou hodnotu je potřeba porovnat s dobou tuhnutí celé maltové směsi, obzvláště pokud je použita příměs, která ovlivňuje jeho rychlost (např. křihová voda). V daném případě byla použita doba nožové metody popsané v normě ČSN EN 13279-2.

106 Požadavky jsou uvedeny v normě ČSN EN 13279-1, zkušební metody jsou popsány v ČSN EN 13279-2.

**6 MINERALOGICKÉ SLOŽENÍ SÁDRY VYPÁLENÉ NA VYSOKOU TEPLITU (HT JE PRŮMĚR Z PĚTI STANOVENÍ Z RŮZNÝCH POLOH V PECI) A NA NÍZKOU TEPLITU (VÝPAL LT1 A LT2). PEVNOST V TAHU ZA OHYBU BYLA STANOVĚNA NA ČISTĚ SÁDROVÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSCÍCH O VELIKOSTI 20 × 20 × 120 mm PO 60 DNECH V SUCHÝCH LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH. VODNÍ SOUČINTEL POUŽITÝ PŘI VÝROBĚ ČINIL 0,37.**

	Mineralogické složení [hm. %]											Pevnost v ohybu [MPa]
	Křemen	Muskovit	Anhydrit	Hemihydrát	K-živec	Magnetit	Chlorit	Periklas	Kalcit	Dolomit	Amorfní	
HT	4,4	4,2	53,7	1,2	3,5	9,1	2,0	2,2	0,6	–	29,0	1,6
LT1	3,4	5,6	4,0	48,0	4,2	6,6	4,2	–	3,8	0,8	19,0	4,8
LT2	4,7	6,9	1,4	63,4	5,2	8,0	2,6	–	4,4	< 0,5	3,0	5,1

Zjednodušená zkouška zároveň posloužila ke stanovení koncentrace křehové vody, jak je dále popsáno v kapitole o štukové výzdobě. Mechanické vlastnosti sádry pálené na nízkou i vysokou teplotu byly odzkoušeny po 60 dnech zrání. Kromě samotných hodnot je z výsledků zřejmé, že i převážně anhydritové pojivo z výpalu na vysokou teplotu nabývá časem na pevnosti, a je tudíž možné ho využít pro některé aplikace.

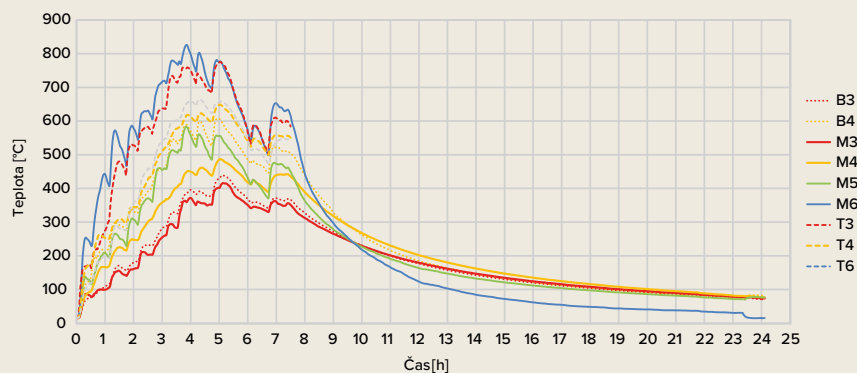
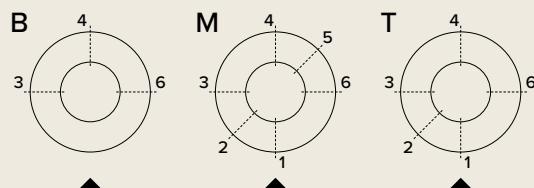
## VÝPAL SÁDROVCE Z PREINSFELDU NA VYSOKOU TEPLOTU

**Doba výpalu:** 21. května 2019,  
od 11:20 do 18:50 aktivní výpal

**Množství paliva:** 150 kg

**Vsázka:** 150 kg

**Schéma rozmístění termočlánku v peci:**

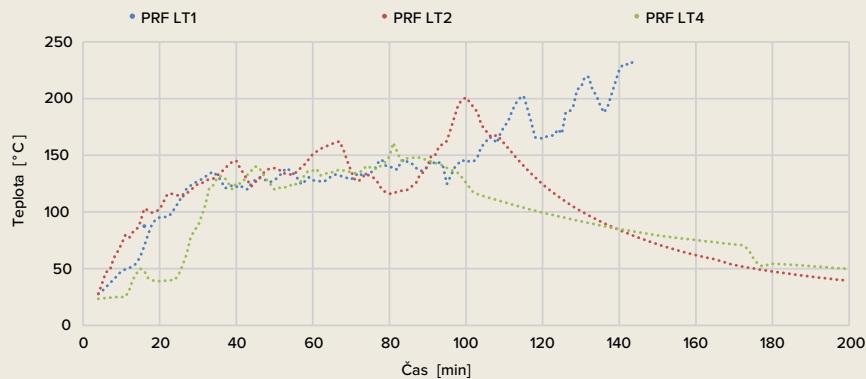


Průběh teplot během výpalu preinsfeldského sádrovce. Nejvyšší naměřilo čidlo M6 ve středu pece přímo nad klenbou z vápence. Ostatní čidla úrovní B a M byla umístěna po obvodu šachty s přesahem přibližně 1 cm dovnitř. Termočlánky T měřily teplotu přibližně 20 cm od obvodu šachty v úrovni horních sádrovcových kamenů.

## VÝPAL SÁDROVCE Z PREINSFELDU NA NÍZKOU TEPLOTU

Výpal sádrovce PRF LT1 a PRF LT2 v malém 5litrovém kotli a PRF LT4 ve 30litrovém kotli.

**Doba výpalu:** 2,5 hodiny



Nárůst teploty během výpalu. Sádra byla míchána a teplotní čidlo měnilo pozici, což způsobilo, že naměřené hodnoty kolísaly. Nárůst teploty odpovídá intenzitě, s jakou se rozhoří oheň, a může být otázkou několika málo minut. Vlivem aktivního míchání, uvolňování vody a jejího odpařování je možné během výpalu poměrně snadno udržet teplotu pod 200 °C. Ke konci již není vidět var (vytvářející se bublinky páry) a teplota začíná pozvolna stoupat, křivky LT1 a LT2.

## LITERATURA

- Adams, J., W. Kneller, D. Dollimore. 1992. „Thermal analysis (TA) of lime- and gypsum-based medieval mortars“. Online. *Thermochimica Acta* 211: 93–106. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(92\)87010-8](https://doi.org/10.1016/0040-6031(92)87010-8).
- Adrien, J., S. Meille, S. Tadier, E. Maire, L. Sasaki. 2016. „In-Situ X-Ray Tomographic Monitoring of Gypsum Plaster Setting“. Online. *Cement and Concrete Research* 82: 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.12.011>.
- Alvarez, J. I., R. Veiga, S. Martínez-Ramírez, M. Secco, P. Faria, P. N. Maravelaki, M. Ramesh, I. Papayianni, J. Válek. 2021. „RILEM TC-LHS Report: A review on the mechanisms of setting and hardening of lime-based binding systems“. *Materials and Structures*.
- Bárta, R. 1961. *Chemie a technologie cementu*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.
- Boháč, M., R. Nečas 2016. „The Role of Aging on Rheological Properties of Lime Putty“. *Procedia Eng* 151: 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.355>.
- Boynton, R. S. 1980. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Cizer, Ö., K. Van Balen, J. Elsen, D. van Gemert. 2012. „Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modifications of lime carbonation“. *Construction and Building Materials* 35: 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.036>.
- Charola, A. E., F. P. Rodrigues, A. R. McGhie, F. M. A. Henriques. 2005. „Pozzolanic components in lime mortars: correlating behaviour, composition and microstructure“. *Restoration of Buildings and Monuments* 11: 111–118. <https://doi.org/10.1515/rbm-2005-5942>.
- Chłądzyński, S. 2008. *Spojwa gipsowe w budownictwie*. Warszawa: Medium.
- Chroust F., R. Kvasnička, I. Kvasnička. 1959. *Omltky*. Praha: SNTL.
- De Gree, A. 2016. „The History and Working Principle of the Scanning Electron Microscope (SEM)“. Online. <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3995>.
- Derrick, M. R., D. Stulik, J. M. Landry. 1999. *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Scientific Tools for Conservation. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Đoubal, J. 2020. *Sádrové odlitky: Restaurování a péče o umělecká díla*. Litomyšl: Univerzita Pardubice.
- Eckel, E. 2005. *Cements, limes and plasters*. A facsimile of the 3rd ed. Dorset: Donhead Publishing,
- Elsen, J. 2006. „Microscopy of historic mortars – a review“. *Cement and Concrete Research* 36: 1416–1424. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.12.006>
- Engbrecht D. C., D. A. Hirschfeld. 2016. „Thermal analysis of calcium sulfate dihydrate sources used to manufacture gypsum wallboard“. *Thermochimica Acta* 639: 173–185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2016.07.021>
- Fiala, J. 1994. „Kvalitativní a kvantitativní fázová analýza“. In *Difrakcia na polykrystalických látkách*, 231–254. Bratislava: Vydavateľstvo R & D Print.
- Földvári, M. 2011. *Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice*. Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary 213. Budapest: Geological Institute of Hungary.
- Frankeová, D., Z. Slížková. 2016. „Determination of the pozzolanic activity of mortar's components by thermal analysis“. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 125: 1115–1123. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5360-7>.
- Freire, M. T., A. S. Silva, M. do Rosário Veiga, J. de Brito. 2019. „Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: mineralogy and microstructure“. *Construction And Building Materials* 196: 512–529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.037>.
- Gale, N. H., H. C. Einfalt, H. W. Wubberten, R. E. Jones. 1988. „The Sources of Myocenaean Gypsum“. *Journal of Archaeological Science* 15: 57–72.
- Goldstein, J., D. E. Newbury, P. Echlin, D. C. Joy, A. D. Roring, C. E. Lyman, C. Fiori, E. Lifshin. 1992. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Material Scientists, and Geologists*. New York: Plenum Press.

- Götz, F. J., G. Lucas, G. Seng, H. Galland. 2018. „La Production De Plâtre Basse Température, De Plâtre Multiphase Et De Surcircuit En Bourgogne, À Ferrare Et À Stuttgart Au Tournant Du Xvie Au Xviiie Siècle“. Online. In *Le Blog Des Plâtres*. [https://platreblog.files.wordpress.com/2018/10/lucas\\_schickhardt\\_gypsum.pdf](https://platreblog.files.wordpress.com/2018/10/lucas_schickhardt_gypsum.pdf).
- Gregerová, M. 1996. *Petrografie technických hmot*. Brno: Masarykova univerzita.
- Groot, C., G. Ashall, J. J. Hughes. 2007. *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair*. STAR RILEM TC 167-COM. Rilem Publications S.A.R.L.
- Hanáček, M. 2014. „Sádrovec, který se těží na Opavsku, vznikl ve třetihorách“. Online. *Opavský přírodovědný zpravodaj*: prosinec. <http://kubacka.natura.sweb.cz/Opavsk%C3%BD%20p%C5%99%C3%ADrodov%C4%9Bdn%C3%BD%20zpravodaj%20PROSINEC%202014.pdf>
- Hansen, E., C. Rodríguez-Navarro C, K. Van Balen. 2008. „Lime Putties and Mortars“. *Studies in Conservation* 53: 9–23. <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.1.9>.
- Hlaváč, J. 1981. *Základy technologie silikátů*. Praha: Nakladatelství technické literatury.
- Holec, F. 1961. „Branické vápencové lomy“. *Časopis Společnosti přátel starožitností* 69: 204–212.
- Hošek, J., J. Muk. 1989. *Omítky historických staveb*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Ingham, J. 2011. *Geomaterials under the Microscope: A Colour Guide*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Janč, L., V. Kudrlička, J. Kytýr. 1953. *Základy stavitelství*. Druhý díl. Praha: Roh.
- Jirásek, J., M. Vavro. 2008. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- Kato, M. P. 1959. *O zemědělství*. Praha: SNPL.
- Kozlovce, P., J. Válek, O. Skružná. 2019. „Provenance Study of Raw Materials Used for Lime Making at Prague Castle during Medieval Times“. In *5th Historic Mortars Conference*, 424–438. Pamplona: RILEM Publications SARL.
- Krassman, T. 2016. „Deutschland: Gips und Anhydritproduzernet 2016“. Online. In *Materials and Exploration*. <http://www.mineral-exploration.de/publikationen.htm>
- Krizova, I., J. Schultz, I. Nemeč, R. Cabala, R. Hynek, S. Kuckova. 2018. „Comparison of analytical tools appropriate for identification of proteinaceous additive in historical mortars“. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 410 (1): 189–200.
- Kuckova, S., P. Cejnar, J. Santrucek, R. Hynek. 2018. „Characterization of proteins in cultural heritage using MALDI-TOF and LC-MS/MS mass spectrometric technique“. *Physical Sciences Reviews* 4 (5). <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0011>
- Kühndel, J., J. Mathon. 1937. *Plumlovský zámek a jeho knížecí architekt*. Prostějov: Městské muzeum v Prostějově.
- Kukal, Z. 1985. *Vývoj sedimentů Českého masivu*. Praha: Academia.
- Lawrence, R. M. H., T. J. Mays, P. Walker, and D. D'Alaia. 2006. „Determination of carbonation profiles in non-hydraulic lime mortars using thermogravimetric analysis“. *Thermochim Acta* 444: 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.03.002>
- Lea, F. M. 1970. *The Chemistry of Cement and Concrete*. 3rd ed. London: Edward Arnold Publishers Limited.
- Lesniaková, P., E. Racková, J. Vojtěchovský, P. Waisser. 2013. „Sgrafita zámku v Litomyšli – příběhy fasád: systematická dokumentace, průzkum a monitoring sgrafitových fasád zámku v Litomyšli“. In *Interdisciplinarity v péči o kulturní dědictví*, 221–240. Litomyšl: Univerzita Pardubice.
- Marinowitz, C., C. Neuwald-Burg, M. Pfeifer. 2012: „Historic documents in understanding and evaluation of historic lime mortars“. In *Historic mortars. Characterisation, Assessment and Repair*, 15–24. Dordrecht: Springer.
- Middendorf, B., J. J. Hughes, K. Callebaut, G. Baronio, I. Papayianni. 2005. „Investigative methods for the characterisation of historic mortars – Part 2: Chemical characterisation“. *Materials and Structures* 38: 771–780. <https://doi.org/10.1007/BF02479290>

- Oates, J. A. H. 1998. *Lime and limestone. Chemistry and technology, production and uses*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Odler, I. 2000. *Special Inorganic Cements*. USA: CRP Press.
- Peryt, T. M., S. Halas, S. Karoli, D. Peryt. 1997. „Zapis izotopowy zmian środowiskowych podczas depozycji gipsów badeńskich w Koberżycach koło Opawy“. *Przegląd Geologiczny* 45 (8): 807–810.
- Petránek, J., J. Březina, E. Břízová, J. Cháb, J. Loun, P. Zelenka. 2016. *Encyklopedie Geologie*. Praha: Česká geologická služba.
- Petránek, J. 1963. *Usazené horniny, jejich složení, vznik a ložiska*. Praha: Nakladatelství ČSAV.
- Piesiewicz, K. 1981. *Wiedza Powszechna pt. Encyklopedia historii gospodarczej Polski do 1945 roku*. Warszawa.
- Rassineux, F., J. C. Petit, A. Meunier. 1989. „Ancient analogues of modern cement: calcium hydrosilicates in mortars and concretes from Gallo-Roman thermal baths of Western France“. *Journal of the American Ceramic Society* 72: 1026–1032. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1989.tb06263.x>.
- Rietveld, H. M. 1969. „A profile refinements method for nuclear and magnetic structures“. *Journal of Applied Crystallography* 2 (2): 65–71. <https://doi.org/10.1107/S0021889869006558>
- Rovnaníková, P. 2004. „Materiály historických omítek“. In *Obnova památek*, 1–8. Praha: Axis studio.
- Ruiz-Agudo, E., C. Rodriguez-Navarro. 2010. „Microstructure and Rheology of Lime Putty“. *Langmuir* 26: 3868–3877. <https://doi.org/10.1021/la903430z>.
- Rybařík, V. 2017. *Pražští skalníci, kameníci a sochaři*. Praha: ČGS.
- Severin, S., O. Skrbek. 1954. *Stavitelství I*. Praha: SNTL.
- Schultze, W., V. Lach. 1990. *Necementové malty a betony*. Brno: SNTL.
- Spötl, C., E. Pak. 1996. „A strontium and sulphur isotopic study of Permo-Triassic evaporates in the Northern Calcareous Alps, Austria“. *Chemical Geology* 131: 219–234.
- Starý, J., I. Sitenský, D. Mašek, T. Hodková, M. Vaněček, J. Novák, P. Kavina. 2019. *Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny (stav 2018)*. Online. Praha: Ministerstvo životního prostředí. <http://kamenolomy.fzp.ujep.cz/index.php?page=project>
- Suchý, M. 2003. *Solutio Hebdomadaria Pro Structura Templi Pragensis. Stavba svatovítské katedrály v letech 1372–1378, díl. I. Castrum Pragense 5*. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.
- Suchý, M. 2014. „Vápno, katedrála sv. Víta a pražští vápeníci v pozdním středověku: výpověď písemných pramenů“. *Archeologia historica* 39 (1): 349–363.
- Suchý, M. 2015. „Vápenictví ve středověku v písemných pramenech. Vápenné technologie historických staveb“. In *Katalog k výstavě Calcarius čili vápeník*, 1st ed., 54–68. Praha: Národní technické muzeum.
- Škvára, F. 1994. *Technologie anorganických pojiv I. Část 1: Hydraulické maltoviny, cementy*. Praha: Ústav skla a keramiky VŠCHT Praha.
- Thorpe, E. 1912. *A Dictionary of Applied Chemistry – Vol 3*. London: Longmans Green and Co.
- Tišlová, R. 2011. „Románský cement: výroba, zpracování, složení, hydratace“. In *Románský cement – historie, vlastnosti a možnosti použití*, 10–15. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek.
- Tucker, M. E. 2001. *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 3rd ed., Oxford: Blackwell Science.
- Vachtl, J. a kol. 1932–1961: *Soupis lomů ČSR*. 55 individuálních svazků vydaných v letech 1932–1961 různými autory a nakladateli, přehled dostupných svazků na <http://geology.cz/extranet/sluzby/knihovna>.
- Válek, J. 2015A. *Vápenné technologie historických staveb. Příprava specializovaných vápenných pojiv pro obnovu památek s využitím historických technologií*. Praha: ÚTAM AV ČR, v. v. i.
- Válek, J., M. Ebel, J. Maříková-Kubková, I. Herichová, M. Suchý, P. Koderka, P. Kozlovce, J. Řihošek, M. Panáček, J. Bryscejn. 2015B. *Vápenné technologie historických staveb, katalog k výstavě*. Praha: Národní technické muzeum.

Válek, J., K. Malý, R. Gonda, J. Řihošek, O. Skružná, M. Kovář. 2017. *Po stopách žďárského mramoru. Hledání původu surovin při stavbě gotického kláštera*. Praha: ÚTAM AV ČR, v. v. i. <https://doi.org/10.21495/85-7>

Válek, J., O. Skružná, V. Petráňová, D. Frankeová, J. Jiroušek. 2019. „Development of a small-scale lime kiln and experimental assessment of the produced quicklime“. In *Historic mortars. Advances in research and practical conservation*, 265–289. Cham: Springer.

Válek, J., O. Skružná. 2020. „Performance assessment of custom-made replications of an original historic render – A study of application influences“. *Construction and Building Materials* 229. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116822>

Wacha, R., F. Pintér. 2016. „Lime slaking in baskets“. In *Historic Mortars Conference 2016*. Thessaloniki, Řecko.

Weiss, P. 2007. „Portable X-ray, image capture, storage and enhancement“. In *Sborník konference Safeguarded Cultural Heritage, Sauveur 2*, 693–700. Praha: ÚTAM AV ČR.

Wirsching, F. 1976. „Gips.“ In *Ullmans Encyklopädie der technischen Chemie*, 4. Auflage. Weinheim-New York: Verlag Chemie GmbH.

## PRAMENY, EDICE PRAMENŮ A NEPUBLIKOVANÉ RUKOPISY

Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen, Amb. 317,2 ° Folio 36 recto (Mendel I). <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317-36-r/data>.

Kalivoda, K. 2013. „Výroba alfa sádry s využitím chloridových odprašků“. Disertační práce, Brno.

Pozůstalost Heinricha Schickhardta, architekta a inženýra, N220. Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv Stuttgart.

ČSN EN 13279-1. *Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky: definice a požadavky*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 13279-2. *Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky: zkušební metody*. 2014. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 459-1. *Stavební vápno: definice, specifikace a kritéria shody*. 2015. 3rd ed. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.



**Materiály a technologie  
středověkých podlah**



# A

rcheologické bádání má na území dnešní České republiky za sebou více než dvě století.<sup>1</sup> Za tu dobu se práce soustředily na výzkum materiální kultury a sídelních aglomerací, přírodního prostředí a různých aspektů podmínek života populací, které je obývaly. S výzkumem historických technologií se začíná v období po 2. světové válce.

Zpočátku byla středem zájmu technologie výroby kovů, keramiky a skla. Studium stavebních postupů a technologií, které jsou rozhodující pro kvalitu života, přináší obrovské množství informací o způsobu vnímání a utváření sídelního prostoru, o schopnosti zpracovávat místní zdroje surovin, o přenosu a sdílení postupů a myšlenek. Poznatky o konkrétních kulturních kontaktech však tehdy v archeologii nepatřily k hlavnímu tématu bádání, ačkoli poskytují relativně objektivní data, rovnocenná datům získaným klasickými postupy historického a archeologického pramenného bádání.

Ve středoevropském prostředí mají velkou výpovědní hodnotu raně středověké a středověké stavební technologie a postupy spojené se zpracováním vápence. Ve větším rozsahu a natrvalo se v něm rozšiřují spolu s christianizací a následným napojením na evropské kulturní okruhy v 9. a 10. století. Vápenné technologie, stavby z kamene či dřeva a vápenné malty se proto zpočátku uplatňují u křesťanských kultových staveb, kostelů a kaplí. Typickým příkladem jsou moravské a (středo)české kostely, které vznikaly během působení prvních křesťanských misí. Za všechny jmenujme rotundu sv. Petra a Pavla na Budči, kostel sv. Markéty Antiochijské v Kopčanech, archeology objevený soubor zaniklých kostelů v moravských Mikulčicích, Pohansku a Starém Městě-Uherském Hradišti či v českých lokalitách – Pražský hrad, Libice, Stará Boleslav a další.<sup>2</sup> Ještě v průběhu 10. století se kamenné stavitelství prosazuje v rezidenční architektuře, ovšem také v církevním prostředí – v biskupském

paláci na Pražském hradě budovaném od konce 10. století.<sup>3</sup> Mimo církevní prostředí se tato technologie ve větší míře používá až ve 12. století, kdy se rozvíjí jak kamenná fortifikační, tak rezidenční architektura. V Praze se románské obytné domy nacházejí v kapitulním okrsku<sup>4</sup> na Pražském hradě, na Hradčanech, Malé Straně nebo na Starém Městě.<sup>5</sup>

Archeologové, kteří spolupracují při stavebněhistorickém a typologickém výzkumu, je i díky mezioborové spolupráci obohacují o specifické informace o technologických a konstrukčních detailech. Týkají se mj. interiérových (a v menší míře exteriérových) podlahových souvrství, jejichž vývoj se, s výjimkou povrchů z keramických dlaždic, v českém a moravském prostředí detailně nestudoval. Ne každý archeologický výzkum poskytne poznatky o podlahových souvrstvích náležejících k první stavební fázi. U staveb, které prodělaly složitější stavební vývoj a/nebo zcela zanikly, je třeba při jejich identifikaci postupovat obezřetně. Za podlahu mohou být považovány i jednoduše upravené stavební úrovně. Stejně tak mohou být chybně identifikovány jen dochované části z poničeného souvrství.

Vhodnou lokalitou pro případovou studii je Pražský hrad. Nalezneme zde jedny z nejstarších staveb ve středoevropském prostředí, lokalita procházela kontinuálním stavebním vývojem a od druhé poloviny 19. století je systematicky archeologicky zkoumaná. Podařilo se tak nalézt několik raně středověkých podlah, z nichž část je přístupná i novému bádání, ať už in situ nebo po transferu. Nalezená podlahová souvrství zahrnují všechny známé typy raně středověkých podlah. Nejčastěji sestávají z kamenných a keramických dlaždic identifikovaných v kostele Panny Marie, bazilice sv. Víta a sv. Jiří, v kapli zvané sv. Bartoloměje a ve Starém královském paláci. Z rotundy sv. Víta byla vyjmuta část maltové podlahy zdobená oblázky. Technologie, stavební postupy i způsob budování podlah byly na naše území importovány, je tedy nutné jejich konstrukci

1 Kuna et al. 2019.

2 Maříková-Kubková, Baxa 2012.

3 Frolík 1999.

4 Maříková-Kubková, Herichová 2009.

5 Dragoun, Škabrada, Tryml 2002.

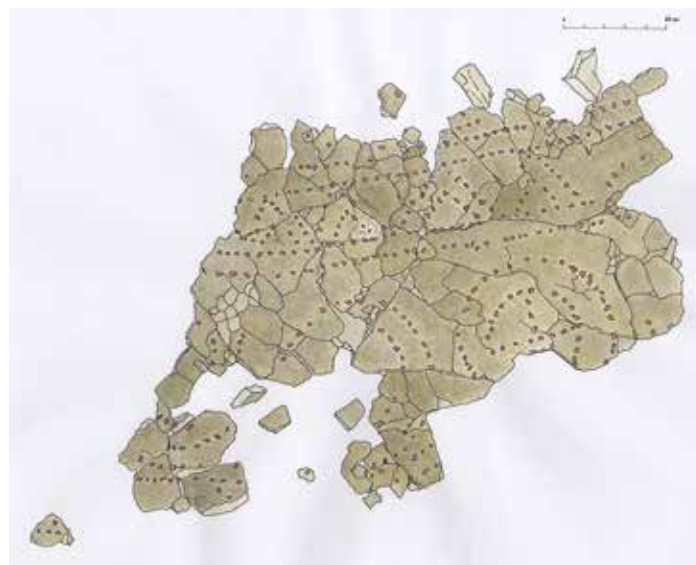
a materiál podrobit detailní analýze, aby bylo možné je správně zařadit do kontextu raně středověké evropské architektury.

Pro bližší poznání materiálů a technologií středověkých podlah byl navržen experimentální přístup, který spočíval v pokusu o vytvoření replik podlahových konstrukcí vybraných vzorových staveb. Cílem celé série experimentů bylo ověření stěžejní výrobní technologie podlahových souvrství, která zahrnovala materiálové vlastnosti maltových směsí, včetně jejich přípravy, konzistence a efektivního způsobu hutnění. Během studia se podařilo vytvořit zkušební panely, na kterých byly ověřeny materiály a aplikační techniky. Historické techniky se studovaly pomocí replik řeckých a římských podlah, jež byly zhotoveny podle antických předloh, jak je popsal Vitruvius,<sup>6</sup> a také podlah známých z italských Benátek, nyní označovaných jako terrazzo.<sup>7</sup>

## KONSTRUKCE STŘEDOVĚKÝCH PODLAH

V českém prostředí můžeme archeologicky zkoumané podlahové konstrukce rozdělit do dvou základních typů.<sup>8</sup>

**Dlážděné podlahy** – společným rysem je pevná nášlapná plocha z kamenných, popř. pálených keramických dlaždic. Ty mohou být osazeny na sucho do násypu nebo do maltové mazaniny. Kamenná dlažba se rozšířila nejvíce, najdeme ji v interiérech, výjimečně i v exteriéru.<sup>9</sup> Do období raného středověku náleží kamenné dlažby objevené v bazilice sv. Víta. Dodnes je v ní přístupná opuková dlažba v jižním křídle transeptu a kryptách a také dlažba románské fáze kaple sv. Václava z hadce a mramoru. Prozkoumány byly též kamenné podlahy v kostele Panny Marie, kapli sv. Mořice, několik fází podlah v kapli sv. Bartoloměje. Keramické dlaždice Pražského hradu patří k nejstarším, jež byly v českém prostředí nalezeny. Nezdobené polévané dlaždice tvaru rovnostranného trojúhelníku byly odkryty již v roce 1938 na jižním palácovém dvorku<sup>10</sup> a datovány do přelomu 11. a 12. století. Zdobené i nezdobené keramické dlaždice objevené v románské fázi katedrály sv. Víta dokládají plány a skicáře architekta Kamila Hilberta.<sup>11</sup> Ovšem krom výše zmíněných trojúhelníkových dlaždic, které jsou



1 Mikulčice, podlaha IX. kostela, kresba Miloslava Housková.

rozměrově shodné s velikostí výplňových kusů, se na Pražském hradě nenašly dlaždice vyšehradského typu, které jsou velmi zajímavým příkladem umělecké úrovně raně středověkého stavitelství.<sup>12</sup> Z našeho pohledu je třeba poznamenat, že pozornost při studiu se soustředila především na jejich ikonografickou a uměleckou složku, nikoli na charakteristiku podlahového souvrství. Podlahová souvrství s kamennou či keramickou nášlapnou vrstvou jsou z období raně středověké architektury rozšířená i v oblastech předpokládaného technologického importu.<sup>13</sup>

**Maltové podlahy** – vyznačují se maltovou nášlapnou vrstvou, která se nachází buď jako relativně tenká povrchová úprava na pevné podlahové skladbě, nebo jako masivní vrstva malty.

Masivní maltové podlahové vrstvy patří k chronologicky nejstarším typům podlah známých z prostředí Moravy, Slovenska i Čech, tedy z oblastí nejstarší české a moravské architektury 9.–11. století. Jejich zdobené varianty byly nalezeny v interiérech kostelů v Mikulčicích (IX. kostel, 9. století), na Pražském hradě (rotunda sv. Víta, 10. století) a v Kostofanech pod Tribečom (kostel sv. Jiří, 11. století). (1) První dvě charakterizuje snaha o jednoduchý dekor v podobě rozvilin, krokvic a spirál, jež je velmi vzdáleně inspirován podlahami mozaikovými.

6 Vitruvius, vydání z r. 2001, Kniha sedmá, kapitola I.

7 Lazzarini 2008.

8 Slouží pouze jako základní rozdělení a odlišení dvou typů, kterými se projekt detailněji zabýval. Není zdaleka vyčerpávající kategorizací všech různých dochovaných podlahových typů.

9 Severozápadně od románské baziliky, mezi severní věží a kaplí sv. Tomáše zřejmě Kamil Hilbert objevil i exteriérovou kamennou dlažbu. APH, Sběrka nových plánů, A I 20.

10 Původně datovány na přelom 11. a 12. století, Borkovský 1960, s. 338; 1969, s. 80–81; o datování se dále vedla diskuse (Hrdlička 1997, s. 649–662; Frolík 1999, s. 204).

11 V Archivu Pražského hradu se vyskytuje několik fondů, které dokumentují postup prací Kamila Hilberta. K nejdůležitějším patří Osobní fond arch. Kamila Hilberta a Fond Svatovítské jednoty.

12 Hejdová, Nechvátal 1970; Merhautová 1988; Fleková, Čizmář, Procházka 2012.

13 Papajanni, Ley 2016.

V prostředí karolinské architektury je jmenovaný typ neobvyklý a zdá se, že se tato technologie rozšířila na území střední Evropy spíše z jihu, z okruhu antických tradic Panonie a severního Adriatiku. Otázkou dalšího výzkumu bude, zda jde o technologii inspirovanou mozaikovými podlahami, kterou poznamenal zjednodušený pracovní postup a chybějící kvalita uměleckého řemesla antických oblastí.<sup>14</sup>

Prosté lité maltové podlahy se vyskytují i mimo prostředí chrámových staveb, v obytné zástavbě byly identifikovány například v Mikulčicích jak na akropoli, tak na předhradí.<sup>15</sup>

## TECHNOLOGIE PODLAHOVÉHO SOUVRSTVÍ

Výše uvedené rozdělení povrchové vrstvy, která tvoří základní konstrukční, funkční i výtvarný prvek, je tématem spíše pro historiky umění a archeology. Z konstrukčního hlediska je podstatná skladba podlahového souvrství pod ní, jelikož právě ta určuje trvanlivost a únosnost podlahy. Při hledání vzorů lze vycházet z antické stavitelské tradice, jak ji popsal již zmíněný Vitruvius.<sup>16</sup> Podle jeho popisu je možné skladbu konstrukčních vrstev rozdělit na základovou vrstvu z kamenů (statumen), tři čtvrtě stopy silnou dusanou podlahovou vrstvu s vápenným pojivem (rudus) a šest palců silnou jádrovou vyrovnávací vrstvu pro konečnou povrchovou úpravu (nukleus). Na vyrovnávací vrstvu se kladla dlažba nebo mozaika. Tuto strukturu lze do určité míry považovat za vzorovou pro antické i pozdější stavitelství, které z antického odkazu vycházelo, byť je zřejmé, že se přirozeně přizpůsobovala povrchové úpravě a požadavkům na prestiž nebo funkci míst, kde byla umístěna. Výzkum podlah paláců v Aquileii ukazuje, že se uspořádání mozaikové podlahy postupně zjednodušilo, podlaha se ztenčila a ke konci 4. století n. l. již ani materiálově nedosahovala dřívějších kvalit vitruviánské doby. Na druhou stranu se složení podlah skládaných deskových mozaik (opus sectile) během 400 let trvání římského impéria nezměnilo.<sup>17</sup> Podlaha popsaná Vitruviem posloužila pro základní technologické porovnání jako vzor, včetně zjednodušené terminologie pro jednotlivé vrstvy, jakkoli bylo zřejmé, že pro zkoumané podlahové konstrukce jde o vzor relativně vzdálený.

Pro studium skutečného provedení středověkých podlah jsme vybrali následující příklady. V kapli sv. Bartoloměje na Pražském hradě byla archeologicky dokumentována třívrstvá skladba podlahového souvrství s dlažbou. (2) Sonda zde odkryla dvě superponovaná souvrství, přičemž mladší obsahuje vitruviánské „ideální“ rozvrstvení (statumen, rudus, nucleus) včetně dochované opukové



2 Dvě podlahová souvrství nad sebou. Kaple zvaná sv. Bartoloměje, Pražský hrad.



3 Souvrství s dlažbou, vrstvenými násypy a základem z mohutných kamenů. Kaple sv. Mořice, Pražský hrad.

dlažby. U staršího souvrství se zachovaly spodní partie, tj. zhuňný terén s maltovým lůžkem pro základové kameny, které se kladly na sucho a byly zasypány valounky o velikosti několika centimetrů. Na takto připravený základ se rozprostřela maltová mazanina, jež záměrně obsahovala velmi jemné plnivo. Další vrstvy jsou ale již méně čitelné a jejich výskyt se nedá jednoznačně vysvětlit. Nad jemnozrnnou maltovou mazaninou se nachází asi 110 mm silná vrstva složená z uhlíků a reliktního spáleného dřeva. Skladba původní podlahy a její krycí vrstva se zde nedochovaly.<sup>18</sup> Třívrstvé podlahové souvrství bylo na Pražském hradě odhaleno také v kapli sv. Mořice. (3) Na této

14 Podobná technologie je avizovaná například z výzkumu lokality Zalavár v Maďarsku, zatím ale bez systematické publikace. Szóke 2007.

15 Maříková-Kubková 2010.

16 Vitruvius, vydání z r. 2001, Kniha sedmá, kapitola I.

17 Secco et al. 2018.

18 Válek, Skružná, Kozlovce 2018.



4 Historická fotografie řezu terénu, na níž lze vidět podlahovou konstrukci (ozn. p) i původní maltovou vymazávku hrobu (ozn. v). Kostel P. Marie, Pražský hrad. Převzato z Maříková-Kubková, Herichová 2017.



6 Fragment masivní maltové podlahy. Rotunda sv. Víta, Pražský hrad.



5 Dlažba vyšehradského typu. Rotunda sv. Václava, Praha-Malá Strana.



7 Podlaha v IX. kostele v Mikulčicích. Foto M. Frouz.

skladbě jsou zajímavé na první pohled robustní podkladové kameny statumenu. Násyp sestává z různých barevných a vysokých nehomogenních vrstev. Třívrstvá skladba byla také nalezena v kostele Panny Marie. (4) V kostele byla též objevena maltová vymazávka hrobu, ta ale nesloužila jako podlaha, která by musela odolávat dennímu provozu. Známým příkladem dlážděné podlahy je dlažba tzv. vyšehradského typu; je pojmenována po nálezů dislokovaných fragmentů dlaždic v bazilice sv. Vavřince. Představu o možném provedení souvrství pod takovou dlažbou lze získat v rotundě sv. Václava, (5) v níž byla

dlažba umístěna do relativně tenké vrstvy ložné malty bez dalších konstrukčních vrstev. Dnes je možné si v rotundě prohlédnout uměleckou rekonstrukci odhaleného archeologického profilu včetně maltové vrstvy, která může být pozůstatkem a dokladem staveniště, na kterém se připravovala malta pro stavbu.<sup>19</sup>

19 Rekonstrukce realizována pod vedením ak. mal. T. Rafla; naposledy Čiháková, Müller 2020, 112–152.



8 Podlaha s maltovou povrchovou vrstvou. Románská věž s kaplí, hrad Landštejn.



9 Fragment masivní maltové podlahy, kromě kameniva obsahuje také uhlíky. Kostel sv. Jiří, Kostořany pod Tribečom.

Maltové podlahy se obvykle nacházejí pouze fragmentárně. V rotundě sv. Víta byl objeven jeden větší kus a jeden menší úlomek,<sup>20</sup> (6) které byly položeny přes starší podlahu, jejíž svrchní vrstvu tvořila maltová vymazávka. Konstrukce sama se pod vrstvou malty nedochovala. V této souvislosti je nutné poznamenat, že ne vždy se při vrstvení novějších podlah na starší považovalo za účelné, aby

se podlahy zakládaly na kameny a vytvářela se vícevrstvá skladba, jak byla popsána výše.<sup>21</sup> Několik fragmentů se našlo také v IX. kostele v Mikulčicích. (7) Vrstvenou maltovou podlahu se základovými kameny, střední maltovou vrstvou přecházející ve zpevněnou povrchovou úpravu je možné si prohlédnout například v románské kapli hradu Landštejna. (8) Pro srovnání lze uvést také dva ze dvou časových rovin seřmuté fragmenty maltové podlahy z kostela sv. Jiří z Kostořan pod Tribečom; obě podlahové vrstvy tvořila masivní maltová vrstva. (9)

20 Fragmenty podlah z rotundy sv. Víta byly transferovány, větší fragment je součástí stálé expozice „Příběh Pražského hradu“.

21 Wooton 2012.

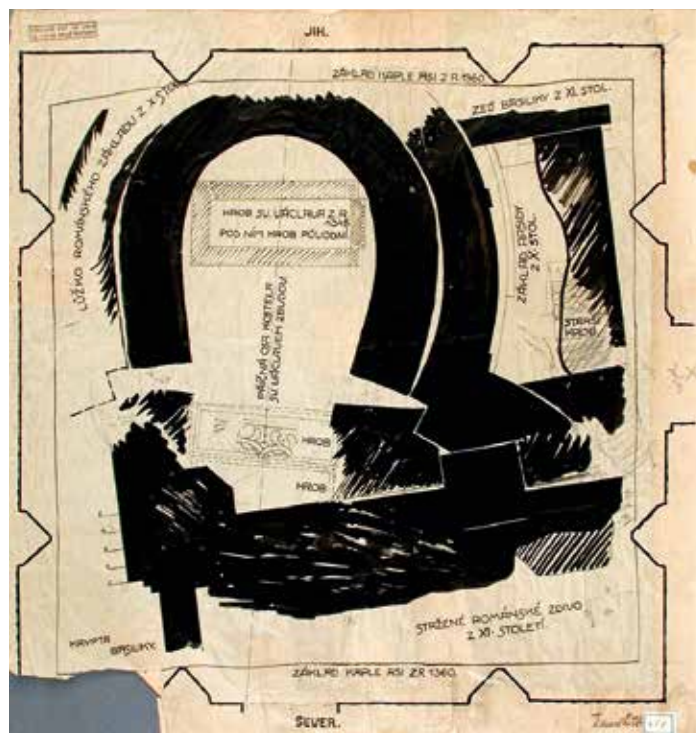
# HISTORICKÉ PŘEDLOHY

## MALTOVÁ PODLAHA Z ROTUNDY SV. VÍTA NA PRAŽSKÉM HRADE

Rotunda sv. Víta byla podle písemných pramenů založena v období vlády knížete Václava, tedy v první polovině 10. století. Při archeologickém výzkumu, který během dostavby a přestavby katedrály sv. Víta vedl Kamil Hilbert, se její fragmenty postupně objevovaly od roku 1910. Ještě před první světovou válkou byly pod gotickou kaplí sv. Václava odhaleny dvě stavební fáze jižní apsidy rotundy, u nichž bylo možné rozpoznat spojitost s fragmenty válcové lodi. Při výzkumu po 2. světové válce se podařilo zjistit informace o severní apsidě. Na základě Hilbertova výzkumu a po revizi na konci devadesátých let 19. století si dnes umíme o stavebním vývoji rotundy sv. Víta udělat představu. Nejprve byla vystavěna válcová loď o průměru přibližně (13 m) s východní apsidou. Stavba nesla zasvěcení sv. Vítu a můžeme tedy předpokládat, že v apsidě byl umístěn jemu zasvěcený oltář s ostatky. Pro tělo knížete Václava, který se přenesením ze staré Boleslavi stal svatým (tzv. translatio), byla postavena jižní apside. V první polovině 11. století, nejspíše v období působení biskupa Šebíře, byla svatováclavská kaple rozšířena a na severní straně byla vybudována třetí apside, jejíž určení není zcela jisté. Velmi pravděpodobně se jednalo o sakristii. Ve stejné době byla na pohřebišti v okolí rotundy, pravděpodobně před vchodem na západní straně, vystavěna kaple pro ostatky sv. Vojtěcha.<sup>22</sup>

V prostoru pod kaplí sv. Václava prozkoumal Kamil Hilbert maltovou podlahu, která částečně spočívala nad jedním z hrobů označených jako K1 a K2. (10) Z dokumentace bohužel není zcela jasný jejich vztah. Při základovém výkopu pro mezilodní arkádu románské baziliky byla situace poničena. Přesnější závěry znemožňuje i fakt, že podlahu byla vyzvednuta bez podrobnější dokumentace profilu a hroby otevřel v sedmdesátých letech minulého století antropolog Emanuel Vlček bez přítomnosti archeologa.<sup>23</sup>

Analyzovaný fragment maltové podlahy, (11) o rozměrech zhruba 0,8 x 0,6 m a výšce asi 0,2 m, tvoří kvalitní hutná malta, místy jsou viditelné větší, až centimetr i více velké pojivové kousky, kamenivo je drobné. Jedna strana maltového fragmentu je rovná, s čímž koresponduje také linka oblázkového dekoru, ostatní strany jsou nepravidelného tvaru. Povrch podlahy je výškově nestejný. Podle pozice oblázků, které jsou vždy zanořené do malty zhruba do poloviny své výšky, je zřejmé, že malta nebyla před jejich osazením vyrovnaná.



10 Rotunda sv. Víta, jižní apside, výzkum K. Hilberta, plán s vyznačenou pozicí podlahy po revizi J. Cibulky, APH, Sběrka nových plánů, A V 08.

Z toho lze usuzovat, že poměrně výraznou nerovnost povrchu nezpůsobila dodatečná deformace, ale byla vědomě ponechána. Povrch nenese výrazné známky ohození. Místa jsou viditelné stopy po tmavém nátěru nebo špíně. (12)

Dochovaný fragment je deponovaný. Z boků a ze spodní strany je opatřen sádrovým obalem, který jej zpevnil, aby se dal bezpečně vyzdvihnout a přenést. (13) Vrstvy podlahového souvrství nelze zpětně posoudit, patrně mohou být i součástí fragmentu.

Vzhledem k památkové hodnotě a unikátnosti fragmentu je možné podlahu zkoumat pouze omezeně. Celkový profil podlahy na výšku není kvůli zakrytí sádrovým obalem zřejmý, ale je patrně jednovrstvý. Z boku odhalené části fragmentu byly odebrány vzorky pro detailní materiálový průzkum. Analyzovaný vzorek malty je velmi bohatý na pojivo, které je hrubozrnné a porézní. Součástí malty jsou různě velké pojivové částice včetně neúplně vypálených sedimentárních vápenců o různém stupni znečištění. Vzorek též obsahuje úlomek krystalické horniny, velmi čistého kalcitického vápence. Kamenivo je drobné, o velikosti do jednoho milimetru, a zaoblené, zřejmě jde o písk rýčnického původu.

22 Maříková-Kubková 2019.

23 Frolík et al. 2000; Maříková-Kubková 2019.



11 Fragment podlahy nalezený v rotundě sv. Víta na Pražském hradě, umístěný ve stálé expozici „Příběh Pražského hradu“ ve Starém královském paláci na Pražském hradě.



13 Pohled ze strany na maltový fragment podlahy.



12 Detail povrchu s oblázkovou výzdobou. Místa jsou viditelné zbytky šedého znečištění. Oblázky ani malta nenesou stopy výrazné abraze ošlápáním.

Obsah uhličitanu vápenatého v odebraném vápenném kusu činí podle termické analýzy 72 hm. %. Cementační index matrice a pojivových shluků získaný pomocí mikrosondy z připravených výbrusů malty i pojivového kusu se převážně nachází v rozmezí 0,2–0,4, tedy na hranici mezi vzdušným a hydraulickým vápnem. Prvková analýza ukazuje, že některé větší kusy nerozdruženého pojiva jsou vlivem nižšího

obsahu nekarbonátových příměsí čistší než analyzovaná pojivová matrice. Souhrnně se vápenné pojivo malty jeví jako slabě až středně hydraulické.

Obsažené pojivové částice s hydraulickými vlastnostmi a čistý krystalický vápenec dokládají, že pojivo bylo vyrobeno z více druhů vápenných surovin. Využití vápna z různých typů místních vápenců potvrzuje i studie fragmentů malt z Pražského hradu z 10. století.<sup>24</sup> Krystalický vápenec se také prokázal na vzorcích odebraných z kostela Panny Marie.<sup>25</sup> Další příměsí se nepodařilo mikroskopicky doložit. Vyskytující se jílové částice nebyly tepelně aktivovány, nepřidávaly se tedy se záměrem, aby se zvýšila pevnost, do malty se pravděpodobně dostaly společně s pískem.

24 Maltové fragmenty z Jiřského náměstí, nepublikovaná studie.

25 Frolík et al. 2000.

## ANALYZOVANÉ VZORKY

### MPHBP 1

Malta z podlahového fragmentu

### MPHBP 2

Soudržná pojivová částice z malty

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ

### A JEJICH POPIS

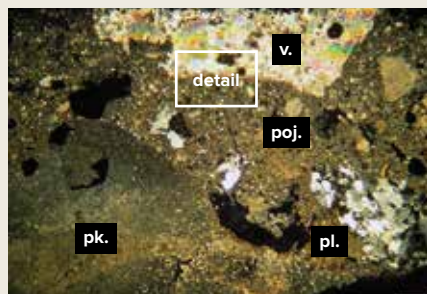
Vzorek MPHBP 1 je kus porézní malty s výrazným podílem světlého až bílého pojiva o velikosti  $1,5 \times 1,5 \times 1$  cm. MPHBP 2 tvoří bílý vápenný fragment se žlutošedými oblastmi (převážně na povrchu) o rozměrech  $1,5 \times 1,5 \times 1$  cm.



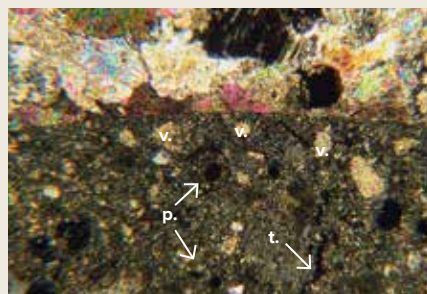
Místo odběru vzorků MPHBP 1 a MPHBP 2 ze strany maltové podlahy (A), vzorek MPHBP 1 (B) a vzorek MPHBP 2 (C).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Vápenné pojivo vzorku MPHBP 1 je hrubozrnné, porézní a obsahuje drobné částice vypálených i nevypálených vápenců, místy jsou patrné smršťovací mikrotrhlínky. Výrazný je především úlomek krystalického vápence a velká částice pojiva (viditelná pouhým okem), která během přípravy malty nebyla rozdužena na jemné pojivo. Dále se v pojivu vyskytují póry kruhového průřezu – bublinky vzduchu pohlcené při míchání. Plnivo je zaoblené a různorodého složení – pravděpodobně říčního původu. Největší zrno plniva má ve zkoumaném vzorku průměr 1 mm. Z pozorování lze objem přítomného pojiva a plniva odhadnout na jednu čtvrtinu. Vzorek MPHBP 2 sestává z velmi jemnozrnné vápenné základní hmoty, ve které jsou místy patrná drobná zrnka zkarbonatovaného kalcitu. Pravděpodobně se jedná o část většího vápenného shluku (lime lump).



Vzorek MPHBP 1. Struktura malty v CPL – hrubozrnné vápenné pojivo – poj., plnivo – pl., úlomek krystalického vápence – v., neúplně vypálený a rozložený pojivový kus – pk. Šířka zobrazeného snímku je 2,2 mm. Pozorováno v XPL.

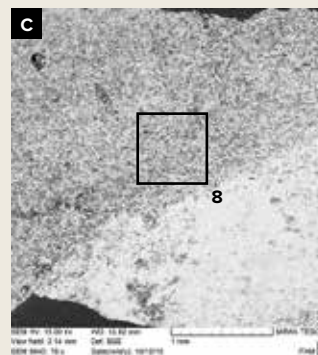
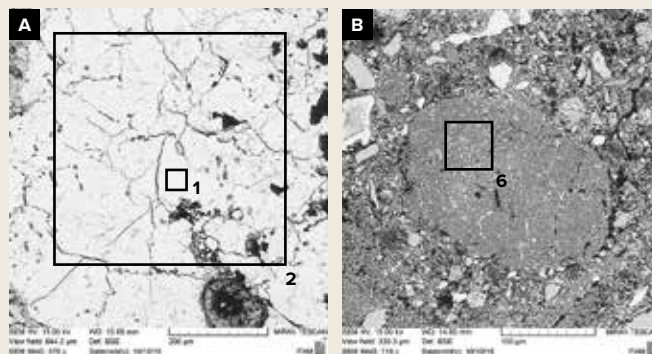


Vzorek MPHBP 1. Detail struktury malty v CPL – na obrázku jsou viditelné drobné úlomky vápence – v., póry – p. a mikroskopické trhlinky – t. Šířka zobrazeného snímku je 0,5 mm. Pozorováno v XPL.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

	MPHBP 1			MPHBP 2		
	Pojivová částice	Krystalický vápenc	Pojivo (matrix)	Pojivová částice	Pojivová částice	Pojivová částice
	6	2		1	2	3
CaO	92,0	98,4	83,6	88,5	90,7	82,2
SiO <sub>2</sub>	5,9	0,9	10,7	8,5	7,4	12,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2	0,2	3,4	1,0	0,9	1,1
MgO		0,5	0,3	1,2	0,3	2,7
Na <sub>2</sub> O				0,2	0,1	
K <sub>2</sub> O	0,4		1,3	0,3	0,3	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0,6	0,1		0,2
SO <sub>3</sub>	0,5		0,2	0,2	0,3	0,7
Cl						
FeO						0,5
Suma	100	100	100	100	100	100
Cl	0,19	0,03	0,40	0,28	0,24	0,42

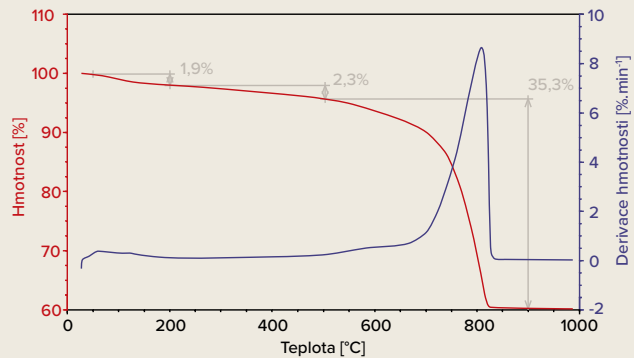
Cl – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické vápno; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Vzorek MPHBP 1 (A), struktura krystalického vápence.  
Vzorek MPHBP 1 (B), vápenný shluk v jemně krystalickém karbonátovém pojivu.  
Vzorek MPHBP 2 (C), struktura vápenného shluku.  
Při bodové analýze je jasně patrná variabilita ve složení částice.



## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku MHPBP 2, jediný výrazný zlom na TG křivce souvisí s rozkladem  $\text{CaCO}_3$ , jehož obsah ve vzorku je 80 hm. %.

## ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ

Použité pojivo je pravděpodobně směsí čistého a hydraulického vápna. Zdrojovou surovinou byl krystalický vápenec, nebo sedimentární rekrytalizovaný vápenec obsahující velké kalcitové vyrostlice. Malta byla připravena způsobem, který neumožňuje separaci technologicky nedokonale zpracovaného pojiva, tj. hašením vápna společně s pískem.



14 Pohled na opukovou dlažbu podlahy kaple zvané sv. Bartoloměje. Uprostřed je zřetelně vidět, jak se podlahové vrstvy propadly.  
Foto M. Frouz.

## PODLAHY KAPLE ZVANÉ SV. BARTOLOMĚJE NA PRAŽSKÉM HRADE

Objekt kaple se nachází v prostoru tzv. velkých vykopávek, v trvale odkrytém archeologickém areálu pod III. nádvořím Pražského hradu. Pozůstatky v té době neznámé románské stavby objevil hradní stavitel Karel Fiala při kanalizačních pracích v roce 1920; v letech 1925–1926 následoval celkový průzkum tohoto prostoru. Zdivo archeologové datují do druhé poloviny 11. století, zasvěcení kaple je předmětem odborných dohadů. Obvykle se užívá označení sv. Bartoloměje, které navrhl badatel Ivan Borkovský.<sup>26</sup>

Jednoduchý půdorys kaple je 12 m dlouhý a 7,4 m široký, na východní straně jej zakončuje apsida. Obvodová zeď kaple je zachována do výšky zhruba 50 cm nad vnitřní dlažbou, zdivo je silné 80 cm a na vnitřní straně nese stopy po požáru.<sup>27</sup> V celém vnitřním prostoru je zachována opuková dlažba, následkem sesedání vrstev pod podlahou značně nerovná. (14) V apsidě se dochovala část oltáře. Revizní

archeologický průzkum identifikoval reliкty stavebních konstrukcí, které se staly předmětem dalšího podrobného průzkumu.<sup>28</sup>

V sondě byla odhalena dvě podlahová souvrství, která jsou popsána jako starší a mladší. Starší podlahové souvrství tvořila spodní vrstva vyrovnávací malty umístěná na zhutněný terén, na kterou se na sucho kladly opukové kameny, shora doplněné drobnějšími oblázky. (15) Na nich se nacházela svrchní maltová vrstva, shora zbarvená do růžova, kterou pokrývala 5–10 mm tlustá černá vrstva.

Výzkum technologií se zaměřil na studium mladšího podlahového souvrství, které svou čitelnou a kompletní strukturou připomíná antické konstrukce, jak je popsal Vitruvius.<sup>29</sup> (16) Souvrství podlahy bylo postaveno na vyrovnaný a hutněný násyp z hlíny, popela, uhlí a písku, který patrně pocházel z předchozího stavu kaple. Statumen (základová vrstva) sestává z opukových kamenů kladených šikmo přes sebe. Kameny jsou uloženy do vápenné malty, která tvořila i svrchní vyrovnávací mazaninu. Odlišná tloušťka vrstvy

26 Borkovský 1961.

27 Jednotlivé kvádříky jsou zbarveny do červena a odprýskány.

28 V roce 2016 pracovníci Archeologického ústavu Akademie věd ČR (pod vedením Mgr. Jany Maříkové-Kubkové, Ph.D., a RNDr. Ivy Herichové, Ph.D.) otevřeli v podlaze kaple dřívější sondu.

29 Vitruvius, vydání z r. 2001, Kniha sedmá, kapitola I. Alberti vydání z r. 1956, Kniha III, hlava 16.



15 Starší podlahové souvrství v sondě podlahy kaple zvané sv. Bartoloměje pod III. nádvořím Pražského hradu. Západní stěna sondy.

roznášecích kamenů mezi západní a východní stranou sondy nasvědčuje, že pod ní bylo potřeba vyrovnávat sednutí terénu či násypů. Na maltě se nachází zhruba 15 cm tlustá násypová vrstva (rudus), která není materiálově homogenní, což odpovídá postupnému navážení materiálu. Místy se vyskytují větší kameny kladené naplocho. Zároveň jsou místy viditelné pracovní spáry, které mohou svědčit pro hutnění po vrstvách. Do násypu jsou položeny opukové dlaždice o rozměrech přibližně 30 × 30 cm a tloušťce asi 5 cm.

#### Ze všech tří vrstev byly odebrány vzorky a provedeny analýzy.

**Statumen** – analyzovaný vzorek ložné malty je kompaktní a velmi kvalitní. Pojivo malty tvoří slabě až středně hydraulické vápno.<sup>30</sup> Místy se vyskytují pojivové kusy převážně vzdušného vápna bílé barvy o velikosti až několika centimetrů (místy až 30 mm). Nejedná se o nedopálenou surovinu (vápenec), ta se na žádném odebraném vzorku nenašla, takže bližší petrografické určení není možné. Nedokonalé rozdužení je důsledkem zpracování vápna, nehašené vápno se mohlo déle skladovat a při přípravě malty se úplně nerozpadlo. Kamenivo sestává z křemene, živců, jílových minerálů a slíd. Zrna jsou velká maximálně do 10 mm. Při rozpouštění vzorku malty

30 Obsah CaCO<sub>3</sub> činí podle termické analýzy 70 hm. %, cementační index matrice je v průměru od 0,03 do 0,38.



16 Mladší podlahové souvrství v sondě podlahy kaple zvané sv. Bartoloměje pod III. nádvořím Pražského hradu. Západní stěna sondy.

v kyselině byl vypočten hmotnostní poměr pojiva (kusové nehašené vápno) a kameniva 1 : 4,6. Ve vzorcích nebyla identifikována žádná organická aditiva.

**Rudus** – násypovou vrstvu tvoří opuka, křemen, živce, jíly a slídy o velikosti do 10 mm. Distribuce velikosti částic pod 8 mm je rovnoměrná, podíl jemných částic menších než 63 μm činí asi 20 hm. %. Násypy obsahují také frakci o velikosti až 40 mm, která se skládá převážně z opukových litoklastů (cca 30 hm. %), křemene (38 hm. %), fragmentů druhotně použitých vápenných a hliněných malt (26 hm. %) a pojivových kusů včetně nedopalu (3,5 hm. %). Souhrnně obsahuje vrstva do 20 hm. % rozpustné karbonátové složky.<sup>31</sup> Karbonátový materiál mohl pocházet ze sutí starších staveb a z úlomků opuky, které v proměnlivém množství obsahují minerál kalcit. Pokud byla přítomna stavební suť, šlo převážně o omítku a vápeno-hliněnou mazanici, kterou řemeslníci před dalším použitím dobře nadrtili a přesáli. Ve vzorcích se nenacházely kousky malt větší než 30 mm.

**Dlažba** – pravidelné čtvercové opukové dlaždice

31 Stanoveno rozpouštěním karbonátové složky vzorku v kyselině HCl.

## ANALYZOVANÉ VZORKY

PH 30 Ložná malta pod/mezi/nad kameny statumenu

PH 31 Hutněná suť, vrstva rudus

PH 32 Hutněná suť, vrstva rudus/nukleus

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ

### A JEJICH POPIS

Místo odběru vzorků z podlahy na západní straně archeologické sondy v kapli zvané sv. Bartoloměje, vykopávky pod III. nádvořím, Pražský hrad. Vzorek PH 30 je pevná a tvrdá světle bílá vápenná malta bohatá na pojivo. Obsahuje kusy vápna o velikosti několika mm až po 1 cm. Největší vápenný shluk nalezený ve vzorku byl velký cca 40 mm v průměru. Vzorky PH 31 a PH 32 jsou z málo soudržné, 60–120 mm mocné vrstvy. Podle vzhledu jsou heterogenní (např. část se jeví jako z tepelně upraveného materiálu). Odebraný vzorek obsahuje úlomky opuky o velikosti cca 10–15 mm, vyskytují se ale i větší kousky o velikosti až 40 mm. Ve vrstvě se dále vyskytují úlomky malty, pravděpodobně se jedná o sekundární využití stavební sítě a velmi drobné kusy vápna.



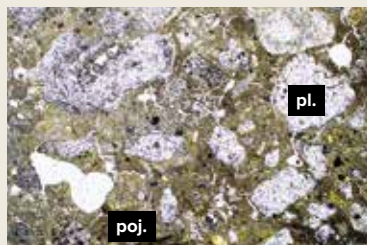
Ložná malta – vzorek PH 30 (A)



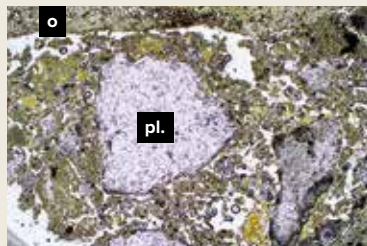
a hutněná suť – vzorek PH 31 (B).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Pojivo vzorku PH 30 je jemnozrnné až střednězrnné, kompaktní, celistvé, v určitých partiích drobně rozpraskané a rozpukané. Má hnědovou, místy až béžovou barvu se zlatavě zbarvenými enklávami (jílové minerály). Jako plnivo převládají křemenná zrna, méně se vyskytují klasty živců, dále slídy (muskovit), jílové minerály a jejich větší shluky, shluky jemnozrnné karbonátové hmoty a nově vykrystalizovaný kalcit, menší litoklasty (opuka) a méně i pozůstatky dřevní hmoty, popela a dalších reliktů po hoření. Převažují ostrohranná až polooostrohranná zrna, často výrazně porušená a rozpraskaná na drobné úlomky. Velikost zrn se pohybuje od 0,5 do 1 mm. Místy se nacházejí i větší komponenty (litoklasty opuky) do 8 mm. Vzorek PH 31 není klasický maltový preparát. Jedná se o vrstvy podlahového souvrství z klastického materiálu (převážně křemenných zrn, živců, slíd a úlomků opuky) zpevněné popelem a jílovými minerály.



Křemenné klasty – pl. a zlatavě zbarvené enklávy jílových minerálů v karbonátové základní hmotě – poj. PH 30. Pozorováno v PPL.

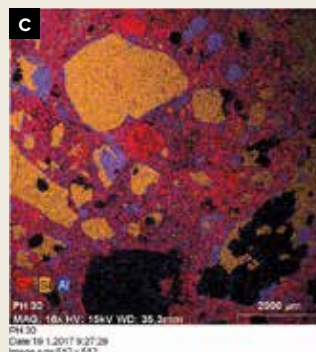
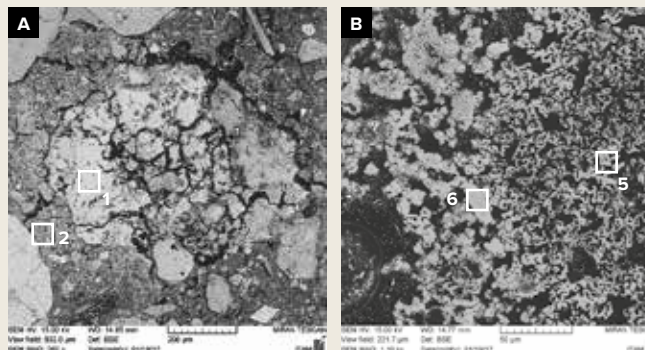


Křemenné klasty – pl., zlatavě zbarvené jílové minerály a část opukového úlomku – o (nahore). PH 31. Pozorováno v PPL.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

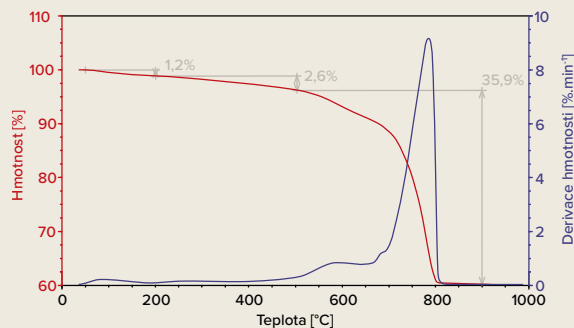
	PH 30				
	Pojivová částice	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)
	1	2	5	6	
CaO	98,0	90,9	98,7	98,0	85,7
SiO <sub>2</sub>	1,9	6,6	1,0	1,2	10,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	1,4	0,1	0,3	2,5
MgO		0,2	0,2	0,5	0,3
Na <sub>2</sub> O		0,2			0,1
K <sub>2</sub> O		0,4			0,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,3			
Suma	100	100	100	100	100
CI	0,06	0,22	0,03	0,04	0,38

CI – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické vápno; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Vzorek PH 30. Kalcitová vápenná částice v méně čisté pojivové matrici (A). Jemnozrnná pojivová matrice (B). Mapa rozložení prvků Ca (červená), Si (oranžová), Al (modrá) na části výbrusu vzorku PH 30 (C).

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku vápenné částice PH 32 L, rozklad  $\text{CaCO}_3$  nastává již při 500 °C, kdy se rozkládají metastabilní polymorfy (vaterit a aragonit) a nedokonale krystalovaný kalcit, od teploty 700 °C probíhá rozklad  $\text{CaCO}_3$  ve formě kalcitu. Celkový obsah  $\text{CaCO}_3$  je 81,6 hm. %.

## PRÁŠKOVÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE (XRD)

[hm. %]	Křemen	Kalcit	Albit	Muskovit	Mikroklin	Kaolinit	Amorfní fáze
PH 30 B	11,2	46,4	0,6	4,4	0,7	2,4	34,3
PH 32 B	20,8	13,6	3,1	2,3	3,6	6,3	50,4

## RENTGENOVÁ FLUORESCENCE (XRF)

[hm. %]	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_3$	Cl	$\text{K}_2\text{O}$
PH 30 B	0,02	1,28	5,38	19,07	0,16	0,03	1,27
PH 32 B	0,04	1,89	15,91	39,36	0,12	0,02	3,00

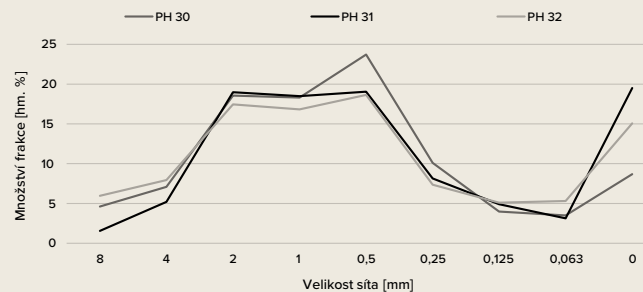
[hm. %]	CaO	$\text{TiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	SrO	LOI
PH 30 B	39,85	0,40	0,01	0,07	2,48	0,03	29,9
PH 32 B	16,66	0,85	0,01	0,06	5,26	0,01	16,8

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ OCTOVÉ

	Rozpuštění		Vypočtené hmotnostní dávkování	
	Navážka [g]	Ner rozpustný podíl [hm. %]	Rozpustný podíl [hm. %]	Vápenný hydrát : písek Nehašené vápno : písek
PH 30	152,8	72,1	27,9	1 : 3,5 1 : 4,6
PH 31	113,3	82,9	17,1	1 : 6,6 1 : 8,7
PH 32	220,4	89,4	10,6	1 : 11,4 1 : 15,1

## NEROZPUSTNÁ SLOŽKA – PÍSEK

Plnivo všech vzorků je tvořeno klasty křemene, živců, slíd a jílových minerálů. Maximální velikost zrn v maltě PH 30 je zhruba 10 mm, písek obsahuje nízké množství živců, což ovlivňuje světlé zbarvení malty. Násypy PH 31 a PH 32 obsahují také frakci o větší granulometrii (8–40 mm), která se skládá převážně z opukových litoklastů (cca 30 hm. %), křemene (38 hm. %), kusů malty (26 hm. %), nerozmíchaného pojiva a nedopalů (3,5 hm. %).



## ZÁVĚREČNÉ SHRNU TÍ

Karbonátové shluky v maltě PH 30 obsahují jen velmi málo příměsí ( $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a jsou bohaté na CaO. Pojivo (základní hmota mezi zrny) je slabě až středně hydraulické. Plnivo se skládá z křemene, živců, jílových minerálů a slíd. Násypové vrstvy PH 31 a PH 32 obsahují do 20 hm. % karbonátové složky. Majoritně je tvoří opuka, křemen, živec, slídy a jílové minerály s obsahem 20 hm. % frakce pod 63  $\mu\text{m}$ . Pravděpodobně jsou zde přítomny i úlomky starší, druhotně použité vápenné a hliněné malty.

# VÝBĚR MATERIÁLŮ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ TECHNOLOGIÍ

## MATERIÁLY PRO EXPERIMENTÁLNÍ VÝROBU KOPIE

Obě zkoumané podlahy se nacházejí na Pražském hradě, a přestože nepocházejí ze stejné doby, složení jejich pojiva a plniva je podobné. Je zřejmé, že stavitelé měli k dispozici stejné nebo obdobné suroviny a při zpracování surovin a jejich použití používali shodné technologické postupy. V obou případech upotřebili vzdušné i hydraulické vápno, v maltě byl nalezen také úlomek krystalického vápence.

Uvážíme-li, že vápenné suroviny pocházely s největší pravděpodobností z oblasti Pražské pánve, nejlépe krystalické surovině svým složením i strukturou odpovídá slivenecký vápenec. Jde o sedimentární vápenec, který je však tvořen poměrně velkými krystalky kalcitu.<sup>32</sup> Těžba tohoto kamene je známa již ve středověku, pro své vlastnosti se používal na náhrobní desky, epitafy a jiné dekorační obklady či předměty.<sup>33</sup> Surovinou pro výrobu hydraulického vápna mohly být dvorecko-prokopské vápence. Ty byly ve 14. stol. dobývány z branické skály, ale jejich lokální těžbu lze předpokládat, vzhledem k rozsáhlému výskytu v jihozápadním okolí Prahy, i dříve.<sup>34</sup> Obdobně lze uvažovat o využívání dalších vápenců, např. zlíčovských, které se stratigraficky rozprostírají nad dvorecko-prokopskými. Jejich specifikem je výskyt rohovců a relativně nehomogenně rozmístěné znečištění jílovými minerály.<sup>35</sup> Slabě hydraulické až čisté vápno se mohlo vyrábět např. z kosořských vápenců.

Přesné typy původně použitých vápenců nebylo možné analyticky určit, ale s ohledem na složení a odhadované možnosti tehdejší doby byly pro výrobu experimentální kopie vybrány dvorecko-prokopské vápence z historického branického lomu a zlíčovské vápence z aktivně těženého lomu u Kosoře. Právě ony po výpalu poskytnou přirozená hydraulická vápna s různým stupněm hydraulicity.

Písky obsažené v konstrukčních vrstvách v mladší podlaze kapse zvané sv. Bartoloměje mají stejné mineralogické složení, převažuje křemen, dále se vyskytují živce, jíly a slídy. Písky v jednotlivých

vrstvách mají pouze lehce odlišnou granulometrickou křivku. Tvar zrn je poloostrohranný, pravděpodobně jde o říční písek. U podlahy z rotundy sv. Víta nebylo možné analyzovat větší množství vzorků k přesnějšímu popisu kameniva, z optické mikroskopie je však patrné, že se jedná o drobná zaoblená zrna křemičitého písku, pravděpodobně říčního původu. V obou případech byl patrně použit snadno dostupný říční písek místní proveniencí. Pro experimenty byl vybrán komerčně běžně dostupný poloostrohranný křemičitý písek.

Z opuky jsou v podlaze kapse zvané sv. Bartoloměje nejen dlaždice, ale v podobě úlomkových fragmentů se nachází také v násypových vrstvách. Ke specifikaci jejího původu bylo využito mineralogické složení tří vzorků z násypové vrstvy, na jehož základě ji lze označit jako bělohorskou opuku, což odpovídá i nejbližšímu zdroji tohoto kamene.

Pro klasifikaci opuk bylo použito schéma založené na poměrném zastoupení tří hlavních složek: amorfni a kryptokrystalické formy  $\text{SiO}_2$ , karbonátů a jílových minerálů.<sup>36</sup> Při zjednodušeném hodnocení vzorků byl jako amorfni  $\text{SiO}_2$  brán celý amorfni podíl, ačkoli může zahrnovat také část jílových minerálů, ovšem jejich přesný poměr nelze dostupnými metodami snadno detekovat. Za jílovité materiály se považují muskovit 2M1 a kaolinit. Karbonátovou složkou je pouze kalcit. Dva analyzované vzorky odpovídají oblasti typické pro bělohorskou opuku, třetí vzorek je této oblasti blízký. (17)

## STUDIUM KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD PODLAH

Pro konkrétnější představu o výrobních technologiích a konstrukčních zásadách lze vycházet z dříve vyrobených replik podlah inspirovaných Vitruviem (18, 19) a tradičního benátského terrazza. (20) Následuje stručné shrnutí poznatků z experimentu:

Složení ze tří poměrně silných vrstev tvoří robustní podlahovou konstrukci, která se při zatížení jeví jako velmi odolná. Postupné zmenšování kameniva směrem nahoru odpovídá i současným technologiím dusaných základů zámkové dlažby. Tloušťka vrstev vycházela z popisu Vitruvia, ale lze očekávat, že i v tehdejší praxi se přizpůsobovala konkrétní stavbě a situaci a spíše se zmenšovala.<sup>37</sup>

Založení podlahy kameny kladenými šikmo přes sebe umožňuje jejich vzájemné spolupůsobení. Položení kamenů do příliš vlhké malty vyžaduje technologickou přestávku, jinak je základová konstrukce

32 Slivenecký vápenec neprošel plnou metamorfózou. Z geologického pohledu je tedy jeho označení jako mramor nepřesné.

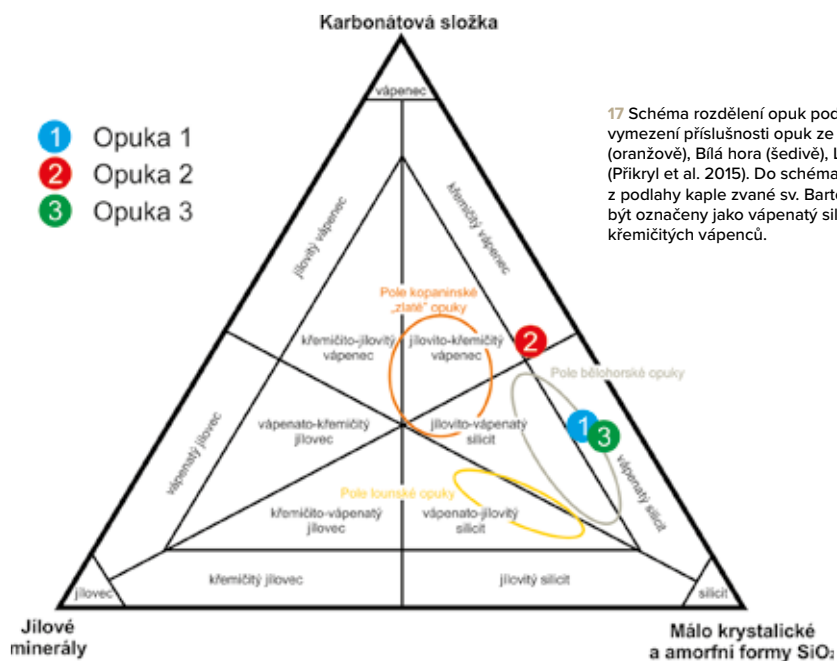
33 Rybařík 2017.

34 Suchý 2014, 2015.

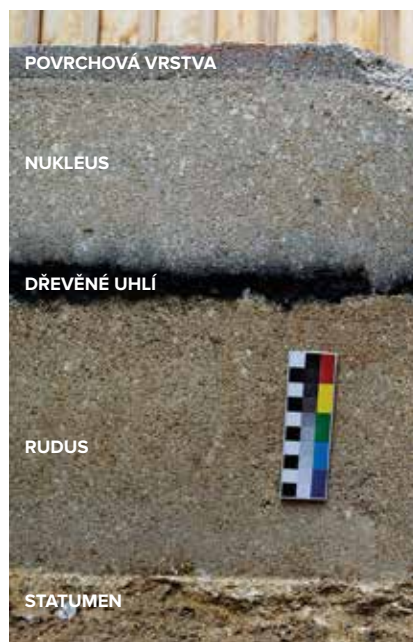
35 Vápno ze zlíčovských vápenců je v průměru slabě až středně hydraulické. V kusovém vápně se mohou vyskytovat jak velmi čisté, tak silně hydraulické partie. Rohovcové vložky nejsou při výpalu reaktivní a musí se vytřídit.

36 Klasifikace dle metodiky Materiálový rozbor přírodního kamene z PíF UK, Příkrýl et al. 2015.

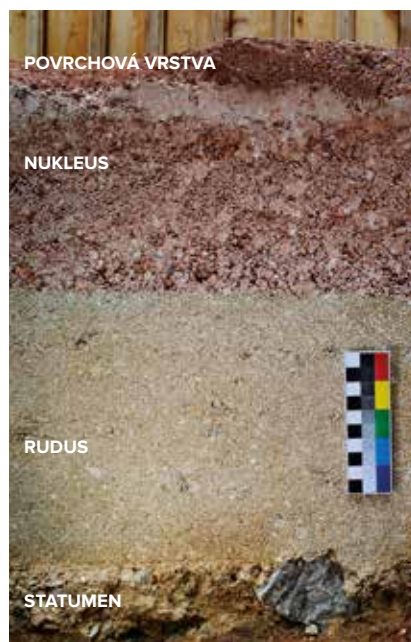
37 Secco et al. 2018.



17 Schéma rozdělení opuk podle tří hlavních složek a příklad vymezení příslušnosti opuk ze tří oblastí: Přední Kopanina (oranžově), Bílá hora (šedivě), Louny (žlutě). Převzato z metodiky (Příkrýl et al. 2015). Do schématu jsou zaneseny tři vzorky opuky z podlahy kaple zvané sv. Bartoloměje. Opuky 1 a 3 mohou být označeny jako vápenatý silicit, opuka 2 spadá do oblasti křemičitých vápenců.



18 Výškový profil experimentálního panelu řecké podlahy.



19 Výškový profil experimentálního panelu řecké podlahy.

příliš měkká a další vrstvy nelze udusat. Možným řešením je, že se použije horká malta, která se připraví smícháním nehašeného vápna a písku. Reakce a zvýšená teplota malty urychlí její ztuhnutí. Když se neporézní kameny položí přímo na udusaný podklad bez malty, vzniká vzduchová mezera, která přeruší kapilární vztlínání a omezí tak vlhnutí podlahy.

Dusané vrstvy rudus a nukleus obsahovaly vápenné pojivo. Aby bylo možné směs dusat, musela být pouze zavlhlá. Nešlo tedy o typickou maltu, ale spíše o sytkou směs. K tomuto účelu se nejlépe osvědčilo hašení vápna na prach ponořením do vody. Výsledný hydrát se následně smíchal s kamenivem. Na profilu nebylo možné jasně rozeznat jednotlivé várky malty, po kterých se hutnilo. V profilech podlah jsou zřetelné částice pojiva, které nebyly ve směsi zcela rozmíchány.

Funkci dřevěného uhlí v řecké podlaze popsané Vitruviem experiment zcela neobjasnil. Vrstva mohla sloužit jako jakási hydroizolace, respektive přerušení kapilárního vztlínání. Obdobně mohla působit jako přerušení tepelného mostu a separace základových vrstev statumenu a rudus od vrstev, jež tvořily svrchní část podlahy.



**20** Povrch experimentálního panelu, benátské terrazzo. Vlevo je povrch vybroušen brusnými kameny, na pravou část byla použita elektrická bruska.

Povrchová vrstva mohla být pouze hlazená, ale vizuálně efektivnější je broušený povrch. Brousit je možné, až když malta vyzraje a vytvrdí se. V tomto případě je nutné počítat s otevřením struktury materiálu a jeho zvýšenou savostí. Tu je možné upravit tak, že se napustí hydrofobním nátěrem, např. olejem. Terrazzo se naopak brousilo již po několika hodinách po zatlačení kamenů. Broušením a zatlačováním jemného prachu do spár mezi kameny se vytvářela pevná a odolná vrstva. **(20, 21)** Technika broušení nevytvrzeného povrchu vyžaduje praktickou zkušenost.



**21** Detail vybroušeného povrchu terrazzo po navlhčení, vlevo je podlaha vybroušena kameny, v pravé části je dokonaleji vybroušena a vyleštěna elektrickou bruskou, uprostřed v přechodové části je vidět nezbroušený povrch.

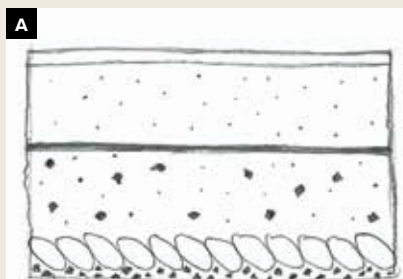


## ŘECKÁ PODLAHA

„Řeckou podlahu“ popisuje Vitruvius jako účelnou a nenákladnou úpravu, kterou Řekové používali v zimních jídelnách. (Vitruvius, Kniha VII., kapitola I.) Podle autora by měla mít po vyhlazení bruslem vzhled černé mramorové dlažby. Jako její hlavní výhodu vyzdvihuje výbornou savost povrchu. „Co se při hostinách vyleje z číše nebo se odplivne při ochutnávání vína, dopadá tak na zem a zároveň již schne, takže přítomná obsluha se na takové dlažbě nenachladí, ani je-li bosa.“

Pokusná rekonstrukce se uskutečnila v exteriéru do vykopané jámy o hloubce 0,5 m. (22 A) Dno jámy se udusalo a pokrylo slabou vrstvou štěrku. *Statumen* byl vytvořen na sucho položenými kameny o velikosti asi 150–200 mm. (22 B) *Rudus* obsahoval vápno a kamenivo v poměru 1 : 3 obj., přičemž jednu šestinu kameniva tvořil štěrk. Vzdušné vápno se asi dvě hodiny předem vyhasilo na prach ponořením do vody. Vápenný hydrát s pískem a štěrkem se nejprve na sucho promíchaly a posléze dostatečně zvlhčily, aby se výsledná směs dobře dusala. K dusání bylo použito dřevěné a kovové dusadlo. (22 C)

Na takto upravenou podlahovou směs se nasypala a upěchovala vrstva dřevěného uhlí o tloušťce asi 3 cm před udusáním. (22 D) Vrstva *nukleus* byla umíchána ze směsi vápna, písku a popela. Poměr mísení činil 1 : 3 – vápno ku kamenivu, popel tvořil 5 obj. % kameniva. (22 E) Jako pojivo bylo použito přirozené hydraulické vápno hašené kropením na prach asi dvě hodiny předem. Směs se nejdříve promíchala nasucho a potom se dostatečně zvlhčila. Vrstva byla pečlivě hutněna po částech, v každé fázi se dbalo na udržení vodorovné plochy. (22 F) Na *nukleus* se navršila jemnozrnná povrchová vrstva. Poměr vápna ku kamenivu byl 1 : 2 obj. a popel tvořil 12,5 obj. % kameniva, což vytvořilo výraznější zbarvení než u předchozí vrstvy. (22 G) Po pečlivém udusání se povrch lehce zahladil dřevem. Řeckou podlahu je podle literatury možné upravit broušením, což se poté, když vyzrála, potvrdilo i v našem případě, ale nebyla úplně hladká. (22 H) Nastal problém s tvrdostí křemenného plniva oproti matici. Ve Středomoří mohli řemeslníci využívat měkčí kamenivo vápencového původu, jehož tvrdost byla srovnatelná s vápennou maticí.

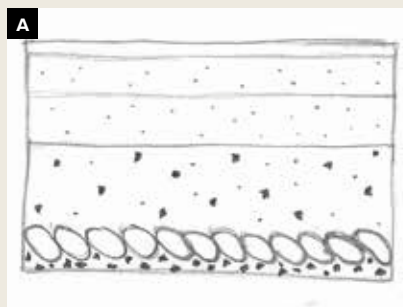


22 Postup výroby řecké podlahy.

## ŘÍMSKÁ PODLAHA

Jako druhý vzor byla během experimentu následována římská podlaha. Tato podlaha se podle Vitruvia používala v přízemí, v patrech, a dokonce i v exteriéru (Vitruvius, Kniha VII., kapitola IV) V exteriérové úpravě doporučuje větší tloušťku jednotlivých vrstev. Jako pochozí vrstvu Vitruvius popisuje dlažbu nebo klasovité vydláždění pálenými cihlami. (23 A)

*Statumen* se stejně jako u řecké podlahy tvoří na sucho položenými kameny. (23 B) Na *rudus* posloužila směs vápna a kameniva v poměru 1 : 3 obj., jednu šestinu kameniva nahradil štěrk. (23 C) Použito se přirozené hydraulické vápno, které se předem vyhasilo na prach kropením vodou. Promíchaná suchá směs byla navlhčena vodou, aby se dobře dusala. V udusaném profilu lze pozorovat zřetelné kousky vápenného pojiva. Při kvalitním udusání nejsou jednotlivé dávky dusaného materiálu k rozeznání. Vrstva *nukleus* u římské podlahy byla umíchána ze směsi vápna a drcené cihly. (23 D) Poměr první dávky činil 1 : 3 obj., potom byl změněn na 1 : 2 obj. Použité vápno bylo vzdušné, vyhašené předem na prach. Drcenou cihlu tvořila frakce pod 2 cm. (23 E) Povrchová vrstva byla umíchána ve stejném poměru jako druhá vrstva *nukleu*, tj. 1 : 2 obj. vápna ku drcené cihle. Po vizuálním hodnocení předchozích vrstev bylo rozhodnuto obohatit cihelnou drť o jemný podíl tak, že ji tvořil 1 : 1 obj. frakce pod 2 cm a frakce pod 1 mm. Povrchová vrstva byla udusána a srovnána do roviny stejně pečlivě jako ty předchozí. Povrch tvořila kompaktní cihlově růžová vrstva, ve které nelze kousky vápna dobře rozeznat. (23 F) Část podlahy se dva až tři dny po položení (stále ve vlhkém stavu) brousila sadou brusných kamenů. (23 G) Před broušením byla lokálně navlhčena.



23 Postup výroby římské podlahy.

## BENÁTSKÉ TERRAZZO

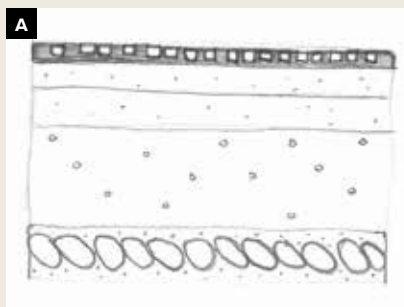
Terrazzo slouží k tradiční úpravě podlah, a proto bylo zvoleno jako další předloha pro experimentální kopii. Používalo se již ve starověkém Řecku a svého vrcholu dosáhlo v Itálii, v oblasti Benátek. (24 A)

Moderní terrazzo se vyrábí ze směsi cementu, vápna a ušlechtilých kamenů. Ve středomořských historických podlahách zabezpečily jejich hydraulické vlastnosti pucolány, drčené cihly a keramické střepy, které reagují s přítomným vápenným pojivem.

Kameny v podkladové vrstvě *statumenu* byly položeny do malty, připravené vyhašením vápna s pískem po vrstvách ve hromadě. (24 B) Kameny byly velké okolo 150–200 mm. *Statumen* se lehkým dřevěným dusadlem udusal do roviny. Nevýhodou kamenů položených do malty na rozdíl od kamenů pokládaných na sucho byla měkkost podkladu pro další vrstvy, která přetrvávala i v následujících dnech. Nejvíce byla znát při dusání vrstvy *rudus*. (24 C)

Podlahová směs – *rudus* – se umíchala z vápna a z drčené cihly v poměru 1 : 3. (24 D) Vzdušné vápno se předem vyhasilo na prach. U cihly se použila celá velikostní frakce, kterou se podařilo získat nadrcením, tj. pod 2 cm. Nukleus se umíchala ze stejné směsi jako předchozí vrstva, ale poměr vápna k cihle byl upraven na 1 : 2 obj. (24 E) Povrchová vrstva sloužila jako podklad pro mozaiku z mramorových odštěpků.

Směs se umíchala z vyhašeného vápna a drčené cihly, obojí frakce < 4 mm, v poměru 1 : 2. Vrstva se řádně uhladila pomocí kovového hladítka. Ve směsi nesmí být moc vody, protože pouze v tuhé hmotě se kamínky při válcování a zatlačování otáčejí a usazují na plochu. V řídké směsi by se pouze zatlačily do hloubky, ale neotáčely by se. Při umísťování kamenů se nejprve pokládají ty větší. (24 F) Postupně se kladou menší a menší kameny tak, aby se zaplnily mezery a vznikl žádaný vzhled. Kameny se poté opatrně zatlačují. Velké se mohou vtlačovat ručně. Aby se vtlačily rovnoměrně, použil se kovový válec. Vtlačené kamínky byly pokryté tenkou vrstvou, která vznikla vytlačením hmoty a vlhčením. (24 G) Povrch se poté brousil pomocí pískovcových kamenů, (24 H) při broušení se jemně zvlhčuje vodou. V okamžiku, kdy povrch přestane vodu absorbovat, takže je voda vidět, musí se přestat na daném místě brousit.



24 Postup výroby benátského terrazza.

# VÝROBA EXPERIMENTÁLNÍ KOPIE

Při tvorbě experimentálních kopií dvou románských podlahových konstrukcí byly dodrženy základní charakteristiky historických předloh:

- regionální příslušnost vápenného pojiva k Pražské pánvi;
- výpal a zpracování vápenného pojiva tradičními technologiemi;
- tloušťka a skladba jednotlivých vrstev;
- manuální hutnění jednotlivých vrstev;
- povrchová úprava – zdobení maltové podlahy před utužením, osazení dlažby na sucho.

Hlavním cílem experimentu bylo poznání konstrukce podlahového souvrství a jejího technologického postupu výroby ve vztahu k vápennému pojivu a maltám. Nejednalo se přímo o výrobu technologické kopie, takže se nemuselo dbát na přesné zkopírování surovin nebo technologických postupů. Pouze výjimečně, z praktických důvodů, opukovou dlažbu nahradil odlišný materiál, pálená keramika. Na druhou stranu každému experimentu předcházela výzkum, ze kterého pak následující postup vycházel, a o konkrétním řešení rozhodly dostupné možnosti.

K výrobě slabě až středně hydraulického vápna posloužily dvo-recko-prokopský a zlíchovský vápenec z Braníka a Kosoře. Obě suroviny byly vypáleny v experimentální vápenné peci v Solvayových lomech tradičním způsobem napodobujícím historickou výrobu. Po výpalu se odstranil zjevný nedopal, zbytek se smíchal a použil pro přípravu malty. V obou studovaných historických maltách z podlah kostela sv. Víta a kaple zvané sv. Bartoloměje se vlivem jejich zpracování nacházejí pojivové částice velké až několik centimetrů. Větší vápenné kousky jsou typické pro tzv. horké malty, připravené hašením vápna s pískem. Ze vzorků nelze doložit, zda byla malta použita ještě teplá, tzv. horká, či šlo o dlouhodobější proces přípravy, jenž zahrnoval odležení malty. Podstatný je však proces zpracování, při němž se nehasené vápno smíchá a hasí přímo s pískem.

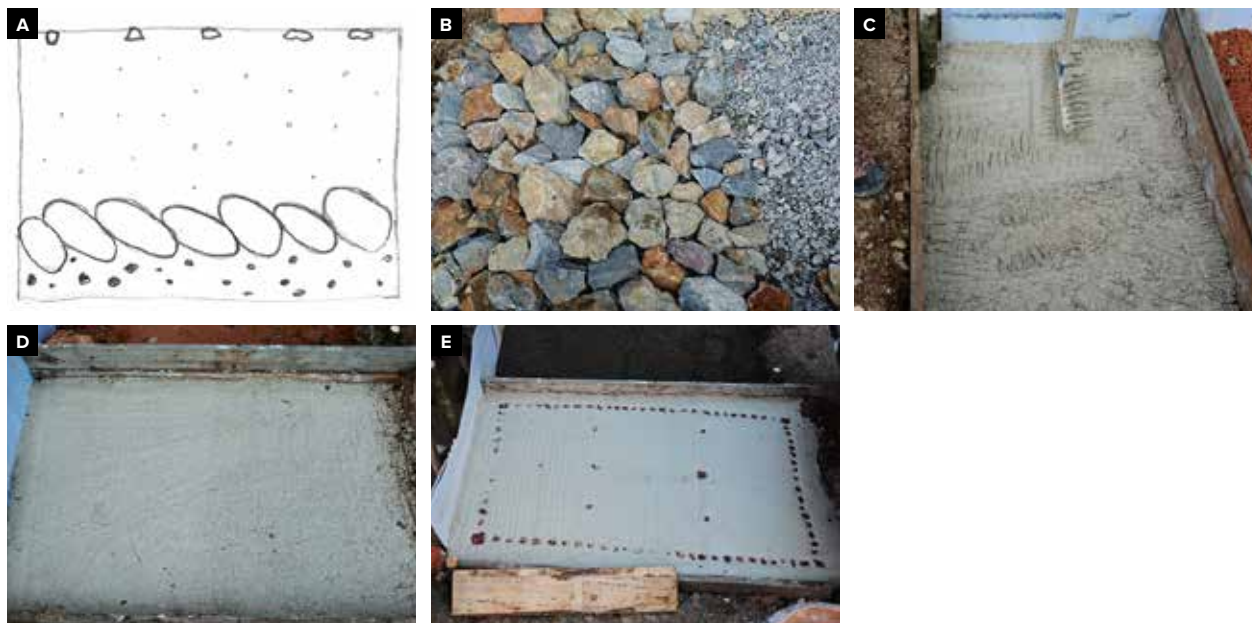
Pro jednovrstvou maltovou podlahu a základ (osazení kamenů statumenu) třívrstvé podlahy byla potřeba maltová směs s vyšší plasticitou, která zároveň obsahovala relativně vysoký podíl pojiva bez výrazného smrštění během vysychání. Z průzkumů a analýz je zřejmé, že konzistence těchto malt použitých v podlaze musela být poměrně hutná, čemuž nasvědčuje i malý počet mikroprasklin v odebraných vzorcích. Zdálo se, že využít techniku horké malty bylo výhodné. Na tento postup výroby odkazují četná historická vyobrazení, ale teprve realizace zamýšlené podlahové plochy vzorku měla tuto techniku ověřit v praxi.

Pro přípravu sušších a dobře zhutnitelných směsí se osvědčilo hašení vápna na prach. Vznikl tak vápenný hydrát, který se po vychladnutí očistil od větších částic, nedopalu či nedovyhašeného materiálu přesátím přes síto s oky o hraně 4 mm.

## SKLADBA MALTOVÉ PODLAHY

Vápenná podlaha obsahuje poměrně silnou vrstvu malty, kterou na povrchu zdobily oblázky nebo keramické střepy. **(25 A)** Podkladová vrstva, na níž se pokládala, není z archeologických nálezů zřejmá. V rotundě sv. Víta byla patrně položena na předchozí vrstvu vápenné mazanice, jak plyne z nákresu K. Hilberta. Při výrobě experimentální kopie byla použita stejná základová vrstva jako u třívrstvé podlahy. Velikost experimentálního vzorku podlahy je 1,2 × 1,0 m. Dno výkopu hlubokého asi 30 cm bylo po udusání pokryto štěrkovým podsypem. Statumen tvořily na sucho položené kameny o velikosti asi 150–200 mm. **(25 B)** Podlahová směs obsahovala kusové hydraulické vápno ze Zlíchova hašené s křemenným pískem jako „horká malta“ v poměru 1 : 2 objemově. Malta byla použita přibližně dvě hodiny po vyhašení a nanášela se ve vrstvách. **(25 C)** Každá vrstva byla lehce zhutněna a od oka urovnaná. Při poslední úpravě se vrstva pomocí dřeva urovnala do vodorovné roviny.<sup>38</sup> **(25 D)** Na originálu se nenášly stopy žádného nástroje (dusadla či hladítka). Podlahový panel byl ozdoben vtlačáním jednotlivých kousků cihelné drti do zarovnané povrchové vrstvy. **(25 E)** Malta byla poměrně tuhá a nesmáčela povrch keramiky. Osazováním se tak vtlačovala kolem okrajů střepů. Postupně se ale okraje zatáhly, a některé kousky keramiky se dokonce částečně i propadly. Experimentální panel je ponechán v exteriérových podmínkách – po třech obdobích zimy na něm nejsou vidět výrazné stopy degradace. **(26, 27)**

38 Při závěrečných úpravách historické předlohy malty nebyly následovány nerovnosti historické předlohy, protože konkrétní vazba na aplikační techniky nebyla zřejmá.



25 Postup výroby experimentální kopie maltové podlahy.



26 Řez jednovrstvou maltovou podlahou zhotovenou podle vzorku podlahy z rotundy sv. Víta.



27 Stav lité maltové podlahy po třech letech vystavení venkovnímu klimatu a občasnému pěšímu provozu.



28 Postup výroby experimentální kopie třívrstvé podlahy s dlažbou.



29 Řez románskou podlahou vytvořenou podle vzoru kaple zvané sv. Bartoloměje.

## SKLADBA TŘÍVRSTVÉ PODLAHY S DLAŽBOU

Experimentální kopie podlahy napodobuje skladbu popsanou z kaple zvané sv. Bartoloměje, v níž se nad statumenem (základem) nacházejí upěchované suťové násypy, na které je shora nasucho položena dlažba. (28 A, 29) Replika o velikosti 1,2 × 1 m byla vsazena do výkopu hlubokého asi 30 cm. Statumen sestával z kamenů kladených na sucho na štěrkový podsyp, (28 B) které seshora zpevnila malta z brnického vápna (dvorecko-prokopské vápence) hašeného s pískem v objemovém poměru 1 : 3 (kusové vápno ku písku). (28 C) Pokud se tato vrstva klade zespod na sucho, měla by bránit kapilárnímu vztlínání vlhkosti. Leon Battista Alberti ve svých *Deseti knihách o stavitelství* uvádí, že „vlhkost ze země až kupodivu neproniká do horních podlahových vrstev, je-li pod podlahou nastlán takovýto kámen“.<sup>39</sup> K udusání se použila dřevěná dusadla, která každou vrstvu zarovnávala do vodorovné roviny. Násypová vrstva má vyrovnávací a částečně i tepelněizolační funkci. V historických pramenech se doporučuje, aby její tloušťka byla větší než ¾ stopy. Násypové vrstvy tvořila postupně hrubší a jemnější suť. (28 D) V archeologické sondě bylo v suti identifikováno poměrně velké množství karbonátů (až do 20 hm. %). Poměr mísení suti byl objemově stanoven tak, že ke dvěma 15litrovým vědrům suti se přidalo 1,5 litru hašeného prachového vápna ze zlíčovského vápence. Každá vrstva násypu se pečlivě upěchovala a srovnala do roviny. Jako náhrada původní opukové dlažby se použily keramické dlaždice 12 × 24 cm o tloušťce 3 cm. Dlažba se položila přímo na suť bez maltového lůžka podle originálu. (28 E, F)

## VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Příprava technologických kopií podlah přispěla k lepší představě o výstavbě těchto konstrukcí.

Experimentálně se podařilo ověřit, že je možné vyrobit poměrně silnou maltovou vrstvu bohatou na pojivo, která vyhovuje požadavkům na podlahovou konstrukci. Podařilo se vyrobit vzorek lité podlahy z „horké“ malty bez smršťovacích trhlin a jiných konstrukčních defektů. Pro zhotovení je nutné dodržet určité základní zásady výroby a zpracování vápenné malty. Nepochybnou přidanou hodnotou je využití vápenného pojiva, které je přirozeně hydraulické. Způsob hašení vápna s pískem, tedy výroby tzv. horké malty, přispěl k dobré plasticitě směsi, dané vyšším obsahem pojiva, který zároveň umožnil, aby se snížilo množství záměsové vody. Doznívající reakce

multifázového složení hydraulického vápna s vodou měla pozitivní vliv na tuhnutí směsi bez tvorby makroskopických trhlin. Zdobení maltové vrstvy bylo provedeno do čerstvé malty. Pro technologickou kopii se použily úlomky cihly, které během několika prvních hodin částečně klesly do malty. Obdobně jako u originálu se na styku s maltou vytvořilo charakteristické zaoblení dané zatlačováním. Nerovnosti povrchu originálu nebyly předmětem experimentu, ale je zjevné, že zvolená konzistence malty by jejich vznik umožnila. Z pohledu technologie výroby a využití vápenného pojiva byla jednoznačně důležitá optimální konzistence. Maltové směsi, které se mají hutnit, musí mít velmi nízký vodní součinitel, kterého je možné dosáhnout pouze mísením relativně suchých směsí. To má vliv na přípravu vápenného pojiva, které se (ideálně) přidává jako prachové hašené vápno. Pro výrobu funkčního vzorku se osvědčilo hašení vápna na prach ponořením do vody, známé též jako historický způsob hašení vápna v koších.

Míru hutnění zásypu dusáním srovnatelnou s originálem bylo obtížné stanovit jinak než empiricky. Při hutnění se odzkoušely různé těžké nástroje. Obecně je nutné při něm postupně přidávat na intenzitě, tj. využívat nejprve lehčí dusadla a až následně ta těžší. Při přípravě maltové podlahy i některých vrstev ostatních podlah na bázi maltové směsi se ukázalo, že dobře zdusané vrstvy maltové směsi nelze od sebe na profilu dobře rozeznat. Rozdíl oproti originálu se projevil zejména v homogenitě násypové směsi. Při pečlivém postupu je možné dosáhnout velmi dobrého stupně zhutnění, patrně většího než u originálu.

Konzistence směsí je důležitá jak pro zhutnění, tak z hlediska vyrovnávání do roviny. Při pokládání dlaždic musí být povrch dobře urovnán, aby k sobě dlaždice dobře sedly. Přes tuto snahu vznikly drobné spáry. Vzhledem k sesednutí terénu kaple zvané sv. Bartoloměje nelze o původní šířce spár mezi dlaždicemi uvést podrobnější informace. Původní dlažba mohla být též drobně upravována na míru přímo na místě.

Přenesení technologie vrstvené podlahové konstrukce do našeho prostředí se přizpůsobilo místním materiálům a nepochybně došlo i k určitému posunu použitých výrobních procesů. Zajímavé je například kompletní vyplnění spár kamenů základu podlahy u mladšího podlahového souvrství oproti starší podlahové konstrukci. Jako by bylo technologicky méně dokonalé, jelikož nezohlednilo účelnost vzduchových mezer kvůli pronikání vody.

S odstupem času je možné hodnotit i kvalitu podlah z hlediska jejich trvanlivosti. Panely jsou vystaveny venkovnímu prostředí, a tudíž i vyšší zátěži mrazem ve stavu poměrně blízkém nasycení vodou. Vzorky podlah jsou též zatíženy peším provozem. Maltová podlahy pod podmínkám odolává dobře, včetně dekorace, keramickou dlažbu místy poškodil mráz. V dlážděné podlaze některé dlaždice mírně poklesly, což je možné spojovat s vodním režimem a narušením během zimních mrazů.

39 Alberti 1956. U originálu byl z tohoto pohledu použit nevhodný kámen – opuka, která má velmi vysokou otevřenou porozitu a je kapilárně aktivní. Navíc řemeslníci kladli kameny statumenu do malty, a tudíž mezi nimi nenechali vzduchovou mezeru. U starší podlahy kaple byl statumen položen na sucho, ovšem opět z tehdy využívané opuky – tedy kamene velmi vhodného pro vedení vody kapilárním vztlínáním.

Historické podlahové konstrukce nejsou vždy složeny z několika vrstev, a přesto s ohledem na jejich využití mohly úspěšně sloužit svému účelu. Nepochybně vždy záleželo na konkrétním podloží. Pokud byla podlaha založena na nezpevněných násypch, nemohlo ani velmi kvalitní provedení třívrstvé podlahy odolat sedání celku, jak lze dokumentovat na příkladu kaple zvané sv. Bartoloměje. Na druhou stranu složení a provedení podlahových vrstev dokládá záměr stavitele, popř. i to, jak pokročilé byly jeho znalosti.

V případě fragmentu z rotundy sv. Víta popis celkové skladby podlahy chybí, ale protože je litá, svědčí o dobré znalosti místních surovin a jejich zpracování. Tento konstrukční typ je možné považovat za technologický import z dnešní Moravy, Slovenska a Rakouska, kam se pravděpodobně dostal z oblasti antických tradic Panonie a severního Adriaticku.

Podlaha kaple zvané sv. Bartoloměje je zajímavá svou poměrně kvalitní konstrukční skladbou, přestože byla stavěna na již existující podlaze a násypu. Takové podlahové konstrukce jsou mnohdy zjednodušeny. Důvody, proč byla oproti původní podlaze o 80 cm navýšena, nejsou známy, mohlo jít o pokus vyrovnat pohyby sedajícího podloží. Také proto se řemeslníci patrně rozhodli pro relativně komplexní skladbu s vlastním základem, která dokládá, jak důležitý byl nejen výběr místa, ale také schopnosti stavitelů a stavebníků.

Obě zkoumané podlahy poskytují informace, které jsou zásadní pro lepší chápání importu stavebních technologií. Zatím se zdá, že hlavním nositelem těchto inovací byla církev. V první řadě jsou jimi znalost domácích surovin a jejich zpracování. Dále se ukazuje, že inspirace přicházely z různých oblastí křesťanské Evropy, a bude proto zajímavé dále sledovat cesty, kterými pronikly do českých zemí.

## LITERATURA

Alberti, L. B. 1956. *Deset knih o stavitelství*. Praha: SNKLHU – Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění.

Borkovský, I. 1960. „K otázce nejstarších kostelů na Pražském hradě“. *Památky archeologické* 51: 332–387.

Borkovský, I. 1961. „Bartolomějský kostelík na Pražském hradě“. *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity: F, Řada uměnovědná* 5: 151–155.

Borkovský, I. 1969. *Pražský hrad v době přemyslovských knížat*. Památníky naší minulosti 6. Praha: Academia.

Čiháková, J., M. Müller. 2020. *Malostranská rotunda svatého Václava v Praze*, Archeologické prameny k dějinám Prahy 8. Praha: NPÚ.

Dragoun, Z., M. Tryml, J. Škabrada. 2002. *Románské domy v Praze*. Praha: Paseka.

Fleková, K., Z. Čížmár, R. Procházka. 2012. „Nález románských dlaždic v Rokytne“. In *Mezi raným a vrcholným středověkem: Pavlu Kouřilovi k šedesátým narozeninám přátelé, kolegové a žáci*, 279–300. Brno: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.

Frolík, J. 1999. „Dům pražského biskupa na Pražském hradě do konce 13. století na základě archeologického výzkumu v roce 1984.“ In *Castrum Pragense* 2, 169–202. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.

Frolík, J., J. Maříková-Kubková, E. Růžičková, A. Zeman. 2000. *Nejstarší sakrální architektura Pražského hradu: výpověď archeologických pramenů*. *Castrum Pragense* 3. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.

Hejdová, D., B. Nechvátal. 1970. „Raně středověké dlaždice v Čechách“. *Památky archeologické* 61: 100–183, 395–471.

Hrdlička, L. 1997. „K výpovědi stratigrafického vývoje Pražského hradu“. *Archeologické rozhledy* 49 (4): 649–662.

Kuna, M., M. Starcová, J. Maříková-Kubková (eds). 2019. *Sto let v archeologii: Objevy, nálezy a expedice Archeologického ústavu v Praze 1919–2019 = A Hundred Years In Archeology: Discoveries, Finds And Expeditions Of The Institute Of Archaeology In Prague 1919–2019*. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.



Lazzarini, L. 2008. *I Pavimenti alla Veneziana*. Itálie: Cierre Edizioni.

Maříková-Kubková, J. 2019. *Katedrála viditelná a neviditelná: Průvodce tisíciletou historií katedrály sv. Víta, Václava, Vojtěcha a Panny Marie na Pražském hradě*. Praha: Hilbertinum – Společnost Kamila Hilberta.

Maříková-Kubková, J., P. Baxa. 2012. „Situation Report of the Corpus architecturae religiosae europeae (saec. IV-X) (CARE) for the Czech and Slovak Republic“. *Hortus Artium Medievalium* 18/1: 75–83.

Maříková-Kubková, J., I. Herichová. 2009. *Archeologický atlas Pražského hradu I. Katedrála sv. Víta – Vikářská ulice*. Castrum Pragense 10. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.

Merhautová, A. 1988. *Skromné umění*. Praha: Academia.

Papajanni, K., J. Ley. 2016. *Karolingerzeitliche Mauertechnik in Deutschland und in der Schweiz*, Berlin: Schnell & Steiner.

Příkryl, R., A. Šťastná, J. Příkrylová, L. Zamrazilová, Z. Weishauptová. 2015. „Materiálový rozbor přírodního kamene – opuky – exaktními laboratorními metodami jako nástroj ke stanovení zdrojové oblasti“. Online. Certifikovaná metodika, Praha. [https://www.avu.cz/sites/default/files/document/3934/certifikovana\\_metodika\\_opuky.pdf](https://www.avu.cz/sites/default/files/document/3934/certifikovana_metodika_opuky.pdf).

Rybařík, V. 2017. *Pražští skalníci, kameníci a sochaři: dvacet pět kapitol z historie pražského lomařství, kamenictví a sochařství*. Praha: Česká geologická služba.

Secco, M., S. Dilaria, A. Addis, J. Bonetto, G. Artioli, M. Salvadori. 2018. „The Evolution of the Vitruvian Recipes over 500 Years of Floor-Making Techniques: The Case Studies of the Domus delle Bestie Ferite and the Domus di Tito Macro (Aquileia, Italy)“. *Archaeometry* 60 (2): 185–206. <https://doi.org/10.1111/arc.12305>.

Suchý, M. 2014. „Vápno, katedrála sv. Víta a pražští vápeníci v pozdním středověku: Výpověď písemných pramenů“. *Archaeologia historica* 39: 349–363.

Suchý, M. 2015. „Vápenictví středověku. Tradiční vápenné technologie historických staveb“. In *Katalog k výstavě Calcarius čili vápeník*. Praha: Národní technické muzeum.

Szöke, B. M. 2007. „New findings of the excavations in Mosaburg/Zalavár (Western Hungary)“, In *Post-Roman Towns, Trade and Settlement in Europe and Byzantium Vol. 1 The Heirs of the Roman West*, 430–441. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Vitruvius, M. P. 2001. *Deset knih o architektuře*. Praha: Arista, Baset.

Wooton, W. 2012. „Mosaic Production: Materials, Making and Makers at Badminton Park“. In *Ateliers and Artisans in Roman Art and Archaeology*, 145–168. Portsmouth: JRA Supplement 92.

## PRAMENY

APH Archiv Pražského hradu, Sběrka nových plánů, A V 08.

Maříková-Kubková, J. 2010. *Katalog fragmentů malt a omítek z archeologického výzkumu hradiště Mikulčice*. Nepublikovaná výzkumná zpráva. Praha: Archeologický ústav AV ČR, v. v. i.

Válek, J., O. Skružná, P. Kozlovcev. 2018. *Materiálový průzkum relikvů podlahových konstrukcí a malty kostela zv. sv. Bartoloměje na Pražském hradě*. Výzkumná zpráva. Praha: Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.

# Románské jádrové zdivo



ílem analýz a experimentálního ověření bylo bližší určení malty jako materiálu, který umožňuje propojení jednotlivých kamenů zdíva a zabezpečuje únosnost a stabilitu zděných konstrukcí typu emplekton. Kromě toho měla skutečná konstrukce ověřit technologické postupy zdění jádra ve vztahu ke složení a konzistenci malty.

Slovo emplekton (opus emplectum) pochází z řečtiny a nejčastěji se jím míní zdívo, které sestává ze dvou lícových stěn, které spojuje litá malta prokládaná lomovým kamenem. Toto zdívo se ve středověku na našem území hojně využívalo a velké oblibě se těšilo i v období románském. Uplatnilo se při stavbě církevních objektů, obytných domů i fortifikační architektury. Jeho první teoretický popis se dochoval u Vitruvia, avšak archeologické nálezy dokládají, že se používalo už mnohem dříve, záleží ovšem na definici. Za zděné konstrukce jsou považovány domy v izraelském Yiftah El v jižní Galileji pocházející ze 7. století př. n. l., jejichž výplň tvořila směs vápna, písku a větších kamenů.<sup>1</sup> Archeologicky jej lze vysledovat až do 1. století př. n. l., kdy jej teoreticky popsali již zmíněný Marcus Vitruvius Pollio a Gaius Plinius Secundus.<sup>2</sup>

Z Vitruvia spisů vyplývá, že nejen Římané, ale i Řekové se o teorii stavitelství zajímali, Vitruvius například zmiňuje Filóna Mechanika, známého jako autora „de machinationibus“.<sup>3</sup> Řecké prameny se ovšem nedochovaly, a tak jsou badatelé odkázáni na již jmenovaného Vitruvia či Plinia. Jakkoli se Vitruviových *Deset knih o architektuře* považuje za univerzální, zachycují především období (konce) helénismu a v případě emplektonu není vždy úplně jasné, o jakém typu zdíva autor píše. Proto se doporučuje jeho úvahy konfrontovat se současným velmi bohatým archeologickým poznáním, které přináší mnoho informací nejen o architektonických formách, ale

i o stavebních technologiích.<sup>4</sup> Tento fakt platí nejen pro starověk, ale rovněž pro raný a vrcholný středověk. Zároveň je nutné si uvědomit, že princip zdění byl znám i mimo antický starověk.

Pojmenování emplekton, odvozené z řeckého slova πλέκω, které lze přibližně přeložit jako propletený, způsobilo při objasňování Vitruvia popis hodně problémů.<sup>5</sup> Ten začíná uvedením římského zdíva, které se považuje za analogii řeckého typu zdíva. Tato technika se za Vitruviových časů stále používala na římském venkově. Kameny s jednou opracovanou stěnou se kladly proti sobě do malty tak, že se spáry střídaly. Tato technika postupně upadala, protože řemeslníci chtěli stavět rychleji. Začali stavbou dvou lícových stěn, mezi něž pokládali maltu a lomové kameny. Vznikla tak římská zeď, která má tři navzájem neprovázané části. Řeckou techniku zdění popisuje Vitruvius odlišně. Řady kamenů se kladly střídavě delší a kratší stranou směrem do zdi, aby vznikla pevná a silná vazba. Mezery měly být vyplňovány pojivem nazývaným diatonoi. V římské architektuře se tento řecký systém rozvinul do tří i více způsobů zdění, jejichž základními prvky byly dvě kamenné stěny, lomový kámen a malta. Tento princip zdění v podstatě platí pro všechna římská zdíva, ať už jejich povrch tvoří kámen (opus incertum, opus reticulatum), cihly (opus testaceum) nebo zdívo kvádrové.<sup>6</sup>

Díky kulturnímu a technologickému vlivu Římské říše se tato metoda zdění spolu se zpracováním vápna rozšířila po celém jejím teritoriu a v obměnách přetrvala vlastně až dodnes. Na našem území se objevuje v raném středověku, nejprve v církevní, později ve fortifikační a rezidenční architektuře. Na Pražském hradě je zcela jistě doložena od 11. století, stavby z konce 9. do konce 10. století se této technologii blíží. K prvním stavbám, které ji využijí, patří bazilika sv. Víta, později i většina známých částí přílehlého kláštera, bazilika sv. Jiří s klášterem, mladší fáze kostela Panny Marie, biskupský dům, poté i Starý palác, románské opevnění a jeho věže. Jedná se o zdíva převážně opuková, široká přinejméně 0,9 m.

1 Khalaily-Milevskí et al. 2008.

2 Vitruvius, De architectura libri decem; Plinius starší, Naturalis historia XXXVI, LI 171.

3 Vitruvius, kniha VII., předmluva, odstavec 14.

4 Vitruvia kapitola o zdívu (8. kapitola II. knihy) obsahuje mnoho problematických pasáží, které jsou od 19. století předmětem bádání historiků architektury (Dennis 1848; Tomlinson 1961; naposledy Pedersen 2019).

5 Pedersen 2019, s. 2.

6 Pedersen 2019, s. 2.

# HISTORICKÉ PŘEDLOHY

## ZDIVO A MALTA KAPLE ZVANÉ SV. BARTOLOMĚJE

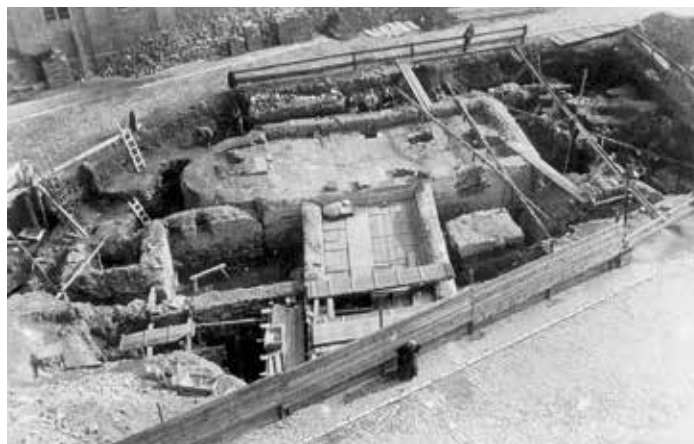
Obvodové zdivo jednolodní kaple bylo založeno na svahu jižně od baziliky sv. Víta, Václava, Vojtěcha a Panny Marie. **(1)** Kaple stojí v místě, kde se svah sklání nejen k jihu, ale i k východu. Kaple je orientována stejně jako bazilika, ale je založena výrazně níže. Loď je dlouhá 12 m, s apsidou dosahuje délky 15 m a šířky 7 m. Zdivo má v průměru 0,9 m, vnitřní rozměry stavby jsou tedy 13,2 × 5,2 m. Obvodová zeď kaple je zachována do výšky zhruba 50 cm nad vnitřní dlažbou a místy nese stopy po požáru, jednotlivé kvádrčky jsou zbarveny do červena a odprýskány. V celém vnitřním prostoru se zachovala opuková dlažba, následkem sesedání vrstev pod podlahou značně nerovná. **(2)** V apsidě se dochoval zbytek oltáře.

Odkrytá část zdiva byla v minulosti zpevněna a památkově upravena, jak je na první pohled patrné ze způsobu spárování, druhu malty a celkového vzhledu zdiva. Původní charakter zdiva lze odvozovat pouze v místech, která odhalila archeologická sonda pod stávajícím podlahovým souvrstvím až po ústupek základového pasu. Za reprezentativní část lze považovat zdivo, jehož výšku vymezuje zdola úroveň nejstarší nalezené podlahy a shora poničení požárem. **(3)**

Obvodová stěna byla vyzděna z opukového kamene po vrstvách, v takzvaných řádcích. Kameny v jednom řádku jsou opracovány přibližně do stejné výšky, ale nesterélné délky. Výše řádků se navzájem liší v rozmezí asi od 60 mm do 160 mm. I přes výškové rozdíly mají kvádry vzhledem k velikosti zdi podobné proporce, kde převažuje délka kvádrů nad výškou. Kvalita opracování je s ohledem na pravouhlost a přesnost hran jednotlivých kamenů poměrně hrubá, ale jako celek působí zdivo kompaktně, uspořádaně a harmonicky. Důvodem je pečlivost, s jakou byly nejen ukládány, ale s níž byla dodržována ložná rovina po řádcích a zároveň rovina vnějšího i vnitřního líce zdi. Jednotlivé kameny pohledově dobře lícují s předpokládanou „vodorovnou“ rovinou uložení a „svislou“ rovinou líce zdiva, ačkoli nemají ostré a přesné hrany a v líci nejsou upraveny do hladka. Naopak, kvádry nesou četné stopy po kamenickém opracování, tj. záseky a stopy po sekerkách a pro opuku charakteristické lomové hrany zanechané po větších odštěpcích.<sup>7</sup>

Vnitřní uspořádání zdiva nebylo předmětem průzkumu. Na základě zevní prohlídky lze usoudit, že kamenicky byly formátovány pouze pohledové strany kvádrů na více či méně pravouhlý tvar. Předpokládá se, že směrem dovnitř zdiva kameny nebyly opracovány

<sup>7</sup> Některé záseky a stopy po opracování se jeví jako relativně čerstvé. Jejich dobrý zachování je patrně důsledkem zasypání násypovou vrstvou, která zdivo lépe ochránila před degradací. Recentní původ se zdá být nepravděpodobný.



1 Pražský hrad, III. nádvoří, výzkum kaple zvané sv. Bartoloměje v roce 1925, foto ARÚ, b. i. č.



2 Pražský hrad, III. nádvoří, kaple zvaná sv. Bartoloměje, pohled do interiéru směrem na jihozápad, stav v roce 2006, foto M. Frouz.

do pravidelných tvarů a měly různou tloušťku. Malta ve spárách byla zakončena tzv. šikmým utažením: ložné spáry shora dolů, styčné spáry zprava doleva. Povrch spárování je místy i po letech stále hladký a pevný. Celkově působí spárování precizně a rovnoměrně, tj. nemá pouze formu rozetřené přebytečné ložné malty. Zbytky omítek či jiných dodatečných povrchových úprav sonda na odhaleném opukovém zdivu neodkryla.

Z ložné spáry obvodového zdiva byly v úrovni zasažené „požářem“, tj. v místech, kde chybí povrchová vrstva zčervenale opuky do hloubky až několika centimetrů, odebrány dva vzorky malty. Mezi oběma místy odběru probíhá v ložné maltě mezi kameny „technologická spára“. **(4)** Patrně se jednalo o zakončení určitého stavebního úseku, kde zdivo plošně pokryla asi 5–10 mm silná vrstva rozetřené



**3** Řádkové opukové zdivo vnitřní zdi kaple se šikmou úpravou ložných i styčných maltových spár (A). Detail ukazuje kvalitu spárování a vzájemných podříznutí či překrytí mezi ložnými spárami a styčnou spárou. Na již zakončené styčné spáře je přilepen malý kus malty, který patrně spadl při zdění ve vyšších polohách (B). Pražský hrad, III. nádvoří, kaple zvané sv. Bartoloměje.

malty. Na ni navázala další podobně tlustá vrstva malty, na kterou se poté zdilo. Při materiálovém rozboru bylo možné popsat míru shody mezi těmito maltami, a potvrdit tak teorii o existenci technologické spáry, nebo ji naopak vyvrátit a jmenovat rozdíly, které by mohly být dále interpretovány z hlediska stavební historie objektu.

Z výsledků průzkumu vyplývá, že spárovací malta z románského obvodového zdiva kaple zvané sv. Bartoloměje obsahuje slabě až středně hydraulické vápenné pojivo.<sup>8</sup> Pojivová matrice je kompaktní a jemnozrná, místy jsou patrné shluky karbonátového materiálu z čistě vápenného pojiva, popřípadě s příměsí oxidu křemičitého a hlinitého. Z odebraných vzorků je patrné, že jsou pojivové

<sup>8</sup> Materiálová analýza byla provedena společně s dalšími vzorky odebranými ze sondy. Detailní popis postupů a rozbor výsledků uvádí archeologická zpráva č. TX-201902925.



**4** Interiérová strana jižní obvodové zdi kaple zvané sv. Bartoloměje odhalená sondou až k základu (A). Detail technologické spáry a místo odběru vzorku nad spárou v části poničené historickým požárem nad podlahou (B).

částice poměrně malé, respektive jejich maximální velikost odpovídá maximální velikosti zrn použitého písku. Hydraulický charakter vápna dokládá zejména prvková analýza pomocí SEM-EDS a termická analýza těchto částic. Ve zkoumaných vzorcích nebyla nalezena surovina, ze které se vápno pájilo v původním stavu, takže přesnější petrografické určení vápence nebylo možné.

Použitým plnivem je křemičitý, obvykle poloostrohanný písek s litoklasty opuky a s menšími zrnky slídy. Pravděpodobně jde o písek říční, ostrohanné opukové úlomky mohou pocházet ze zpracování opukových kvádrů během procesu stavby. Plnivo má rovnoměrnou distribuci velikosti zrn, částice nejsou větší než 8 mm, propad pod nejmenším sítem o velikosti 63  $\mu\text{m}$  dosahuje zhruba 6 hm. %. Hmotnostní poměr nerozpustného a rozpustného podílu byl po rozpuštění v kyselíně stanoven na 3 : 1.

## ANALYZOVANÝ VZOREK

PH 17, PH 18

Ložná malta obvodového zdva

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS



Místo odběru vzorků PH 17 (A)

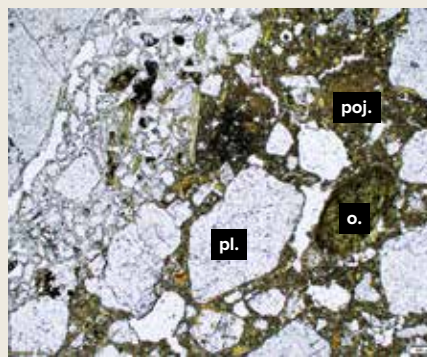
a PH 18 (B), jižní obvodová stěna kaple zvané sv. Bartoloměje ve výšce cca 2 m nad základem. Jedná se o vzorky velmi pevné malty složené z vápenného pojiva, kusů vápna, které se nerozpadlo při hašení, a plniva – písku. Barva materiálu je světle béžová až žlutavá.



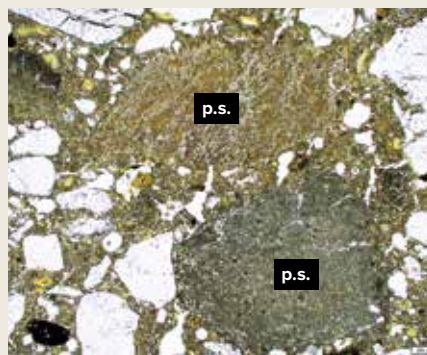
Odebrané kousky malty, vzorek PH 17 (C) a PH 18 (D).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Vzorek PH 17 je kompaktní vzorek malty bez výraznějších poruch s klasty heterogenní velikosti. Pojivo vzorku je jemnozrnné. Místa jsou přítomny shluky karbonátového materiálu tmavě šedivé či hnědavé barvy. Klastický materiál tvoří křemenná zrna, slídy, jílové minerály (i jejich větší shluky), a drobné úlomky opuky. Zrna jsou mírně zaoblená až poloostrhanná a jsou výrazně porušena prasklinami. Ve vzorku je převaha jemnozrnných až střednězrnných klastů, zastíženy jsou ale i větší křemenná zrna (do velikosti 1 cm). Na základě pozorování je objemový poměr přítomného pojiva a plniva odhadován na 1 : 3.



Vzorek PH 17. Jemnozrnné vápenné pojivo – poj., křemenné klasty – plnivo – pl. a litoklast opuky – o. Pozorováno v PPL.

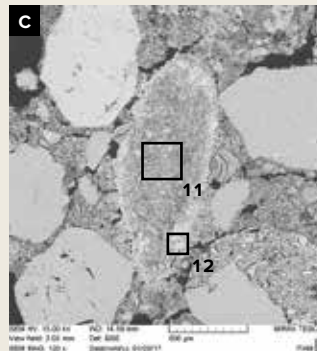
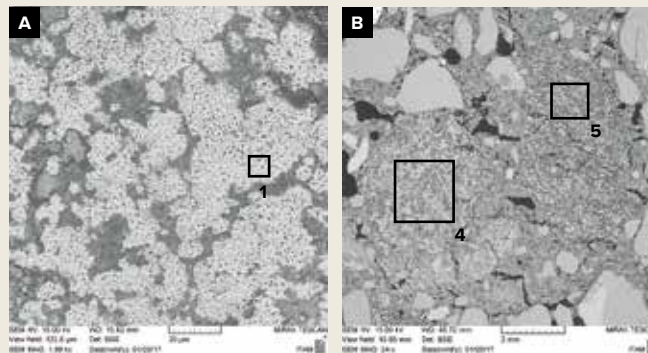


Vzorek PH 17. Dva pojivové shluky – p.s. s lehce odlišnou barevností. Pozorováno v PPL.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

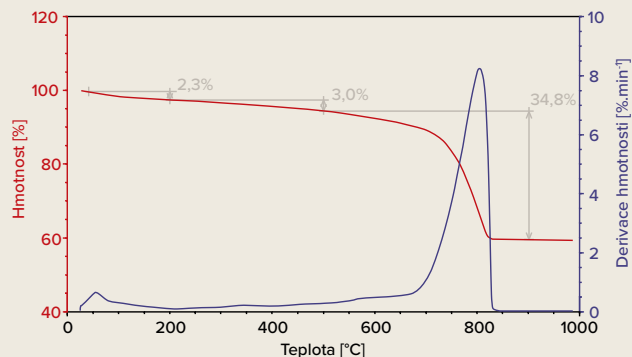
	PH 17					
	Pojivová částice	Pojivová částice	Pojivová částice	Pojivová částice	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)
	1	4	5	11	12	3
CaO	97,0	81,4	81,7	95,8	84,9	89,1
SiO <sub>2</sub>	2,2	14,6	14,4	3,3	9,6	7,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	2,9	2,9	0,3	4,3	2,3
MgO	0,6	1,1	1,0	0,7	0,6	0,9
K <sub>2</sub> O					0,6	
Suma	100	100	100	100	100	100
CI	0,07	0,53	0,52	0,09	0,27	0,37

CI – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Vzorek PH 17. Jemnozrnná kalcitická matrice vzorku (A). Dva pojivové shluky, které se lehce odlišují barevností, mají ale stejné chemické složení (B). Velmi čistý oválný vápenný kus (C).

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku PH 17 (pojivová částice), jediný výrazný zlom na TG křivce souvisí s rozkladem  $\text{CaCO}_3$ , jehož obsah ve vzorku je 79,1 hm. %.

## RENTGENOVÁ DIFRAKCE (XRD)

	Křemen	Kalcit	Albit	Muskovit 2M1	Mikroklín	Kaolinit	Amorní fáze
PH 17 B	6,4	50,7	0,6	4,7	0,1	1,9	35,7

## RENTGENOVÁ FLUORESCENCE (XRF)

	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_3$	Cl	$\text{K}_2\text{O}$	CaO
PH 17 B	1,36	5,56	16,69	0,14	0,02	0,92	40,65

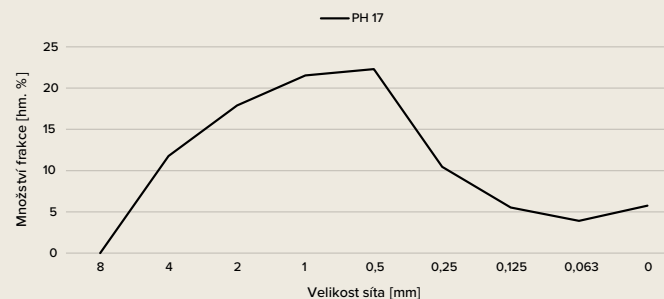
	$\text{TiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	SrO	LOI
PH 17 B	0,35	0,01	0,10	2,49	0,02	31,7

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ OCTOVÉ

	Rozpuštění			Vypočtené hmotnostní dávkování		
	Navážka [g]	Nerouzpustný podíl [hm. %]	Rozpustný podíl [hm. %]	Vápenná kaše : písek	Vápenný hydrát : písek	Nehašené vápno : písek
PH 17	56,5	75	25	1 : 2,0	1 : 4,4	1 : 5,8

## NEROZPUSTNÁ SLOŽKA – PÍSEK

Vzorek se skládá z křemenných zrn, slíd, jílových minerálů (i jejich větších shluků), shluků jemnozrné karbonátové hmoty a drobných horninových litoklastů (opuky).



## ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

Malta z románského obvodového zdiva (vzorky PH 17 a PH 18) obsahuje slabě až středně hydraulické vápenné pojivo. Pojivová základní hmota (matrice) je kompaktní a jemnozrná, místy jsou patrné shluky karbonátového materiálu z čistě vápenného pojiva, případně s příměsí  $\text{SiO}_2$  či  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Použité plnivo je křemičitý, mírně zaoblený až poloostrohranný (pravděpodobně říční) písek s přítomnými litoklasty opuky (mohou pocházet ze zpracování opukových kvádrů během procesu stavby).



5 Pražský hrad, kostel Panny Marie během výzkumu v roce 1950 (A – foto archiv ARÚ, č. neg. 6449) a jeho současný stav (B).

## ZDIVO A MALTA KOSTELA PANNY MARIE

Areál kostela Panny Marie s pohřebištěm se nachází v severozápadní části hradu v průchodu mezi druhým a čtvrtým nádvořím a patří do souboru trvale odkrytých archeologických nálezů. Pohřebiště bylo objeveno již na počátku třicátých let 20. století, k systematickému výzkumu stavby však došlo až na konci čtyřicátých a na počátku padesátých let.<sup>9</sup> (5) Postupně byly u kostela rozpoznány dvě stavební fáze, z konce 9. a z druhé poloviny 11. století. Starší etapa je považována za první církevní památku Pražského hradu.

Při revizích archeologických nálezů v letech 1995 a 2015–2017<sup>10</sup> archeologové zdokumentovali a rozlišili zejména dvě stavební fáze. Ve starším, předrománském stadiu se zde zřejmě nacházela pohřební kaple z konce 9. století, ze které se dochovaly především základy

části obvodového zdiva a základové a nadzemní konstrukce tumb, interiérové nadzemní hrobky. V druhé polovině 11. století funerální kapli nahradila románská jednolodní kaple, vybudovaná pravděpodobně v souvislosti s rozvíjejícím se kapitulním komplexem.<sup>11</sup> (6)

Pro srovnání s nálezy z kaple zvané sv. Bartoloměje posloužily dvě části zděných konstrukcí kostela Panny Marie. Starší fázi reprezentuje zdivo severní partie exteriéru apsidy (presbytáře kaple). (7) Jde o dva řádky nadzemního opukového zdiva vyzděného na šikmo kladené základové kameny ve stylu opus spicatum. Kameny kladené do řádků jsou opracovány zhruba do pravidelných tvarů. Osazení a opracování je méně precizní než u zdiva kaple zvané sv. Bartoloměje. Spáry jsou širší, vyplněné méně soudržnou maltou. Záměrné šikmé zakončení spárovací malty není, mj. i následkem rozpadu malty, pozorovatelné. Nejednotná výška řádek kamenů se pohybuje v rozmezí přibližně 5–18 cm. Zdivo včetně povrchu spárovací malty poničil požár. Vnitřní uspořádání zdiva mladší stavební etapy

9 Borkovský, 1950, Borkovský, 1953.

10 Frolík et al. 2000, s. 17–96, Maříková-Kubková, Herichová 2015; Maříková-Kubková, Herichová 2017.

11 Frolík et al. 2000, s. 17–96, Maříková-Kubková, Herichová 2017, s. 74–93.





6 Pražský hrad, kostel Panny Marie, revizní výzkum v roce 2017, pohled na severovýchodní nároží a apsidu mladší fáze stavby, foto M. Frouz.



7 Pohled na exteriérovou stranu zdi starší apsidy pohřební kaple, archeologický kontext 907 A, kostel Panny Marie.



8 Pohled z vnitřku do severní části apsidy mladšího kostela a na mladší oltář, kostel Panny Marie.

je částečně odkryté, a poskytuje možnost studovat jeho skladbu. (8) Většina vnitřních kamenů je položena tak, že sledují výšku (rovinu) řádku a velikostí víceméně odpovídají kvádríkům z pláště zdi. Vnitřní kámen výjimečně přesahuje výšku dvou řádků. Vnitřní spáry zdiva jsou vyplněny maltou bez výraznějších dutin.

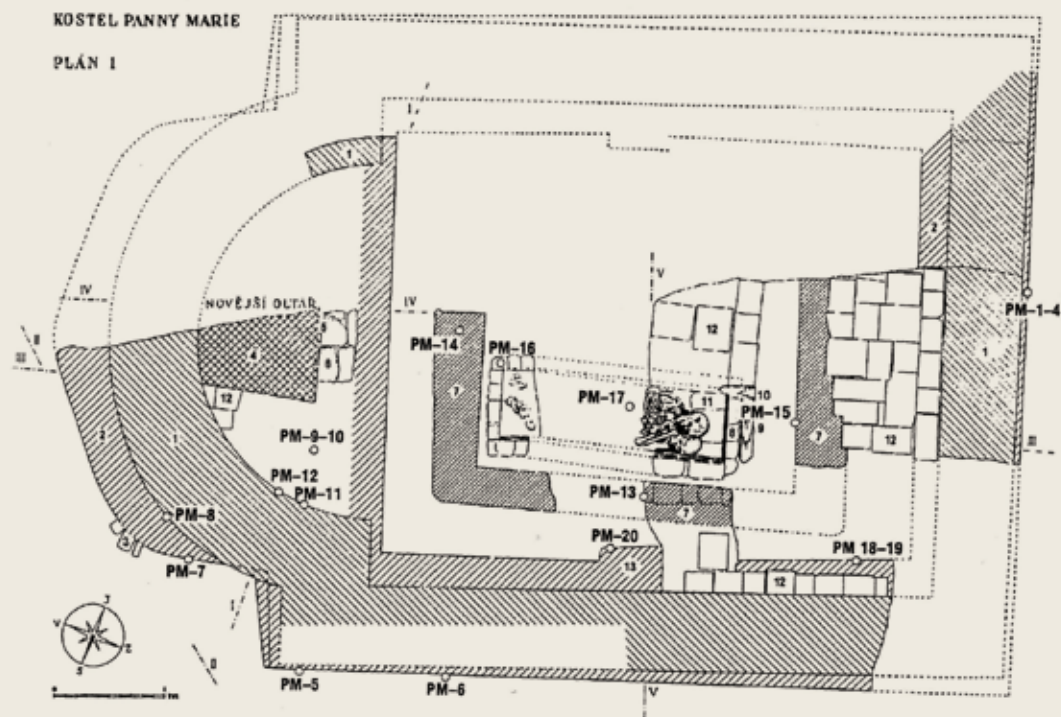
Rozborům malt ze zdiva kostela Panny Marie se detailně věnovali Zeman a Růžičková.<sup>12</sup> Z jimi zkoumané sady vzorků byly vybrány dva výbrusy ze starší a mladší stavební fáze. První vzorek pochází ze základu zdi severovýchodního nároží a reprezentuje maltu starší stavební etapy. Druhý vzorek je z horní části západní zdi, která je považována za mladší stavební fázi kostela.

12 Zeman, Růžičková 2000, s. 261–267.

## ANALYZOVANÝ VZOREK

PM 4  
Zdicí malta  
PM 5  
Malta základového zdiva

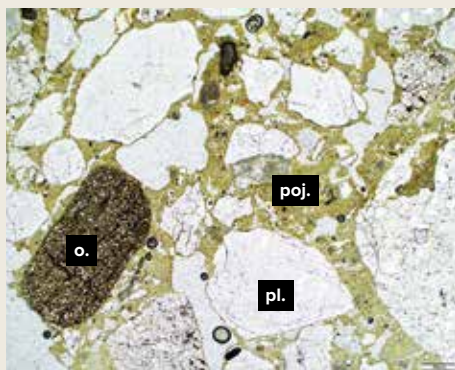
## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS



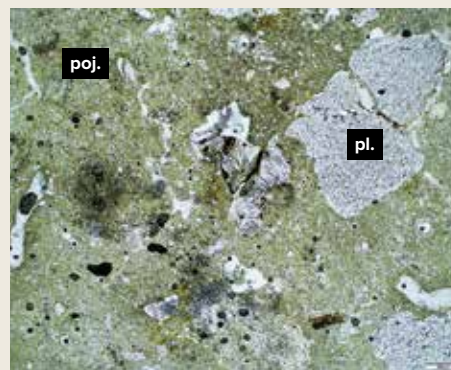
Vyznačená místa odběru vzorků z kostela Panny Marie na Pražském hradě (převzato z publikace Zeman a Růžičková 2000). Z odebraných vzorků jsou v současnosti dostupné pouze petrografické výbrusy.  
Vzorek PM 4 – malta z nadzemní části zdiva probarvená hnědavými okry (11. století).  
Vzorek PM 5 – heterogenní materiál z nárožního základu (9. století).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Vzorek PM 4 obsahuje heterogenní jemnozrně až střednězrně pojivo béžové až hnědavé barvy. Místy se v něm vyskytují rozpraskané pojivové shluky (lime lumps) a drobné relikty z karbonátů pocházejících z vypálené suroviny. Plnivo vzorku tvoří poloostrohanné a částečně opracované klasty křemenných zrn, méně často živců a slíd. Svým složením odpovídá plnivo říčnímu písku. Velikost zrn se pohybuje mezi 2 a 6 mm, místy jsou však přítomny i klasty velké až 1,5 cm. Kromě minerálních zrn se ve vzorku vyskytují i drobné úlomky hornin – opuky. Na základě pozorování je objem přítomného pojiva a plniva odhadován na 1 : 4. Vzorek PM 5 obsahuje velmi heterogenní středně zrnitou základní hmotu s výskytem drobných reliktů vápencové suroviny, dřevní hmoty a jílových minerálů. Místy jsou přítomny póry protáhlého tvaru. Tento vzorek obsahuje velmi malý podíl plniva, které tvoří křemenné klasty velké do 10 mm. Na základě pozorování je objemový poměr přítomného pojiva a plniva odhadován na 5 / 1.



Vzorek PM 4. Základní hmotu – poj., křemenné klasty – plnivo – pl. a litoklast opuky – o. Pozorován v PPL.

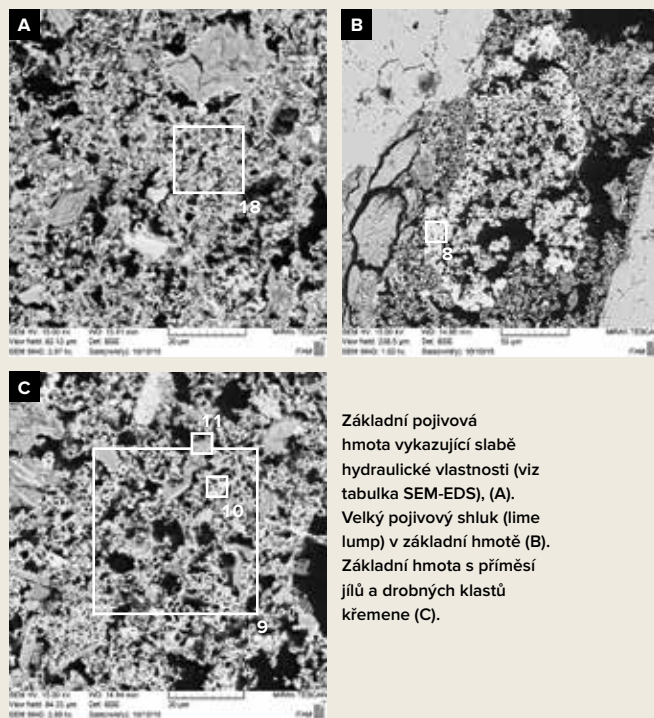


Vzorek PM 5. Heterogenní pojivová hmotu – poj. s výskytem křemenných klastů – pl. Pozorováno v PPL.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

	Pojivo (matrix)	Lime lump	Pojivo + jíł	Pojivo	Jíl	Pojivo
		8	9	10	11	18
CaO	93,2	99,0	75,5	86,4	3,4	87,8
SiO <sub>2</sub>	2,9	0,4	13,9	6,4	48,4	6,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6	0,1	7,5	3,7	41,4	3,5
MgO	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
Na <sub>2</sub> O			0,4	0,3	0,3	0,1
K <sub>2</sub> O	1,7		2,0	1,7	4,5	1,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	0,2	0,4	0,3		0,2
SO <sub>3</sub>	0,1					
TiO <sub>2</sub>						
FeO				1,0	1,6	
Suma	100	100	100	100	100	100
Cl	0,11	0,00	–	0,26	–	0,25

Cl – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Základní pojivová hmota vykazující slabě hydraulické vlastnosti (viz tabulka SEM-EDS), (A). Velký pojivový shluk (lime lump) v základní hmotě (B). Základní hmota s příměsí jílu a drobných klastů křemene (C).

## ZÁVĚREČNÉ SHRNTÍ

Materiál PM 4 z mladší stavební fáze představuje klasický maltový vzorek s relativně nízkým obsahem pojiva a vysokým zastoupením plniva – křemenných klastů pravděpodobně říčního písku. Podle výsledků provedených analýz odpovídá složení pojivové matrice přechodu mezi vzdušným a slabě hydraulickým vápnem. Naopak vzorek PM 5 ze starší stavební fáze má výrazně nižší obsah plniva (písku) a značně heterogenní pojivovou matici.

Malty starší a mladší stavební fáze se od sebe významně liší složením pojiva, obsahem plniva a strukturou malty. Průzkum v terénu poukázal na velkou heterogenitu malt zdiva starší stavební etapy. Některé části spár byly minimálně soudržné a malty obsahovaly jen malé množství pojiva. Nové vzorky se však neanalyzovaly a pro účely této studie byl převzat výbrus vzorku malty označené jako PM 5. Ten byl patrně odebrán z míst, kde se vyskytovala více soudržná malta. Vzorek obsahuje výrazně málo plniva. Pojivová matrice zahrnuje různé minerální fáze, které je možné spojovat se složením vápence, jenž posloužil pro výrobu vápna, a se způsobem jeho výpalu. S největší pravděpodobností byl použit místní vápenec z okolí Prahy, který po vypálení poskytuje středně až silně hydraulické vápno. Výbrus vzorku malty z mladší stavební fáze, označený jako PM 4, má mnohem více plniva, které složením a tvarem zrn odpovídá říčnímu písku. Pojivová matrice je heterogenní a obsahuje též drobné zbytky karbonátů pocházejících z vypálené suroviny. Analýzy odhalily, že složení pojivové matrice odpovídá přechodu mezi vzdušným a slabě hydraulickým vápnem.

## ZDIVO A MALTA ROMÁNSKÉ KAMENNÉ HRADBY

Vznik románské kamenné hradby je datován na základě zprávy kanovníka vyšehradského do roku 1135, který lze označit i za vznik románského a raně gotického hradu, jehož poměrně široká hradební zeď kopírovala hlavní linie staršího opevnění. Hradební zeď dosahovala na jižní straně výše až 14 m.<sup>13</sup> Hradba byla rozsáhlým dílem, které nemá jednotný ráz a její stavba patrně zabrala několik sezón.<sup>14</sup> Zbytky hradební zdi jsou v současnosti stavebně spojeny s pozdějšími přístavbami a jsou místně dostupné. (9)

Jižní část hradby byla k průzkumu vybrána, aby bylo možné rámcově porovnat kvalitu její malty s maltou zdi kaple zvané sv. Bartoloměje a zároveň doplnit informace o vnitřní skladbě románského zdiva. Poznamenejme, že zdivo hradební zdi jako celku je značně odlišné, jelikož na ní v různých stavebních obdobích pracovalo více skupin řemesníků. Uvedený průzkum se zaměřil pouze na část, která byla při pozdějších úpravách prorážena, a tudíž bylo jádro zdi kompletně odhaleno a zpřístupněno. V odkrytém místě je vidět



9 Pražský hrad, III. nádvoří, pohled na vnitřní (severní) líc jižní románské hradby v celku (A) a v detailu (B). Foto M. Frouz.

13 Frolík, Smetánka 1997, s. 144–157.

14 Pro co nejrychlejší realizaci, která jistě byla v zájmu obranyschopnosti hradu, je možné si představit souběžné působení několika stavebních skupin pracujících na oddělených úsecích. Tyto úseky se pak mohly v technologii stavby a složení malty lišit.

vnitřní skladba opukových kamenů a kvalita malty. I v tak široké zdi se opukové kameny skládaly po vrstvách, které do jisté míry odpovídaly výšce jednoho či více řádků z plášťových kamenů. Široké jádro zdi se vyzdívalo na vápennou maltu, jednotlivé kameny se kladly na plocho s určitým vzájemným přesahem. (10) Větší kameny, které tvořily jádro zdiva, byly v těchto místech vysoké kolem 20–30 cm a široké do 40 cm, většina ale byla menší a nepravidelných rozměrů.

Stavitelé si byli vědomi, že jádro zdi musí být kvalitně provázáno, a pro tento účel mimo jiné použili značné množství malty, aby opravdu důkladně vyplnila veškeré spáry mezi kameny. Odhalení vnitřní struktury zdiva umožnilo zdokumentovat i četný výskyt až několikacentimetrových kusů nerozdruženého vápenného pojiva a ojediněle se vyskytující části zjevně nedostatečně vypálené suroviny. Vápenné částice, jak zmiňuje předchozí kapitola, jsou důsledkem způsobu přípravy malty a hašení, při kterém nemělo kusové vápno dostatek vody, aby mohla být dokončena reakce a aby se rozpadlo na pojivo. Je velmi pravděpodobné, že malta byla zpracována přímo z kusového nehašeného vápna a písku metodou dnes nazývanou příprava horké malty. V době, kdy se stavěla hradební zeď, šlo patrně o ryze praktický způsob rychlého zdění a zpracování dovážených surovin bez nutnosti skladovat vápno zvlášť. V jakém stadiu reakce vápna s vodou byla malta použita, není možné z průzkumů jednoznačně doložit, ale z pohledu technologie stavby tohoto typu zdiva je otázka zajímavá. Pokud se vápno dohašovalo ještě ve zdivu, malta v důsledku zvýšené teploty rychleji tuhla, a konstrukce se tak celkově zpevnila.



10 Pohled do průrazu románskou hradební zdí (A). Detail jádra zdiva. Místo s výskytem větších pojivových kusů (B). Hradba v tomto místě zároveň tvoří jižní obvodovou zeď knížecího paláce. Průraz románskou zdí, Pražský hrad.

S přípravou malty souvisí i volba umístění staveniště, jež se z organizačních důvodů nacházelo přímo v blízkosti výstavby, kam bylo možné snadno dopravit všechny tři hlavní složky, tedy vápno, písek i vodu.<sup>15</sup> Pokud se měly vlastnosti horké malty využít co nejefektivněji, musela se malta připravovat velmi blízko místu zdění. Při dané šířce hradby je teoreticky možné si představit, že se stavební materiál dopravoval přímo po koruně rozestavěné zdi. Malta se pak mohla přichystat v bezprostřední blízkosti právě zděné části a po smíchání ihned použít. Dohašování a zvýšenou teplotou malta poměrně rychle ztuhla, byť ještě nešlo o vytvrzení pojiva ve smyslu karbonatace a hydratace.

Z místa, kde byla románská hradební zeď proražena, byly odebrány vzorky malty s množstvím větších, až cca 4cm, pojivových částic. (11)

Pojivo malty je hrubozrnné a kompaktní. Z charakteru pojivové matrice lze usuzovat na slabě až středně hydraulické vápno. Plnivo tvoří polymiktní písek, s nímž se do malty dostaly i drobné jílovité částice, které jsou místy přilepeny na jednotlivá zrna. V maltě se vyskytují pojivové kusy různého složení a velikostí včetně několika vzorků neúplně tepelně rozloženého vápence. Dochoval se tak materiálový doklad typu vápence, který byl použit jako surovina pro výrobu vápna. Podle termické analýzy a práškové rentgenové difrakce pojivových kusů se jednalo o středně až silně hydraulická vápna.

Studované kusy pojiva, které si částečně zachovaly skladbu původní horniny, měly velmi jemnozrnnou strukturu složenou převážně z drobného mikrokrytalického kalcitu. V základní karbonátové hmotě se vyskytovaly jemně rozptýlené jílové minerály. Místy bylo možné pozorovat i kalcitové krystaly pocházející z úlomků schráněk živočichů a drobná zrnka kalcitových tmelů. Vzácně byly zaznamenány i křehké poruchy vyplněné sekundárním kalcitem, které tvořily síť drobných žilek. Právě zmiňovaná jemnozrnná mikritická struktura s výskytem jílových minerálů je velmi typická pro dvorecko-prokopské vápence. Jemnozrnný charakter a drobné kalcitové žilky ale odpovídají i zlíčovskému vápenci či některým partiím vápenců z předolských vrstev.



11 Vzorek pojivového kusu obaleného maltou o velikosti přibližně 4 cm z místa proražení hradební zdi (A). Jedná se o celistvý kus neúplně vypáleného vápence. Původní surovina se zachovala ve středu kamene a tvoří tmavší jádro, které zůstalo nevypáleno. Kolem jádra jsou bílé části vypáleného, ale soudržného materiálu (B). Průřez románskou hradební zdí, Pražský hrad, vzorek PH 1.

15 Množství potřebné malty tvořilo odhadem minimálně jednu třetinu objemu zdiva. Na běžný metr hradby o šířce dva metry tak byla potřeba asi 700 l písku a 300–400 l nehašeného kusového vápna, což vyžadovalo i odpovídající organizaci dopravy a přepravy hotové malty.

## ANALYZOVANÝ VZOREK

PH 2, PH 3, PH 5

Zdicí malta z hradební zdi

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS

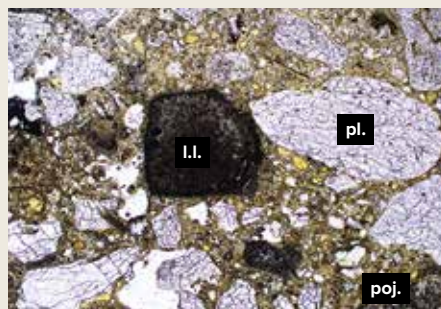


Vzorky hrubozrnné malty z hradební zdi Pražského hradu s výrazným zastoupením klastů plniva – PH 2 (A) a PH 3 (B) a vzorek PH 5 s výrazným reliktem původní vápencové suroviny (C).

Vzorky byly odebrány z průrazu zdívm románské hradby.

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Vzorky PH 2 a PH 3 jsou složeny z hrubozrnné pojivové základní hmoty béžové až hnědavé barvy. Často se v nich vyskytují větší pojivové shluky (lime lumps), které jsou obvykle porušeny drobnými prasklinami. Místa jsou ve vzorcích přítomny póry a poruchy procházející skrz základní hmotu. Plnivo představují poloostrohanné až opracované klasty křemenných zrn, méně jsou zastoupeny živce a světlé a tmavé slídy a jílové minerály zlatavé barvy. Typickou součástí pro oba vzorky jsou pak horninové litoklasty – úlomky jemnozrnné opuky. Velikost jednotlivých klastů se pohybuje obvykle mezi 5 a 8 mm, největší klasty mají velikost přesahující 10 mm. Na základě pozorování je objemový poměr přítomného pojiva a plniva odhadován na 1 : 1. Vzorek PH 5 představuje z převážné části úlomek šedivého mikritického vápence (zachovalý nedopal, jádro). Vápenc má šedivé zbarvení s převažující jemnozrnnou mikritickou základní hmotou. Vyskytují se v něm drobné enklávy sparitového tmelu a úzké kalcitické žilky vzniklé během pozdější diagenese horniny. Po okrajích vápencového úlomku jsou zachovány reliktly jemnozrnné malty s plnivem z křemenných klastů.

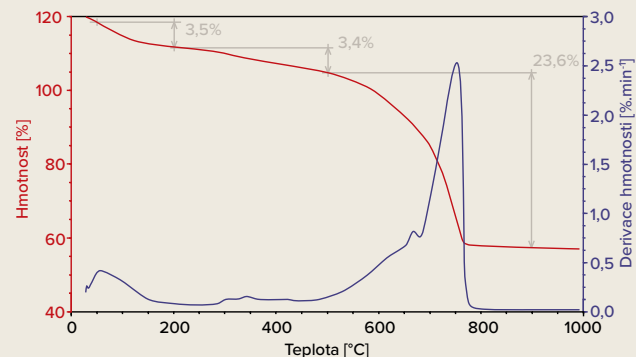


Vzorek PH 3. Hrubozrnná pojivová základní hmota – poj., křemenné klasty – pl. a pojivový shluk (lime lump) – l.l. Pozorováno v PPL.



Vzorek PH 5. Relikt jemnozrnného vápence s vrstvami po teplotním porušení (šipka). Pozorováno v PPL.

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku PH 2 L2 (pojivová částice), kromě dominantního pásu rozkladu  $\text{CaCO}_3$  v rozmezí teplot 500 až 850 °C se na křivce DTG vyskytují i méně intenzivní pásy při nižších teplotách. Ty souvisí s uvolněním fyzikálně vázané vody (do 200 °C) a vody vázané strukturálně (200 až 500 °C, např. hydratované křemičitany nebo hlinítaný vápenatý jíly). Celkový obsah  $\text{CaCO}_3$  je 53,6 hm. %.

## PRAŠKOVÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE XRD

	Kalcit	Vaterit	Křemen a $\text{SiO}_2$ fáze	Larnit	Sádrovec + anhydrit	Vápenatý hlinítaný	Hydro-calumit	Boehmit
PH 2 vápenný kousek 1	+++	-	++	+	-	-	+	+
PH 2 vápenný kousek 2	+++	++	-	+	-	+	-	-
PH 2 vápenný kousek 3	+++	+	++	+	+	+	-	-

## ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

Pojivo maltových vzorků je hrubozrnné, kompaktní, slabě až středně hydraulické. Plnivo tvoří křemenný písek a další minerální příměsi (živce, slídy a jílové minerály). Vzorek PH 5 obsahuje teplotně postižený vápenc – relikt po nedopalu, díky kterému bylo možné odvodit vlastnosti surovin používaných k výrobě vápna. Jednalo se o jemnozrnné mikritické vápence s hydraulickými vlastnostmi (pravděpodobně dvorecko-prokopské či zlíchovské vápence nebo vápence pocházející z přídolských vrstev).

# SPECIFIKACE MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO EXPERIMENT

## MATERIÁLY ZKOUMANÝCH HISTORICKÝCH MALT

Ve všech třech studovaných případech z Pražského hradu, tedy v kostele Panny Marie, v kapli zvané sv. Bartoloměje a v hradební zdi, bylo pojivo souhrnně klasifikováno jako přirozené hydraulické vápno. Materiálové rozborů prokázaly, že mělo velmi různorodý charakter. Kromě variabilní hydraulické složky se v maltách vyskytovaly i velmi čisté pojivové kusy. Surovina pro výpal pocházela z více zdrojů, popřípadě rozdílných geologických poloh. Toto zjištění se shoduje i s výsledky průzkumů podlahových konstrukcí, dokládá více dodavatelů vápna na stavbu a zároveň dokumentuje využívání určitých druhů vápence, potažmo typu vápna v daném období. S velkou pravděpodobností lze předpokládat, že vápence použité na jeho výrobu pocházely z míst ležících v okolí řeky Vltavy na jihozápadě dnešní Prahy.<sup>16</sup> V závislosti na chemickém složení těchto typů vápenců odpovídají středně hydraulickým surovinám radotínské, kosořské, kotýské a především dvorecko-prokopské a zlíčovské vápence. Pro spodno-devonské kosořské, kotýské, třebotovské i chotečské vápence středního devonu je podle jejich chemického složení typická jen nízká hydraulická. Využívaly se též poměrně čisté slivenecké vápence, známé ovšem spíše proto, že sloužily jako dekorační kámen a náhrobní desky, tudíž je možné jejich těžbu i datovat.<sup>17</sup> Další typy dnes známých vápenců jsou z pohledu místa, kde se vyskytovaly, méně pravděpodobné, například koněpruské. Podobné jsou na tom loděnické vápence, které tvoří bohatší ložiska v oblasti kolem Loděnice, Bubovic a Tetína, či plošně málo rozšířené vápence chýnické.

Kromě složení a mikroskopické struktury je pro určování provenience sedimentárních vápenců určitým vodítkem zbarvení. Vlivem hlinitých a železitých látek vápenec i vypálené vápno nabývá okrové až hnědočervené barvy. Vyšší obsah silikátů společně s hlinitany zbarvuje vypálené vápno do šedé až šedohnědé. Například barva a struktura experimentálně vypálených zlíčovských vápenců

odpovídá svým bělavým až našedlým tónem části pojivového materiálu, který se vyskytoval v analyzovaných vzorcích z hradební zdi. (12)

Typickým plnivem zkoumaných malt je poloostrohranný křemičitý písek. Větší klasty jsou více zaoblené a opracované. Jílové a prachové částice o velikosti pod 63  $\mu\text{m}$  tvoří méně než 6 hm. % písku. Písek byl velmi pravděpodobně vytříděn přesátím, což určovalo velikost větších zrn. Specifickou součástí plniva jsou převážně ostrohranné klasty opuky. Odštěpky se vyskytují nepravidelně a větší kusy přesahují maximální velikost zrn písku. Možným vysvětlením je, že se opuka dostala do malty až během jejího zpracování a zdění. Snadno si lze představit, že se zdicí kameny upravovaly přímo na místě a podobné odštěpky byly všude v okolí k dispozici.<sup>18</sup> Otázkou je, zda se odštěpky v určitých partiích záměrně využívaly, nebo se jednalo čistě o náhodný proces a určitou nedbalost zedníků v místech, kde to charakter práce umožňoval. Na základě analýz románských malt kostela Panny Marie a románské hradební zdi byly potvrzeny i další sporadicky se vyskytující klasty pálených jílu a spáleného dřeva, které patrně vznikly při výpalu vápna a určitým způsobem tak dokládají technologii jeho výroby. Tyto materiály nebyly ve vzorcích z kaple zvané sv. Bartoloměje nalezeny. V žádném ze zkoumaných vzorků z Pražského hradu se pomocí dostupných metod nepodařilo identifikovat organické příměsi typu vaječných a mléčných proteinů nebo klišu.

## TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ SUROVIN

Společnou charakteristikou zkoumaných malt je použití směsi vápeného pojiva z odlišných zdrojů místní provenience. Směs mohla vzniknout již při dobývání kamene či během převozu vápence k peci, ale také až jako hotové vápno. Oba případy lze považovat za reálné, avšak zatímco výpal různých druhů vápenců způsobuje spíše komplikace, rozdílné vlastnosti různě hydraulických vápen je možné při dalším zpracování a aplikaci záměrně využít. Vzdušné vápno se hasí rychleji a pomáhá tak hašení a rozpadu hydraulických vápen. Nalezené pojivové shluky ve zkoumaných maltách naznačují přípravu malty způsobem, při kterém se pálené, ale nehašené kusové vápno smíchá s pískem a následně zalije vodou. Důkazy tohoto způsobu přípravy jsou k nalezení v jádru hradební zdi. U vzorků ze zdiva kaple zvané sv. Bartoloměje a kostela Panny Marie nebylo možné postup přípravy doložit přímými nálezy, jelikož jádro zdiva není přístupné a v poměrně malých vzorcích ze spár se větší pojivové kusy ani nedopadly nevyskytovaly.

16 V jihozápadní části současné pražské aglomerace vystupují na povrch horniny silurského a devonského stáří, jež náležejí do tzv. Pražské pánve (Pražské synformy), která tvoří centrální část Barrandienu. Převažují v ní sedimentární typy hornin, nejčastěji vápence s velmi variabilními karbonátovými a nekarbonátovými složkami, především  $\text{SiO}_2$  a fylosilikátových minerálů.

17 Rybařík, 2017.

18 Vzhledem k velkému množství kamenického „odpadu“, který vzniká při opracování nebo i jen drobných úpravách kamene, se zdá jeho sekundární využití při zdění jako poměrně logické.





12 Porovnání zlíčovského vápence před výpalem (A) a po výpalu (B).

## POZNATKY OHLEDNĚ KONSTRUKCE JÁDROVÉHO ZDIVA

Na základě studovaných případů bylo stanoveno několik konstrukčních zásad, ze kterých se během stavebního experimentu vycházelo.

- Plášťové zdivo bylo vyzděno z opukových kvádrů opracovaných kamenickými nástroji především z lícové strany. Kameny byly zformátovány do té míry, že z nich bylo možné po řádcích vyzdít zeď zarovnanou z přední i zadní strany do roviny. Rubové strany kvádrů, směrem dovnitř zdiva, byly ponechány v hrubém stavu. Rozdílná velikost kvádrů určovala míru jejich přesahu do jádra, a tím vytvářela i určité příčné provázání. Přesný způsob zajištění vnitřních vazeb ve zdivu ale nebyl předmětem průzkumů. Vnitřní prostor zdi tvořilo jádro, které vyplňovaly kameny a malta.
- Při zdění byla položena jedna řada kvádrů z obou líců zdi; následně se vyplnilo jádro mezi nimi. Kameny v jádru zdiva měly nepravidelný tvar a velikost. Z proražení hradební zdi se zdá, že se osazovaly takřka výhradně naplocho a byly vzájemně provázány, skládaly se tak s ohledem na zabezpečení pevnosti a únosnosti zděné konstrukce.
- Z nálezu technologické spáry v jižní zdi kaple zvané sv. Bartoloměje vyplývá, že když byly práce přerušeny, zdivo zakončila rozetřená malta. Malty nad spárou a pod ní jsou takřka shodné, mohlo se například jednat o ukončení denního dílu, dozvězení po určitou výšku z lešení nebo kratší přestávku při stavbě zdi.
- Opukové kvádry se osazovaly na hustší maltu, která byla začištěna šikmým stržením a uhlazením spáry. Malta neobsahovala větší zrna písku, takže bylo možné dělat i poměrně úzké spáry. Tomu odpovídalo i opracování opukových kvádrů, které se osazovaly v jednom výškovém řádku. Písek pro maltu byl vytříděn na velikost zrn menší než 8 mm, malta ze studovaných vzorků ložných spár obsahovala velmi málo pojivových kusů.

# EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ PŘÍPRAVY A POUŽITÍ MALTY

Cílem experimentu bylo ověření vlastností čerstvé malty připravené z nehašeného vápna a písku v různých stadiích procesu hašení, tj. od předem připravené a odležené malty až po co nejrychleji použitou horkou směs. Šlo především o posouzení možnosti lití maltové směsi do jádra zdiva. Další otázka ohledně zpracování malty se týkala úvahy, zda je její konzistence vhodná pro uložení kamenů a zakončení ložných a styčných spár během zdění. Tyto procesy jednoznačně souvisejí s materiálem a postupem při stavbě jádrové zdi. Z toho důvodu bylo rozhodnuto, že se pro experimentální ověření postaví replika části románského jádrového zdiva o šířce 0,8 m a výšce odpovídající čtyřem řádkům. Cílem bylo nastolit obdobné materiálové a konstrukční podmínky jako při výstavbě původního zdiva, nikoli však napodobovat vzhled a proporce jednotlivých kamenů.

## STAVBA JÁDROVÉ ZDI

K přípravě malty posloužilo hydraulické vápno z vypáleného dvorecko-prokopského vápence z historického lomu v Braníku a vzdušné vápno ze sliveneckého vápence z lomu Špička.<sup>19</sup> Výpal se uskutečnil tradičním způsobem v jednorázové peci pro každý vápenc zvlášť. Před použitím kusového vápna uskladněného v sudech s víky byla ověřena jeho reaktivita. Vzhledem k současné relativně špatné dostupnosti přírodních písků v urbanizovaném okolí Pražského hradu a k regulaci řeky Vltavy byl pro experimentální účely vybrán běžně dostupný prahý křemičitý stavební písek o velikosti zrn do 4 mm.<sup>20</sup> Ke zdění se použila opuka z lomu Třeboc u Rakovníka. Kameny se brzy po nalámání ručně nahrubo opracovaly a formátovaly přímo v lomu. Při té příležitosti došlo také na vyzkoušení různých kamenických nástrojů včetně replik středověkých nástrojů.<sup>21</sup> (13) Kameny se poté, co byly přes zimu uskladněny venku, vytřídily podle kvality; formátované kameny bez zjevného poškození se použily na stavbu pláště, zbytek v jádru zdi.

19 Slivenecký vápenc pochází z provozovaného lomu Špička u Kosoře. Historický vápencový lom v Braníku je v současnosti chráněnou lokalitou – přírodní památkou Branické skály. Kámen z branického lomu bylo možné pro experimentální účely získat se svolením správce parku a majitele lomu hlavního města Prahy.

20 Vybral se dobře vytřížený sediment sestávající z dominantně křemenných klastů různých barev a frakcí. Větší klasty jsou zaoblené a opracované, menší poloostrohranné. S velkou pravděpodobností se jedná o říční písek transportovaný na delší vzdálenost. Písek pochází ze zvětralých magmatických a metamorfovaných hornin nacházejících se ve snosové oblasti řeky Vltavy.

21 Repliky historických nástrojů zapůjčil M. Panáček. Více o replikách viz Cihla, Panáček, Veselý 2014.



13 Hrubé opracování opuky na kvádry v lomu. Jednotlivé kameny se rozdělily na skupiny podle výšky a z předpokládané lícové strany upravily do roviny. Aby se podařilo udržet pravý úhel mezi čelem a spodní nebo horní stranou kamene, musel se použít úhelník (A). Právě natěžený kámen se formátoval ručními nástroji včetně funkčních replik vyrobených podle středověkých vzorů: plošiny s břitem a plochými zuby (B) a špicplošiny (C).

Malta určená ke zdění byla připravena předem vrstvením mokrého písku a nehašeného kusového vápna.<sup>22</sup> Kupa se ponechala ve venkovním prostředí po dobu dvou dnů, poté se přidala voda a směs se řádně promíchala. Zjistilo se ovšem, že pro zdění z lícových kvádrů není malta vhodná, jelikož obsahovala značné množství nerozpadnutého pojiva, a tudíž neodpovídala maltám odebraným z historického zdiva. Během míchání se pojivové kusy rozpadaly velmi pomalu, patrně v důsledku jejich částečné hydratace. Směs se ale osvědčila jako přídatek do nově připravené horké malty, která svou reakcí a zvýšenou teplotou přivedla pojivové částice k dodatečnému rozpadu. Takto připravená malta se mohla pro zdění obou líců zdiva využít v momentě, kdy již byla většina vápna vyhašena a viditelně neobsahovala větší pojivové částice; jak hmota chladla, dosahovala teploty kolem 30–40 °C. Subjektivně byla malta popsána jako hustší plastická směs s velmi dobrou zpracovatelností.

Pro účely experimentu byla postavena část jádrové zdi, která nebyla na nárožích zakončena. Vždy, když se osadily a vyspárovaly kameny stejné výšky, doplnilo se jádro zdi. Zídka tvořily čtyři řady kamenů do výšky, z toho vyplývá, že k dispozici byly čtyři různé varianty pro vyzdění jádra. Pro porovnání bylo jádro v každé výškové vrstvě rozděleno na dvě části, přičemž polovina byla vždy vyzděna na stejnou maltu jako lícové zdivo. (14) Navlhčené kameny se ukládaly do hrubé vrstvy malty, a když se na ně zatlačilo, malta styčné spáry vyplnila. Takto se postupně vyzdilo jádro do výše vymezené oboustranně vyskládanými kameny. Druhá polovina jádra zdi se vyplnila tak, že se nejprve naskládaly navlhčené kameny a následně zalily maltovou směsí. Vlastnosti malt, jimiž se jednotlivé řádky zalévaly, se záměrně lišily, jelikož byly předmětem experimentu.

Jádro v prvním řádku vyplnila stejná horká malta, jaká byla použita pro zdění, pouze se naředila vodou, aby tekla a bylo ji možné lít obdobně jako řídkou injektážní směsí. Při použití měla teplotu okolo 25 °C, přibližně o 8 °C více než teplota vzduchu.



14 Experimentální stavba opukové zdi. Položení první řady kvádrů a vyzdívání jádra (A). Lítí horké malty do jádra prvního řádku (B). Spárování kvádrů po osazení do líce (C). Lítí 80 °C horké směsí, při kterém se rychle odvodňovala a tuhla (D). Vyzdívání jádra třetího řádku (E). Příprava na lítí jádra ve čtvrtém řádku (F). Postup při zalévání kamenů v jádru čtvrtého řádku (G). Hotová experimentální zeď (H).

22 Sypné hmotnosti: nehašeného kusového dvorecko-prokopského vápna – 867 kg/m<sup>3</sup>, nehašeného kusového sliveneckého vápna – 850 kg/m<sup>3</sup>, písku – 1525 kg/m<sup>3</sup>. Použité poměry: pojivo ku písku 1 : 2 objemově. Pojivo se skládá z branického a sliveneckého vápna smíchaného v poměru 1,5 : 1 objemově.

Jádro v druhém řádku bylo zalito horkou maltou speciálně připravenou pouze ze vzdušného vápna.<sup>23</sup> Hmota při použití dosahovala teploty kolem 80 °C. Cílem bylo vyzkoušet velmi horkou směs ještě během aktivně probíhající reakce včetně následného efektu, kdy k hašení vápna dojde i poté, co se nalije do jádra zdi. U třetí vrstvy byl odzkoušen postup, při němž byla použita stejná horká malta jako v prvním řádku, ale s menším množstvím přidané vody. Směs měla konzistenci řídké malty. Protože byla malta méně tekutá, bylo jádro rozděleno na dvě vrstvy zalité maltou na dvakrát. Teplota malty opět dosáhla asi 25 °C. V posledním řádku se do řídké malty těsně před použitím přidalo nehašené vzdušné vápno, které zvedlo její teplotu na 50 °C, částice vápna se tudíž mohly ještě dohašovat v konstrukci.

## VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Horká malta navržená na základě rozborů historických předloh vykazovala velmi dobrou zpracovatelnost a pro zdění byla shledána jako vhodná. Oproti současnému dávkování obsahovala výrazně vyšší množství vápna, což směsi zajistilo plasticitu a přilnavost. Použitím čerstvě připravené horké malty se zdivo rychleji zpevnilo v důsledku jejího ztuhnutí. Tento efekt je zřejmě způsoben dohašováním vápených částic, které z malty odebírají záměsovou vodu. Správné použití horké malty mohlo teoreticky urychlit výstavbu kamenných zdí, jelikož přispělo ke zpevnění konstrukce. Tato metoda mohla být ještě úspěšnější, pokud se zdilo v méně příznivých podmínkách, tj. při nižší teplotě a větším vlhku. U kamenného zdiva se osvědčila v případě, že byly k jeho výstavbě použity horniny, které byly málo porézní, a tudíž z malty špatně odsávaly nadbytečnou vodu. Dalším doprovodným jevem je rozpínání částic vápna během hašení. Pokud se děje po aplikaci malty přímo při jejím povrchu, mohou se vytvářet malé krátery, puchýřky, s nimiž je spojeno typické rozpraskání. Tento technologický defekt je u povrchových úprav a omítek zcela nepřipustný. Při spárování hrubého zdiva je ale poměrně málo destruktivní, a uvnitř zdiva může strukturu malty dokonce zpevnit. Diskutované působení horké malty je založeno pouze na empirickém pozorování během experimentu, exaktnější ověření těchto teorií se neuskutečnilo.

Experiment potvrdil, že pro zdění je možné použít horkou maltu, a prakticky ověřil její technologickou výhodu, kterou je rychlejší tuhnutí. Na druhou stranu se ukázalo, že použití velmi horké malty s aktivně probíhající reakcí je příliš náročné z hlediska variability podmínek, které by při zdění následně vedly k rozdílnostem. Na základě tohoto pokusu lze doporučit spíše chladnou maltu, jestliže se předtím velmi dobře promíchá. Pokud se horká malta v minulosti někdy využívala ve stadiu bouřlivě probíhajícího procesu hašení, muselo se

tak nepochybně dít v souladu s dalšími, dosud neodhalenými technologickými procesy při výstavbě.

Při stavbě jádra zdi byl porovnán způsob postupného vyzdívání na maltu s postupem, při němž se jádro zdi vyplnilo kameny na sucho a následně zalilo maltou. Ukázalo se, že pokud se tak správně učiní, je možné do jednoho řádku v jádru zdi kameny nejprve naskládat a maltou následně zalít. (15) Ta ovšem musí mít stejně tak řídkou konzistenci, jakou má řídká injektážní malta. Kameny je vhodné ještě předtím, než se malta nalije, dobře navlhčit. Málo řídká malta nebo rychlé odsátí vody způsobí, že se spáry dostatečně nevyplní. Pokud byla horká malta aplikována ještě během relativně aktivně probíhající reakce, měla tendenci se rychle zahustit a zabránit, aby další malta protekla do mezer mezi kameny. Odhadnutí konzistence a správného okamžiku použití bylo vzhledem k rychle probíhající reakci velmi obtížné a nevedlo k jednotnému a kvalitnímu výsledku. K zajímavému zjištění došlo během makroskopického průzkumu po roce zrání: hodně řídká litá malta se po vytvrzení výrazně nelišila od malty použité v hutném plastickém stavu.

Jádro zdiva bylo možné velmi dobře vyplnit i postupným vyzdíváním. Lícové kameny vytvořily okraje jádra, které bylo naplněno maltou, do níž se následně pokládaly jednotlivé kameny. Množství malty a vazbu kamenů bylo samozřejmě možné upravit podle potřeby. Postupné vyzdívání obecně umožnilo větší kontrolu nad kvalitou provedené práce. Použití horké malty přineslo výše zmíněné technologické výhody ohledně zpevnění a rychlejšího ztuhnutí, ale zpracovatelnost a konzistence byly oproti lití výrazně nižší.

Nálezy větších nedohašených kusů v románské hradební zdi nasvědčují, že se při stavbě používaly malty hašené s pískem, ale nelze přímo doložit, že by malta byla ještě horká. Velikost částic však nasvědčuje, že se jádro vyzdívalo postupně a kameny se kladly do malty. Pokud by se zalévaly zpětně, větší kusy by blokovaly průtok malty mezi kameny. Navíc bylo experimentálně odzkoušeno, že je nutné maltu dobře rozmíchat a musí mít velmi řídkou konzistenci, aby se jí dalo jádro kvalitně zalít. V takovém případě by se větší kusy patrně rozpadly, respektive nedochovala by se vypálená bílá část okolo nedopalu.

Charakter historického románského zdiva vedl k předpokladu, že se spárování upravovalo souběžně s postupem zdění vždy po osazení jednoho řádku. Obdobně se postupovalo při výrobě experimentální zdi. K úpravě spár posloužila současná hranatá kovová zednická lžice. Nejprve se hranou strhla přebytečná malta. Následně se ve spáře uhladila přitlačením a pohybem plochou stranou lžice v příslušném šikmém sklonu ve směru spáry. Takový postup byl efektivní, rychlý a rutinní, nicméně při zpětném posouzení kvality spárování se ukázalo, že je ve srovnání s dochovaným vzhledem původního zdiva až příliš hrubé. (16) U historické předlohy byla spárování patrně věnována větší pozornost včetně toho, že se odstranila a začistila malta,

23 Poměry: nehašené kusové silvenecké vápno ku písku 1 : 1,7 objemově.



15 Pohled na jádro zdiva vyplňované po řádcích. Druhý a třetí řádek od spodu vykazují zjevně nedostatečné vyplnění vnitřních mezer. Pouze velmi tekutá malta dokázala kvalitně vnitřní prostor mezi kameny vyplnit.



16 Pohled na jádro zdiva vyzdívané po řádcích. Do jádra se nejprve vpravila malta, do které se pak skládaly jednotlivé kameny.

která na jednotlivé kvádry vytekla. I v současnosti platí, že u pohledového zdiva je vždy lepší spárovací maltu doplnit než roztírat přebytečnou hmotu, která může zdivo zašpinit. Použití užšího nástroje ani doplňování malty nebylo odzkoušeno, ale předpokládalo by existenci úzké lžice nebo období dnešní spárovačky. Středověcí zedníci své nástroje mistrně ovládali a stejně tak měli zažité postupy, jak se o zdivo starat. Tyto zkušenosti nemáme dnes k dispozici, ale podle dochovaných hmotných důkazů můžeme soudit na poměrně vysoký standard kvality spárování, obzvláště pokud bylo realizováno v rámci zdění.

Hladkost a utažení povrchu kovovým nástrojem přibližně odpovídá nálezům. Nový povrch je relativně hladší oproti originálu, ale rozdíl není nikterak výrazný. Na několika málo místech se vytvořily smršťovací trhliny. (17) Těm by bylo možné zabránit větší péčí během spárování i po něm. Tendence malty k plastickému smrštění byla poměrně nízká, což se ukázalo i při plošném zakončení maltou na koruně zdiva.

Realizovaný experiment nepřímo dokládá velkou variabilitu použití vápenných malt založenou na empirických zkušenostech řemeslné práce s dostupným materiálem. Ukazuje též, že historické postupy je možné replikovat jen s určitou mírou přesnosti. Na druhou stranu, jejich alespoň částečné poznání nám umožňuje, abychom pochopili stavební technologie minulosti a zpřesňovali interpretační potenciál materiálových a technologických průzkumů.



17 Spáry upravené stržením přebytečné malty a šikmým utažením zednickou lžící na zkušební zdi (A). Úprava spár interiérové strany románské zdi kaple zvané sv. Bartoloměje (B).

## LITERATURA

Borkovský, I. 1950. „Objev nového kostela na Pražském hradě“. *Archeologické rozhledy* 2: 188–189.

Borkovský, I. 1953. „Kostel Panny Marie na Pražském hradě“. *Památky archeologické* 44: 129–198.

Cihla, M., M. Panáček, L. Veselý. 2014. „Středověké topůrkové kamenické nástroje, jejich ikonografické a archeologické doklady na našem území a výroba jejich replik“. In *Sborník 12*. Praha: Sdružení pro stavebněhistorický průzkum.

Dennis, G. 1848. *The Cities and Cemeteries of Etruria*. London: John Murray.

Frolík, J., Z. Smetánka. 1997. *Archeologie na Pražském hradě*. Praha: Nakladatelství Paseka.

Frolík, J., J. Maříková-Kubková, E. Růžičková, A. Zeman. 2000. „Nejstarší sakrální architektura Pražského hradu: výpověď archeologických pramenů“. In *Castrum Pragense* 3. Praha: Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.

Khalaily, H., I. Milevski. 2008. „Recent Excavations at the Neolithic Site of Yiftahel (Khalet Khalladyiah), Lower Galilee“. In *NEO-LITHICS 2/08* -The Newsletter of Southwest Asian Neolithic Research, 3–12.

Maříková-Kubková, J., I. Herichová. 2015. Revize první stavební fáze kostela Panny Marie na Pražském hradě/Hradčanech. Návrat po šedesáti pěti letech. *Staletá Praha* 31 (2): 62–75.

Maříková-Kubková, J., I. Herichová. 2017. „Revize mladších stavebních fází kostela Panny Marie na Pražském hradě“. *Staletá Praha* 33 (2): 74–93.

Pedersen, P. 2019. „Emplekton: The Art of Weaving Stones“. In *Listening to the Stones: Essays on Architecture and Function in ancient Greek Sanctuaries in Honour of Richard Alan Tomlinson*. 1–10. Summertown: Archaeopress.

Plinius starší. *Naturalis historia* XXXVI, LI 171. [https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Pliny\\_the\\_Elder/home.html](https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Pliny_the_Elder/home.html)

Rybařík, V. 2017. *Pražští skalníci, kameníci a sochaři: dvacet pět kapitol z historie pražského lomařství, kamenictví a sochařství*. Praha: Česká geologická služba.

Vitruvius, M. P. 2001. *Deset knih o architektuře*. Z latinského originálu *De architectura libri decem*, vydaného F. Krohem v Lipsku 1912, překlad A. Otoupalík. Praha: SERIFA, s. r. o.

Tomlinson, R. A. 1961. „Emplekton Masonry and ‚Greek Structura‘“. *The Journal of Hellenic Studies* 81: 133–140.

Zeman, A., E. Růžičková. 2000. „Malty na vybraných středověkých stavbách na Pražském hradě“. In *Castrum Pragense* 3, 261–270. Praha: Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.



**Technologická kopie  
renesančního sgrafita**



**V** historickém centru Slavonic, na boční fasádě domu čp. 545 v ulici Boženy Němcové (dříve Rosengasse/Růžová), se nachází renesanční sgrafito s figurami landsknechtů.<sup>1</sup> Sgrafito se dříve nalézalo pod omítkou, která jej chránila před povětrnostními vlivy. Díky této ochraně se sgrafito dochovalo v autentickém stavu, jenž dokládá původní zpracování po řemeslné i výtvarné stránce. Jedním z pozoruhodných autentických detailů, který je možné pozorovat pouze na dobře zachovalém originálu, je technika stínování. Ačkoli se sgrafito landsknechtů dochovalo ve fragmentech, můžeme na relativně zachovalé povrchové vrstvě pozorovat specifický způsob stínování provedený tzv. prokletováním svrchního nátěru. Tato teprve nedávno popsaná technika se v různém stavu zachování vyskytuje v celé slavonicko-dolnorakouské oblasti.<sup>2</sup>

Nová zjištění podnítila návazný výzkum, což znamenalo vytvořit technologickou kopii slavonického renesančního sgrafita včetně hodnověrného způsobu stínování. Fragmenty renesančního sgrafita z domu čp. 545 nabídly ideální příležitost pro ověření vlastností materiálů a jejich vztahu k dochované technice stínování. Dílčími výzkumnými úkoly, které ve finále vedly k využití získaných poznatků při rekonstrukci chybějících částí sgrafita formou materiálové a technologické kopie, byly též celkový postup tvorby sgrafita, výzkum kvality použitých surovin a vhodnosti různých nástrojů, a to s ohledem na výsledné výtvarné působení.

## TECHNIKA RENEŠANČNÍHO SGRAFITA

Sgrafito neboli „škrábání“ v omítce bývá definováno jako rytá figurální a ornamentální výzdoba exteriérů, výjimečně i interiérů budov. Období, ve kterém sgrafito vzniklo, odpovídá charakter výtvarného zpracování. Technika proškrabávané omítky se používala po celá staletí, dokonce již ve starověkém Egyptě, v antice i ve středověku.<sup>3</sup> Na počátku 16. století její tvarosloví obohatily složitější grotesky, kresbné imitace pravidelného kvádrování, rozvinuté figurální motivy ztvárněné do složitých ikonografických programů. Sgrafito jakožto svěbytná dekorativní technika, jak je známo z renesančních fasád na našem území, pochází z italské renesance.<sup>4</sup> V 19. a 20. století působí sgrafito spíše kontrastem tmavých hrubých ploch a světlých hladkých ploch s lineární kresbou, bílý proškrabávaný povrch často tvoří vrstva jemnozrné omítky. V renesanci však autoři soudobých textů popisují techniku sgrafita složitěji a vypichují i její malířské aspekty, spočívající ve stínování.<sup>5</sup> Giorgio Vasari i Filippo Baldinucci také shodně popisují bílou povrchovou vrstvu jako nátěr.<sup>6</sup> Nejnovější nálezy, které vycházejí z vizuálních a stratigrafických průzkumů v terénu, literární záznamy potvrzují. Většina renesančních sgrafit na našem území sestává pouze z jedné omítkové vrstvy s vápenným nátěrem na povrchu.<sup>7</sup> Sgrafito ve dvou a více omítkových vrstvách se používá v 19. a 20. století. V tomto období se však již využívaly nové materiály i postupy, kterými se tento výzkum nezabývá.

Také renesanční sgrafito slavonického okruhu se skládá ze svrchního bílého vápenného nátěru (v české literatuře bývá tato vrstva někdy označována jako *intonaco bianco*) a ze spodní barevné jemnější omítkové vrstvy neboli *intonaca* (probarvená nebo písková omítková vrstva, v české literatuře někdy označována jako *intonaco*

1 Landsknecht – žoldák císařských vojsk, v 16. století též oblíbený motiv v lidové kultuře. Waisserová 2020, s. 26.

2 Techniku stínování sgrafit tzv. prokletováním poprvé popsala Z. Wichterlová. Wichterlová 2015, s. 57–61. První rozsáhlé průzkumy sgrafit v jihočeské oblasti se uskutečnily v letech 2012–2013.

3 Alonzo 2019.

4 Více k východiskům sgrafitové techniky zejména Waisser 2011, s. 71–75.

5 Giorgio Vasari (1511–1574) i Filippo Baldinucci (1625–1696) popisují detaily techniky zvané škrábání na fasádách jako šrafování /*tratteggiare*/, zatlačení /*aggravare*/ a doplnění světlostí /*chiaro e scuro*/ či polobarvou /*mezzo colore*/, /*tinta di mezzo*/, což je jednoznačně popis stínování. Oba autoři také shodně uvádějí jako součást techniky další kolorování či podpoření stínů akvarelem. Waisserová 2020, s. 14–18.

6 Waisserová 2020, s. 16.

7 Waisserová 2002, Waisser 2011, Wichterlová 2015.



1 Slavonice, dům čp. 545 před počátkem rekonstrukce v r. 2015. Linie naznačuje rozhraní mezi jeho dvěma renesančními stavebními fázemi.

## SGRAFITO LANDSKNECHTŮ

### POZNÁMKY K HISTORII SGRAFITOVÉ FASÁDY DOMU ČP. 545 VE SLAVONICÍCH

Fasádu a interiér domu značně poznamenala adaptace v průběhu 20. století. (1) Dokud na budově nebyla kolem roku 2005 objevena sgrafita, stála mimo zájem odborníků z okruhu dějin umění a památkové péče. Objekt sestává ze dvou částí, resp. současné jádro domu je vybudováno na základě staršího (landsknechtského) objektu pravděpodobně už v první polovině 16. století. Po podrobném studiu zdíva a omítek je tedy nejpravděpodobnější teorie dvou „renesančních“ fází stavby domu. (2) Figurální sgrafita s landsknechty vznikla v rané fázi. V této době byl dům nižší, soudě podle dostavěné cihlové nástavby nad korunou nejstaršího dochovaného zdiva. Ještě v době, pro kterou bylo dekorování sgrafity typické, byla přední část budovy rozšířena a dekorována sgrafitovou bosáží. Tehdy pravděpodobně zanikla figurální výzdoba.<sup>11</sup> Na nejstarším vyobrazení města Slavonice od Jana Nevídala ze Želetavy z roku 1729 je dům již větší, má dva nové střešní štíty a zadní prodloužený hospodářský trakt, který je v současnosti od objektu oddělen a přestavěn na sousední dům. (3) Ve druhé polovině 18. století dostal štít klasicistní podobu a celkově budova doznala dalších stavebních úprav.

V průběhu 19. a 20. století četné opravy překryly fasády druhotnými vrstvami omítky a nátěrů a až do roku 2016 neprošla renesanční sgrafita žádným restaurátorským zásahem, došlo jen k odhalení sond a restaurátor Václav Špale v roce 2010 obtmelil ohrožená místa. Komplexním restaurováním, jež zahrnuje odkryv všech překryvných omítek, prošel vnější plášť až v letech 2016 a 2017.

colorato).<sup>8</sup> Barevné intonaco obsahuje kamenivo, tj. písek a další plniva, která mají technickou či estetickou funkci. Nejčastěji barevnost odpovídá použitému písku; šedé a šedočerné odstíny vznikly přidáním dřevěného uhlí.

U renesančních sgrafit na našem území je obvykle neplněný bílý vápenný nátěr začerstva šrafován a odškrabáván na spodní vrstvu barevného intonaca, čímž vzniká požadovaný obraz s hrubším kontrastním pozadím. Zároveň se vyskytuje také stínování sgrafit prokletováním či nanesením tmavší barvy na bílý povrchový vápenný nátěr, který se s ním částečně mísí, často je též kolorován v modré a červené lazuře.

Stínování prokletováním se docílí hlazením a ztenčením vápenného nátěru hranou špachtle, čímž se nátěr částečně vtlačí do barevného intonaca. Tak vznikne měkký a hladký polotón.<sup>9</sup> Sgrafito se tak přibližuje šerosvitné malbě, získává na iluzivním působení, jak píší Vasari a Baldinucci.<sup>10</sup>

8 Intonaco v historické literatuře označuje vrstvu jemnozrné omítky, určené pro pokrytí exkluzivnějších povrchů. Poeta, Waisserová 2020. Pojmy intonaco colorato a intonaco bianco jsou v kontextu současných znalostí nepřesné, zejména pokud se jedná o povrchovou vrstvu na renesančních sgrafitech, kde obvykle nejde o bílou omítku, ale o nátěr bez plniva. Bílý povrchový nátěr je v dobové literatuře označován jako bianco. Waisserová 2020, s. 18.

9 Wichterlová 2017, s. 125–126.

10 Například Vasari popisuje stínování touto poetickou větou: „...železem, šrafuji vápno a opracují jeho obrysy, které ježto vespod černé tělem, ukazuje všechny rýhy od železa jako tahy kresby. A v těch polích je zvykem oholit/oškrábat bílou a potom vzít tmavý akvarelový odstín, velmi vodnatý, ten dát tmavým místům, jako by se dělalo na papíře, což z dálky dělá krásné zdání...“ Vasari 1906, vol. 1. XII., s. 174–191. Přeložila Milena Poeta.

11 Waisserová 2020, s. 16–17.

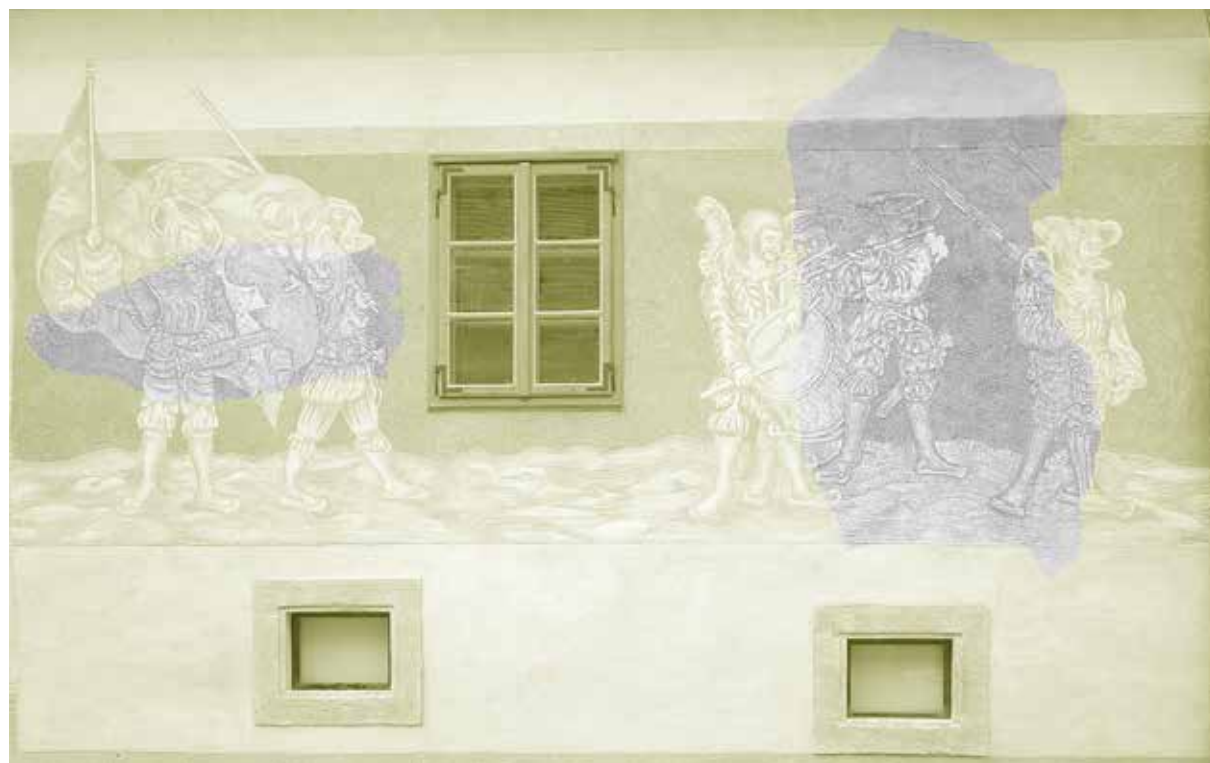


3 Na vedutě města je zobrazen dům po druhé renesanční přestavbě s rozšířeným hospodářským traktem (označen výřezem). Veduta města Slavonic, 1729, Archiv města Brna, fond V 3 – Knihovna Mitrovského 1400–1900 (1956), sbírka vedut D. J. I. Hoffera, sign. A 260, inv. č. 40/127.



2 Slavonice, dům čp. 545. V přední části domu byl pod sgrafitovou bosází ve zdivu nalezen druhotně použitý rohový kámen potažený sgrafitovou omítkou (totožnou s omítkou landsknechtů z první renesanční fáze). Velmi pravděpodobně jde o kámen opětovně použitý při druhé renesanční přestavbě objektu.

4 Slavonice, dům čp. 545. Grafické vyznačení rozsahu rekonstruovaného sgrafita. Původní fragmenty renesančního sgrafita jsou šedé. Nově provedená rekonstrukce je okrová. Nalevo od okna jsou postavy praporečnicka a tzv. leitingera, napravo je bubeník, dva flétnisté a tzv. dopellsöldner.



5 A, B Fragments původní omítky se sgrafitem landsknechtů v průběhu odkryvu; foto 2016.





6 Slavonice, dům čp. 545. Stav před rekonstrukcí části fasády s motivem landsknechtů. Po stranách druhotně proraženého okna jsou již zakonzervované fragmenty původního renesančního sgrafita. Sgrafitová bosáž na levé straně snímku patří k pozdější renesanční výzdobě domu; foto 2017.

## PŘEDMĚT VÝZKUMU

Na pravé části boční fasády domu se z obou stran zvětšeného okna nacházely pod druhotnou omítkou skryté dva fragmenty figurálního renesančního sgrafita. (4, 5, 6) Na levé části fasády jsou pouze jednoduché obdélné bosy, které končí na stavební spáře staršího domu.

Předmětem výzkumu se staly fragmenty figurálního sgrafita na pravé části fasády. Jsou na nich vyobrazeny postavy nebo části postav landsknechtů. Celistvěji se dochovalo pět postav, z dalších dvou se zachovaly pouze fragmenty jejich těla (ruka) a části výbroje (meč). Výraznou postavou na fragmentu nalevo od okna je praporečník, který v pravé ruce drží prapor císařské pěší kohorty s burgundským křížem a Řádem zlatého rouna, sekunduje mu voják s halapartnou, tzv. leitinger. Na fragmentu napravo od okna je oblíbený muzikantský doprovod, bubeník a dva flétnisté a také voják s mečem,

tzv. dopellsöldner.<sup>12</sup> Záměr obnovy sgrafita počítal s tím, že pokud se najdou odpovídající grafické předlohy, figury se doplní, a díky tomu bude možné fragmenty vnímat v jejich celistvosti.<sup>13</sup> Při konzervačním zásahu se měl v maximální míře uplatnit tzv. princip minimální intervence. Doplněvaná část sgrafita měla být provedena jako materiálová a technologická kopie původního sgrafita se zachováním odlišnosti rekonstrukcí a originálu.

12 Leitinger nosí halapartnu obráceně a v landsknechtském pluku je pomocníkem velitele; dopellsöldner je voják určený pro přímý boj v první linii a stejně jako praporečník za všech okolností střeží prapor; všechny tyto vojenské šarže dostávaly dvojí žold. Waissarová 2020, s. 47–48.

13 Rešerše grafických předloh v knihovnách a digitalizovaných sbírkách středoevropských knihoven je nezbytnou součástí restaurování sgrafit. Waissarová 2020, s. 21–27.

**7** Detail hlavy pišče. Pomocí kletování vápenného nátěru a šrafury lze dosáhnout iluze plasticity, kterou podporuje i silná vrstva bílého nátěru v kontrastu k hladkým plochám bez něj, v místech prokletovaných stínů. Povrch je místy poškozený. Foceno v šikmo dopadajícím světle.



**8** Ruka leitingera držícího kopí, nalevo část praporu. Přesně vedené linky jsou různé hluboké, od velmi jemných až po výrazné vyznačení hlavních linií obrazu. V neporušených částech vápenného nátěru jsou stále viditelné stopy horizontálně vedeného štětce. Foceno v šikmo dopadajícím světle.



**9** Fragment napravo od okna, část architektonického pohledu. Povrch původního sgrafita v šikmo dopadajícím světle.



**10** Detail architektonického pohledu s patrnými třemi základními stupni struktury sgrafita. V horní třetině je nátěr bez dalších úprav, který působí jako nejsvětlejší místo, v prostřední třetině je nátěr částečně odebrán a uhlazen špachtlí, povrch byl následně dozdoben šrafurou. Nejtmaší část dole vznikla úplným odškrábáním vápenného nátěru a povrchu omítky.



## POPIS PŮVODNÍ TECHNIKY A STAVU SGRAFITA

Kamenné bloky zdíva starší části domu (pravé poloviny fasády s figurálním sgrafitem) jsou menší a spárová omítka obsahuje značné množství jílu. Na vyrovnávací vápenné jádrové omítce je nanášeno barevné intonaco pískové barvy potažené bílým vápenným nátěrem. Tento nátěr není hlazený, naopak na jeho povrchu jsou zřetelné výrazné stopy po štětci. (7, 8, 9, 10) Na částech s dochovanými akcenty světla, kde není nátěr ztenčen setřením a uhlazením špachtlí, se větší šrafura nevyskytuje. Šrafované jsou zejména hladké prokletované stíny, a to jak rytou, tak mělkou, pouze vtlačenou kresbou. Rozmanitost silných rytých a tenkých vtlačených kresebných linií a valéry, tvořené odlišným tlakem na špachtli při stírání bílého nátěru, dodávají iluzi plasticity. (10) Odryté plochy pozadí mají hrubou strukturu. Ve struktuře omítky jsou tu a tam patrné bílé pojivové částice.

Povrch sgrafita je částečně degradovaný, místy chybí vrstva vápenného nátěru, zejména tam, kde byla pouze velmi tenká prokletovaná vrstva. Souvrství intonaca a nátěru je celistvé, lokálně jsou

zřetelná drobná mechanická poškození a peky. Vzhledem k nesoudržné jádrové omítce se barevné intonaco oddělilo od podkladového zdíva a vznikly pod ním dutiny. Patrně v důsledku tohoto poškození již v minulosti velká část sgrafita odpadla a zanikla. Z celkové výzdoby fasády se dochovaly pouze dva plovoucí fragmenty.

Když byly v roce 2016 odkryty druhotné vrstvy, musely se provést nutné konzervační práce. Navzdory záměru zasahovat do původních částí co nejméně se prokázalo, že je nevyhnutelné, aby se pomocí bodové injektáže a přítlačných konstrukcí stabilizovala narušená přilnavost s podkladem a sgrafito se strukturálně zpevnilo.<sup>14</sup> Vlastní realizace velkoplošných rekonstrukcí sgrafita následovala po detailních průzkumech a důkladných přípravách v roce 2017.

<sup>14</sup> Injektáž provedená maltovou směsí měla toto složení: 1 díl mramorová moučka : 2 díly Ledanu TC1 plus, do větších dutin se přidávalo lehčené plnivo v poměru 1 díl Perlitu EP 150 : 2 díly Ledanu TC1 (Ledan TC1 plus, Tecno Edille Toscana); aplikovala se hadičkou nebo jehlou. Strukturální konsolidace byla provedena vápennou nanosuspenzí v etanolu (CaLoSil E25, IBZ Salzchemie, Freiburg).



11 Erhard Schön, Landsknechtli. Kolorovaný dřevorez, 1532–1542. Grafická předloha pro sgrafita. Jde o listy 6 (A) a 5 (B) z desetidílného souboru s doprovodnými verši Hanse Sachse vtištěného u Hanse Guldenmunda v Norimberku. (Grafická sbírka Muzea vévody Antona Ulricha v Braunschweigu, sign. ESchön WB 3.11 a ESchön WB 3.10).

## PŘEDLOHY PRO REKONSTRUKCE

Většina renesančních figurálních sgrafitových obrazů, nejen ve Slavonicích, vycházela ze vzorů v dobové grafice, která je v podstatě součástí původní sgrafitové techniky. Ve slavnickém prostředí jde převážně o grafiku reformační z podunajské proveniencí. Oblíbenou literární předlohou pro téma landsknechtů v první polovině 16. století byly básně Hanse Sachse.<sup>15</sup> Autorem doprovodných grafik k veršům a zároveň vzorů pro landsknechty na fasádě domu čp. 545 je v místním prostředí oblíbený grafik Erhard Schön. Matrice ve společnosti oblíbených ilustrací od sebe rytci v 16. století často přejímali a kopírovali je, mnohdy i s drobnými změnami, a proto je třeba na jakékoli nalezené předlohy nahlížet kriticky, důsledně je porovnávat s několika zdroji a zároveň s přesně obkreslenými liniemi dochovaných sgrafit. Porovnáním sejmutých pauz z originálních sgrafit landsknechtů

s velkou řadou dobových ilustrací se zjistilo, že jim nejlépe odpovídají grafiky nalezené v digitální sbírce Herzog-Anton-Ulrich Muzea v Braunschweigu. (11)

15 Básně představují jednotlivé postavy pluku, popisují jejich poslání plné strastí i důležitých úkolů. Wasserová 2020, s. 47–48.

## MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM PŮVODNÍ TECHNIKY SGRAFITA LANDSKNECHTŮ

Průzkum zjišťoval materiálové složení a vrstvení sgrafita, barevného intonaca i vápeného nátěru. Sledované parametry a použité metody jsou shrnuty v **tabulce 1**.

### 1 ANALYTICKÉ POSTUPY POUŽITÉ PŘI STUDIU MALTOVÉHO SYSTÉMU ZE SGRAFITA LANDSKNECHTŮ

Shrnutí výsledků pro analyzované vzorky										
<b>Tloušťka vrstev a jejich složení</b> <b>Použité metody:</b> Průzkum in situ OM	Studované sgrafito se skládá ze tří vrstev: podkladové jádrové malty, barevného intonaca (tl. 5–10 mm) a vápeného nátěru (tl. 0,3–0,6 mm). Hranice mezi intonacem a nátěrem je neostrá. Barevné intonaco obsahuje pouze vápno a písek bez dalších probarvujících aditiv. Bílý nátěr neobsahuje žádné plnivo. Celková tloušťka nátěru je na jednovrstvý nátěr poměrně silná, ale u zkoumaných vzorků nebylo možné rozlišit jednotlivé nátěrové vrstvy. Povrchové partie nátěru jsou obohaceny o vápenné pojivo. Na vápenném nátěru jsou v šikmo dopadajícím světle viditelné stopy štětce a různé variace ztenčení a uhlazení až po propojení s podkladem – barevným intonacem.									
<b>Charakteristika pojiva</b> <b>Použité metody:</b> OM SEM-EDS TA RTG	V barevném intonacu i ve vápenném nátěru bylo použito stejné nebo velmi podobné pojivo. Jedná se o čisté kalcitické vápno ( $Cl \leq 0,3$ , $CaCO_3 > 95$ hm. %, $MgO < 2$ hm. %, $SiO_2 < 5$ hm. %). Ve vzorku se nevyskytovala nevypálená surovina, která by umožnila bližší petrografické určení. Místy byly identifikovány kalcium-silikátové částice, velmi pravděpodobně se jednalo o inertní reliktu silikátových minerálů z původní suroviny, které jsou typické pro krystalické vápence.									
<b>Charakteristika plniva</b> <b>Použité metody:</b> OM SEM-EDS Síťová analýza	Plnivo barevného intonaca sestává z písku s majoritním zastoupením křemene a ortoruly, dále živců a světlých a tmavých slíd. Klasy jsou neopracované, ostrohranné, s nerovným povrchem. Svědčí o krátkém transportu či vzniku zvětráváním in situ. Plnivo je menší než 4 mm, frakce menší než 63 $\mu$ m se pohybuje do 5 hm. %.									
<b>Poměr pojiva ku plnivu</b> <b>Použité metody:</b> Rozpouštění v kyselině OM	Hmotnostní poměr rozpustné složky ku složce nerozpustné v barevném intonacu je 37,3 : 62,7. Pro srovnání: na základě odhadu objemových % z plochy výbrusu vycházel poměr pojiva ku plnivu jako 1 : 1,5. Suroviny použité pro výrobu repliky: Vápenná kaše z vápna Nedvědice objemová hmotnost ... 1350 kg/m <sup>3</sup> obsah sušiny ... 40 hm. % Vápenný hydrát Nedvědice objemová hmotnost ... 740 kg/m <sup>3</sup> Písek Slavonice – pískovna objemová hmotnost ... 1850 kg/m <sup>3</sup> Navržené dávkování: <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td></td> <td>hm.</td> <td>obj.</td> </tr> <tr> <td>Vápenný hydrát ku písku</td> <td>1 : 2,3</td> <td>1 : 1,0</td> </tr> <tr> <td>Vápenná kaše ku písku</td> <td>1 : 1,1</td> <td>1 : 0,7</td> </tr> </table>		hm.	obj.	Vápenný hydrát ku písku	1 : 2,3	1 : 1,0	Vápenná kaše ku písku	1 : 1,1	1 : 0,7
	hm.	obj.								
Vápenný hydrát ku písku	1 : 2,3	1 : 1,0								
Vápenná kaše ku písku	1 : 1,1	1 : 0,7								
<b>Organické přísady</b> <b>Použité metody:</b> OM GC-MS IČ TA	Pomocí nanokapalinové chromatografie byly v jednom případě ve vápeném nátěru zjištěny stopy po mléčném proteinu kaseinu. Při opakování analýzy na dalších vzorcích se ale nepodařilo výsledek potvrdit, při analýze vzorku pomocí IČ nebyl kasein detekován. Vrstva bílého nátěru obsahovala též štavelan vápenatý. Jeho přítomnost byla interpretována jako důsledek působení biologického znečištění.									
OM – optická mikroskopie; SEM-EDS – elektronová mikroskopie (druh detektoru); TA – termická analýza; RTG – rentgenová difrakce; GC-MS – kapalinová chromatografie s hmotnostním spektrometrem; IČ – infračervená spektroskopie; Cl – cementační index.										



## BAREVNÉ INTONACO

Barevné intonaco vytváří pevnou, dobře soudržnou vrstvu. Ve hmotě jsou makroskopicky viditelné světlé pojivové částice do velikosti zhruba 4 mm. Převážně jsou tvořeny částečně či úplně vypálenými kousky pojiva; zcela nevypálená surovina nebyla v odebraných vzorcích zjištěna. Tyto nerozpadlé částice vznikají nedokonalým hašením a přípravou malty. V menší míře se vyskytují také kalcium-silikátové částice, jejichž složení se od majoritní pojivové matrice liší, což způsobuje také jejich odlišné chování v procesu přípravy malty.

Pojivo barevného intonaca je vzdušné vápno, které nevykazuje hydraulické vlastnosti a neobsahuje hořečnaté složky. Plnivo sestává z písku, v němž převažuje křemen a ortorula, dále obsahuje živec a světlé i tmavé slídy. Písek tvoří ostrohranné neopracované klasty s nerovným povrchem. Velikost písečných zrn je menší než 4 mm, frakce menší než 63 µm se pohybuje do 5 hm. %. Písek byl před použitím pravděpodobně upraven přesátím přes síto o velikosti hrany oka okolo 4 mm. V maltě nebylo prokázáno, že by záměrně obsahovala organickou příměs.

Malta je velmi bohatá na pojivovou složku. Hmotnostní poměr vápenného hydrátu a písku byl stanoven 1 : 2,3. Pokud použijeme vápenný hydrát z vápna Nedvědice a kopaný písek z písku Slavonice – pískovna, objemový poměr činí 1 : 1.

## BÍLÝ VÁPENNÝ NÁTĚR

Vápenný nátěr na povrchu sgrafita neobsahuje žádné plnivo, pouze ojediněle se v něm zachytily pojivové částice o velikosti 0,4 mm. Dobré propojení nátěru s podkladovou vrstvou dokládá jejich neostrá hranice, kterou je možné pozorovat v mikroskopu. Nález je možné interpretovat jako důsledek nanesení nátěru na vrstvu barevného intonaca, dokud byla čerstvá. Pod optickým ani elektronovým mikroskopem není vždy možné jednotlivé vrstvy nátěrů rozlišit, ale aplikace v jediné vrstvě se zdá nepravděpodobná, především vzhledem k tloušťce nátěru až 0,5 mm. Na některých vzorcích jsou viditelné dvě až tři vrstvy, na jiných, byť ze stejného sgrafita, však vrstvy rozeznatelné nejsou.

Na povrchu nátěru je pozorovatelná vrstvička obohacená o vápenné pojivo. Zhuštění u povrchu vzniká v důsledku tlaku nástrojů, případně krátce po nanesení vlivem migrace jemných pojivových částic směrem k povrchu při vysychání. Také se zde usazuje a krystalizuje uhličitán vápenatý z hydroxidu vápenatého rozpuštěného ve vodě. Vápno mělo stejný charakter jako vápenné pojivo použité pro barevné intonaco. V mikroskopickém pozorování nátěru jsou viditelné kalcium-silikátové částice, což svědčí o použití krystalického vápence (mramoru) jako suroviny pro výrobu vápna. U odebraných vzorků nátěru se dále ověřovala přítomnost organických příměsí. Analýza organických látek prokázala, že povrch je kontaminován šfavelanem vápenatým, možná biologického původu.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Na levé, bosované části fasády se nacházel jasně viditelný biologický povlak, zejména lišejníků.

## ANALYZOVANÝ VZOREK

OSL 4 Sgrafitová omítka  
OSL B4 Vápenný nátěr  
OSL J4 Barevné intonaco

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS



Místo odběru materiálu z fragmentu renesančního sgrafita. Vzorek (OSL 4) obsahoval vrstvu barevného intonaca (OSL J4) a vápenného nátěru (OSL B4).

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

	OSL 4					
	Vápenný nátěr (znečištěná vrstva)	Vápenný nátěr (Ca-Si částice)	Vápenný nátěr (pojivo)	Barevné intonaco (pojivový shluk)	Barevné intonaco (Ca-Si-Mg částice)	Vápenný nátěr (pojivo)
	1	2	3	7		11
CaO	84,2	53,3	97,3	97,0	15,0	96,1
SiO <sub>2</sub>	7,2	43,4	0,7	1,6	50,7	1,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	1,1			2,1	0,1
MgO	1,8	0,9	1,1	1,4	30,1	1,6
Na <sub>2</sub> O	0,4	0,5				
K <sub>2</sub> O	0,6	0,5			0,2	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4		0,3		0,5	
SO <sub>3</sub>	0,3		0,6		1,0	0,7
Cl	0,3	0,4				0,4
FeO	1,1				0,4	
Suma	100	100	100	100	100	100
CI	0,28	2,25	0,02	0,04		0,03

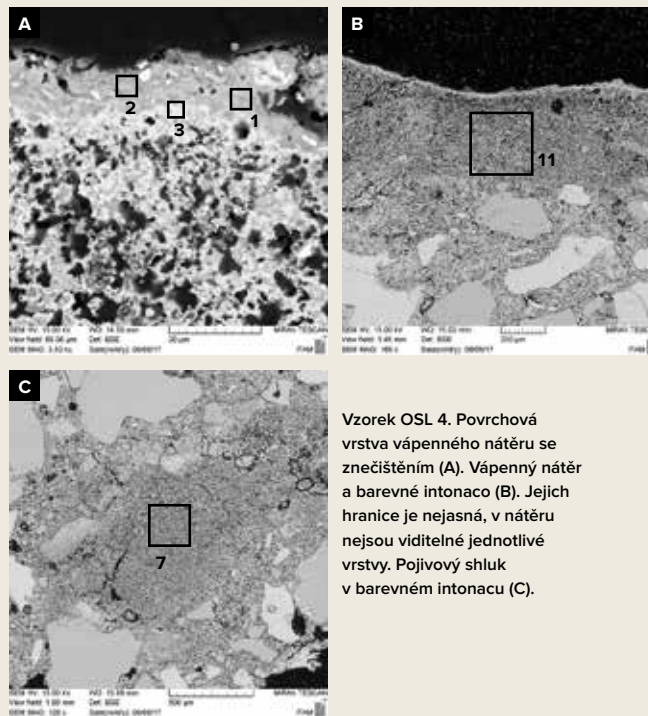
CI – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické vápno; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



### OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

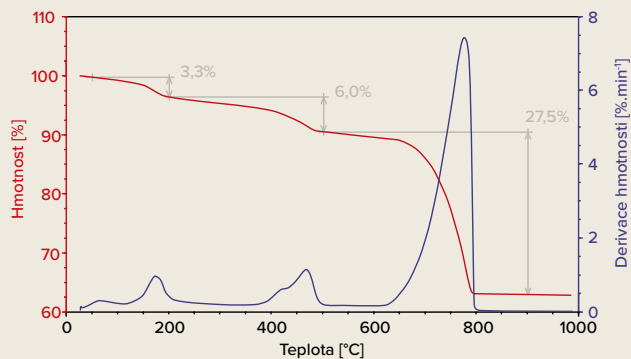
Vzorek OSL 4 je tvořen kompaktním jemnozrnným pojivem. Jeho barva je tmavě béžová až hnědá. Místa se v něm vyskytují pojivové shluky (lime lumps). Plnivo vzorku tvoří křemenná zrna a úlomky ortoruly o velikosti od 0,3 do 1 mm. Méně často se však ve výbrusu vyskytují i klasty velké až 2 mm. Všechna zrna jsou většinou ostrohranná, často rozrušená trhlinami a prasklinami. Kromě křemenných zrn se místy vyskytují též drobné světlé a tmavé slídy, živce a opakní minerály. U jednotlivých klastů nebylo pozorováno žádné prostorové usměrnění. Materiál je málo porézní, kompaktní, téměř bez poruch a pórů. Praskliny jsou dominantně rovnoběžné s vrstevnatostí. Z pozorování lze objemový poměr přítomného pojiva a plniva odhadnout na 3 : 2. Na povrchu vzorku se nachází velmi jemnozrnný karbonátový nátěr s neostrou, ale viditelnou hranicí s podložní maltou. Místa jsou v něm patrně praskliny kolmé na vrstevnatost.

Výbrus vzorku OSL 4. Barevné intonaco je tvořeno jemnozrnným pojivem s občasnými pojivovými shluky a plnivem – převládajícími křemennými klasty a úlomky ortoruly. Vápenný nátěr neobsahuje plnivo a nejsou v něm viditelné vrstvy.



Vzorek OSL 4. Povrchová vrstva vápenného nátěru se znečištěním (A). Vápenný nátěr a barevné intonaco (B). Jejich hranice je nejasná, v nátěru nejsou viditelné jednotlivé vrstvy. Pojivový shluk v barevném intonacu (C).

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku OSL B4 (vápenný nátěr); kromě pásu rozkladu  $\text{CaCO}_3$  v rozmezí teplot 600 až 800 °C se na křivce DTG vyskytují další dva zřetelné, méně intenzivní pásy související s kontaminací vzorku štavelanem vápenatým. Obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorku je 62,5 hm. %.

## RENTGENOVÁ DIFRAKCE (XRD)

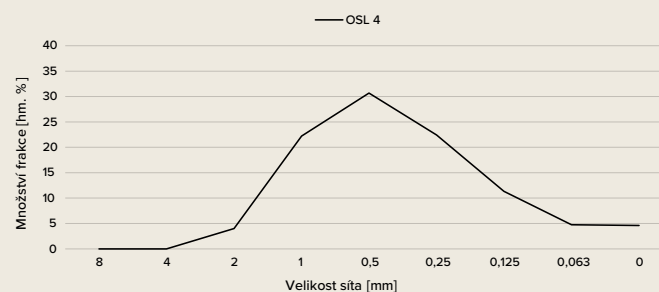
	Křemen	Slída	Živce	Kalcit	Ilmenit	Lepidokrokit	Amorfní fáze
OSL J4B	4,7	2,7	4,8	58,2	<0,5	0,6	28,5

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ OCTOVÉ

Barevné intonaco	Rozpouštění		Vypočtené hmotnostní dávkování			
	Navážka [g]	Nerozpustný podíl [hm. %]	Rozpustný podíl [hm. %]	Vápenná kaše : písek	Vápenný hydrát : písek	Nehašené vápno : písek
OSL J4	29,7	62,7	37,3	1 : 1,1	1 : 2,3	1 : 3,0

## NEROZPUSTNÁ SLOŽKA – PÍSEK

Vzorek se skládá z křemenných zrn, slíd, jílových minerálů (i jejich větších shluků), shluků jemnozrnné karbonátové hmoty a drobných horninových litoklastů (opuky).



Granulometrická křivka klastů po rozpouštění vzorku OSL J4.

## ORGANICKÉ PŘÍSDADY

Ve vzorku OSL B4 byly pomocí metody MALDI-TOF nalezeny mléčné proteiny (hlavně kaseiny). Metoda FTIR kasein nepotvrdila. Výsledek analýzy MALDI-TOF pro vzorek OSL B4.

Akcese	Protein	Počet shod
CASB_BOVIN	Beta-casein	3
LACB_BOVIN	Beta-lactoglobulin	3
contP02663	Alpha-S2-casein	3
contP02662	Alpha-S1-casein	1

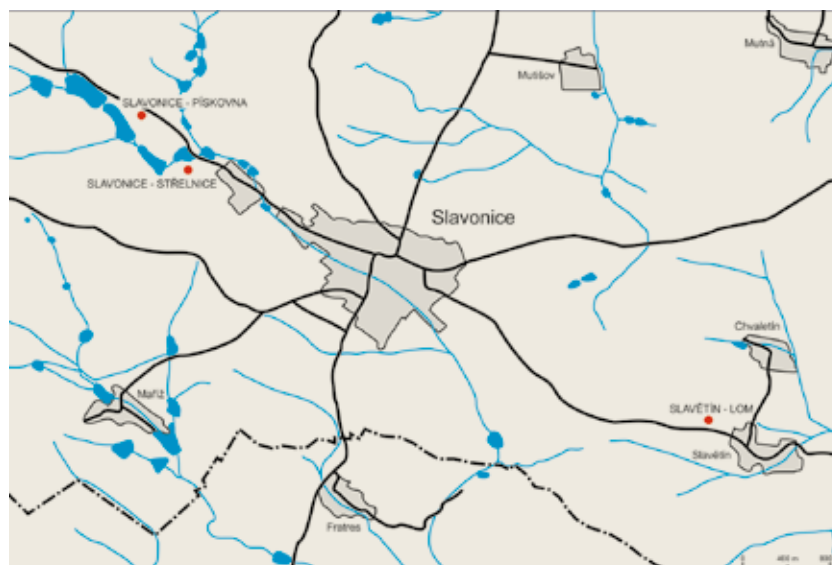
## ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ

Pojivo barevného intonaco je čisté vzdušné vápno, které nevykazuje hydraulické vlastnosti a není dolomitizované. Plnivo je tvořeno pískem s dominancí křemene a úlomků ortoruly, dále s příměsí světlých a tmavých slíd a živců. Vzorek obsahuje ostrohnané neopracované klasty s nerovným povrchem. Velikost plniva je menší než 4 mm, frakce menší než 63  $\mu\text{m}$  se pohybuje do 5 hm. %. Písek byl pravděpodobně před použitím upraven síťováním (velikost ok kolem 4 mm).

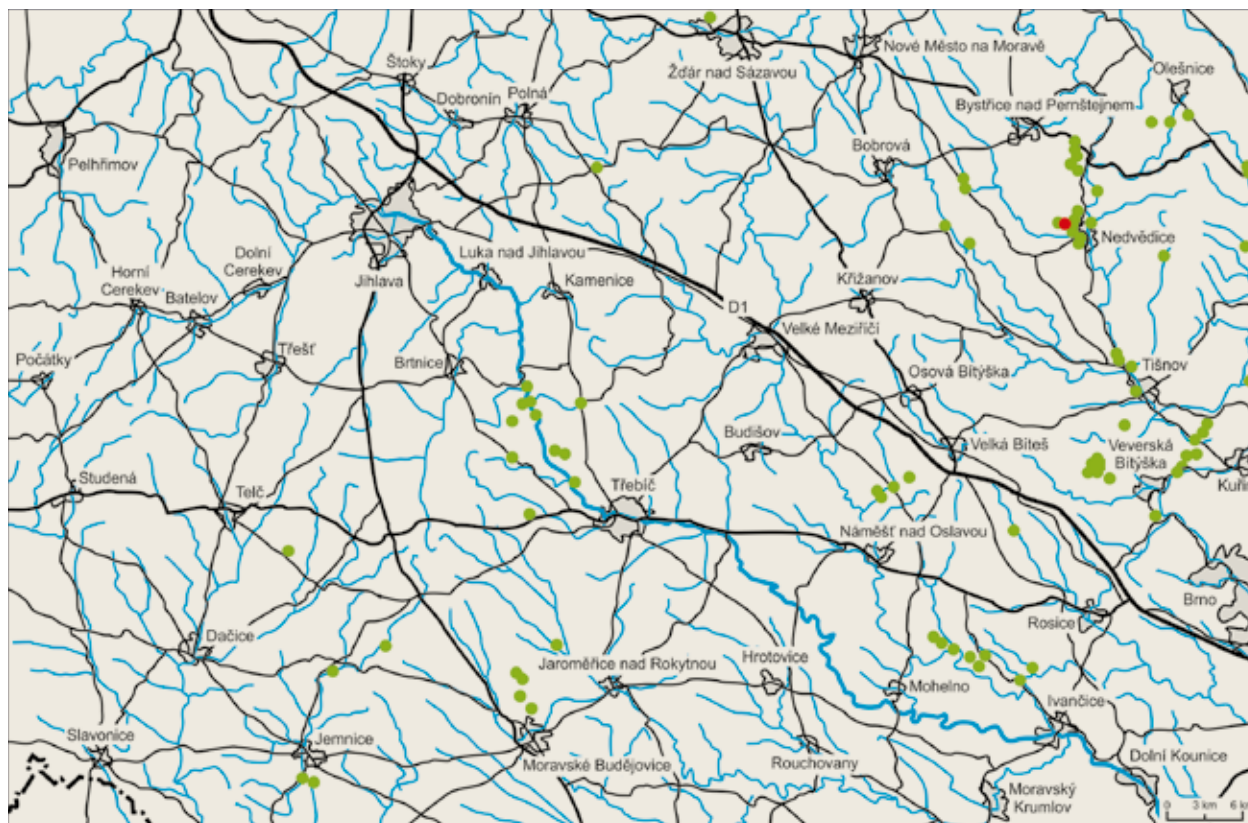
Hranice mezi intonacem a nátěrem je neostrá. Pod mikroskopem nebyly rozpoznatelné jednotlivé nátěrové vrstvy. Na povrchu bílého nátěru však byla přítomna vrstvička obohacená o CaO.

Vápenné pojivo nátěru je velmi čisté, nehydraulické a nedolomitizované, jedná se o stejné pojivo jako u intonaco. V nátěru jsou viditelné kalcium-silikátové částice. V jednom případě byly v nátěru zjištěny stopy po mléčném proteinu kaseinu (pomocí metody nanokapalinové chromatografie). Při opakování analýzy na dalších vzorcích se nepodařilo výsledek potvrdit, při analýze vzorku pomocí IČ nebyl kasein detekován. Záměrné přidání kaseinu proto nelze potvrdit. Vápenný nátěr je znečištěn štavelanem vápenatým.

13 Místa, ve kterých byly odebrány zkušební píský v okolí Slavonic. Zaniklé pískovny byly vyhledány podle Soupisu lomů ČR 41. Okres Moravské Budějovice. Kalášek J., Polák A. (1950).



12 Slavonice s nejbližšími zjištěnými lomy na krystalické vápence. Mapa s lokalizací lomů a vápenek je převzata z geodatabáze Calcarius ([www.calcarius.cz/gis-calcarius](http://www.calcarius.cz/gis-calcarius)).



# VÝBĚR SUROVIN PRO REKONSTRUKCI SGRAFITA

Terénní a archivní průzkum zmapoval místní geologickou situaci a všechny nejbližší historické i současné lomy na vápenc a pískovny.

## VÁPNO

Slavonice se nacházejí v oblasti moldanubika s magmatickými a metamorfovanými horninami, které obsahují krystalické vápence neboli mramory, jako jsou pararuly, ortoruly či kvarcity. Ložiska krystalických vápenců mají tvar protáhlých těles čočkovitého tvaru. Z mineralogického hlediska převládá kalcit, v různé míře dolomit, dále se vyskytují křemen a silikáty (aktinolit, tremolit, diopsid atd.). Ze znalosti místní geologie tedy vyplývá, že jde o surovinu ve formě krystalického vápence, což potvrzuje materiálová analýza sgrafita. Vzorek ze sgrafita landsknechtů obsahuje kalcium-silikátové částice, které se objevují v maltách připravených z krystalických vápenců.

Při hledání vhodných surovin se uskutečnil průzkum a rozbor vzorků vápencových lomů do vzdálenosti zhruba 30 km, ve Vystrčenovicích, Maškově mlýně, Budči, Jemnici, Lubnici, Korolupech a v Uherčicích. (12) Většina lomů je dnes špatně dostupná, postupně se zavážejí odpadem, popřípadě je jejich hornina zvětralá. Proto byly také odebrány vzorky z obecního lomu v Nedvědici, který je sice vzdálený asi 120 km, ale nachází se ve stejném geologickém podloží a lze v něm i v současnosti najít dostatečné množství kamene v dobré kvalitě.<sup>17</sup> (14)

Surovina z Nedvědice splňovala základní materiálové charakteristiky stanovené rozbořem pojiva originálu a z výtípaných míst byla nejsnáze dostupná. Jde o krystalický vápenc s kalcium-silikátovými příměsmi, jejichž klasty byly obsaženy v pojivu malty i ve vápeném nátěru. Chemické složení na místě odebraných vzorků poukázvalo na surovinu vhodnou pro výrobu vzdušného vápna (cementační index < 0,3; obsah  $\text{CaCO}_3$  > 95 %). V této souvislosti je nutné upozornit na skutečnost, která se projevila při pozdějších zkouškách: vápno vyrobené z nedvědicického mramoru mělo i jisté hydraulické vlastnosti.<sup>18</sup> Toto zjištění dokládá, jak je složité, když se jednorázově využijí



14 Lomová plocha bílého krystalického vápence z obecního lomu v Nedvědici.

suroviny ze zdrojů, jejichž složení je značně nesourodé. Ačkoli se předem analyzovaly tři různé vzorky, které je možné jednoznačně odlišit i pouhým okem, a na základě barevnosti a analýz se zdál světlý, bílý mramor jako vhodný i pro svůj vysoký obsah uhličitánu vápenatého, výsledný produkt však předpokládaným výsledkům neodpovídal. Po výpalu vápence se totiž ukázalo, že světlé a šedomodré krystaly se vzájemně prokládají více, než se zdálo při odběru. Promícháním získalo vyrobené vápno slabě hydraulický charakter.

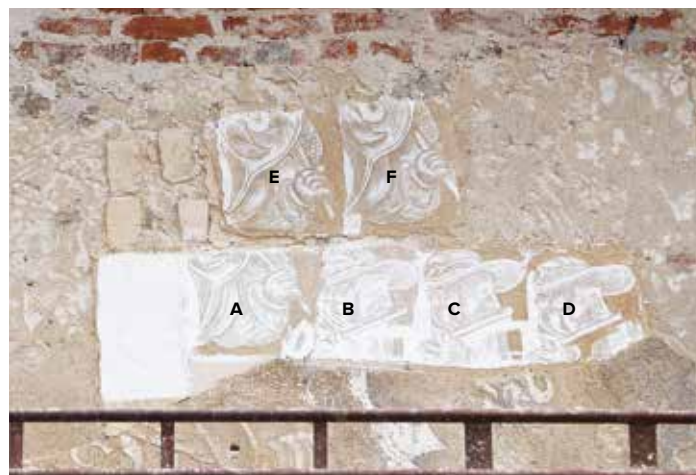
## PÍSEK

V okolí Slavonic se nacházejí eluviální ložiska ortorulového masivu. V písku převládají ostrohranné křemenné klasty, ortorula, živce, světlé a tmavé slidy. Vzorky odebrané ze zaniklých pískoven na několika místech poblíž Slavonic odpovídaly svým mineralogickým složením písku použitému ve slavonickém sgrafitu. (13) Lokální písky byly porovnány s dvěma komerčně běžně dostupnými písky z lokalit Černuc a Tasovice, zejména s ohledem na jejich snadnou dostupnost.

17 Obecni lom je ve vlastnictví obce Nedvědice, která se mimo jiné stará o jeho bezpečnost, i když je uzavřen. Povolení obce umožnilo sběr kamenů, jež po zimě spadly ze stěn lomu.

18 Podle normy ČSN EN 459-1 byl stanoven obsah  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  a  $\text{SO}_3$  v nehašeném i v hašeném vápnu Nedvědice. Podle těchto hodnot je možné vápno zařadit podle současné klasifikace do kategorie CL 90, již odpovídá i obsah volného vápna, který je větší než požadovaných 80 %. Požadavkům vyhověl také obsah  $\text{CO}_2$ . Vápno mělo pomalejší reaktivitu R3 ( $t_{50^\circ\text{C}} < 25$  min) a na základě dalších zkoušek se ukázalo, zejména podle dosažené pevnosti na zkušebních tělískách, že má i určité hydraulické vlastnosti.

Při výběru vhodného písku byla zohledněna regionální příslušnost, rozložení zrn podle velikosti a jejich mineralogické složení a také podíl jemných a jílových částic. Zásadně v hodnocení rozhodovala též kvalita zpracování malty, její barevnost a vzhled rytého a prokletovaného sgrafita. (15) Malta připravená z komerčního písku Tasovice, který vypadal jako ostrohranný, se nejvíc drolila, linky kresby byly silnější a jejich okraje byly roztrhané. Oba komerční písky mají nejvíce frakce 0,25–0,5 mm a jsou jemnozrnější než ten, který byl použit v originálu. (16) Kopaný písek Slavonice – střelnice obsahoval velký podíl jemné frakce, při prokletování stínů se jílové hlínky spojovaly s vápenným nátěrem a prolínaly do sebe, navíc směs extrémně praskala. Zabarvením i plasticitou nejlépe vyhovovala malta, s menším obsahem nejjemnějšího podílu, z kopaného písku z místa Slavonice – pískovna. Jeho granulometrická křivka nejlépe odpovídala originálu, jak množstvím jemných frakcí, tak majoritním zastoupením podílu 0,5–1 mm. Písek z již zaniklé pískovny ve Slavonicích byl vybrán jako optimální, jelikož tomu původnímu odpovídal mineralogickým složením, tvarem i opracovaností zrn. Obsahoval velmi malé množství organických částic, a nemusel se tudíž čistit plavením, ale pouze síťováním přes síto s oky menšími než 4 mm, což odpovídá maximální velikosti zrn nalezených v barevném intonacu.<sup>19</sup> Po dohodě s vlastníkem pozemku bylo možné kopaný písek odebrat v dostatečném množství.



15 Porovnání vlivu kameniva na barevnost a zpracovatelnost barevného intonacu; A a B – písek Tasovice; C – písek Tasovice a písek Slavonice – střelnice 1 : 1 obj.; D – kopaný písek Slavonice – střelnice; E – kopaný písek Slavonice – pískovna; F – písek Tasovice a Slavonice – pískovna 1 : 1 obj.

## TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ VÁPNA

Vypálením nedvědicového mramoru jsme získali kusové pálené vápno, jehož další zpracování vycházelo z materiálových analýz. Struktura omítky obsahuje bílé „vápenné částice“, které jsou někdy dobře vidět na odškrábaných plochách původních sgrafit. Na první pohled jsou z dálky zřetelné zejména na uhlově šedých sgrafitech. (17) Jejich množství se odvíjí od vápenné suroviny a jejího zpracování.

V maltách z vápenné kaše se pojivové částice o velikosti až několika milimetrů většinou nevyskytují, a to vzhledem k dostatečnému odležení, při kterém dochází k dohašení, k rozpadu pojiva a k sedimentaci větších částic. Použití vápenné kaše nelze stoprocentně vyloučit, ale v tomto případě je navíc procesně méně výhodné. Je totiž obtížné ve větším objemu snižovat dávku záměsové vody pod množství, které je v ní již obsaženo. Malty velmi bohaté na pojivo, stejně jako zkoumané intonaco, mají při výrobě z kaše poměrně řídkou konzistenci, což přirozeně omezuje možnosti jejich použití.<sup>20</sup>

V horké maltě připravené hašením vápna s pískem se nacházejí mnohdy i velké částice nedokonale vypáleného vápna, které nelze z připravené malty snadno odstranit. V originálním intonacu se vyskytovaly pojivové částice o maximální velikosti 4 mm, použití horké malty je tedy nepravděpodobné.

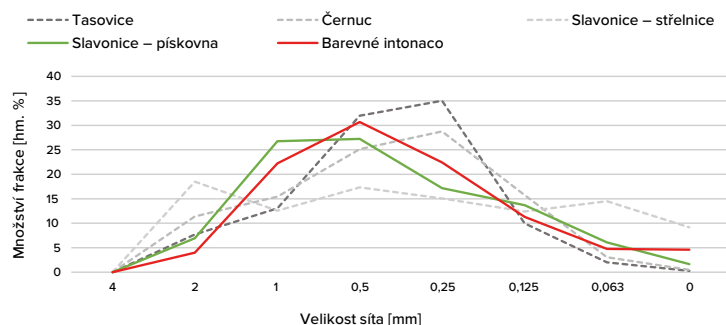
Pouze u malty z prachového hydrátu velikost i množství pojivových částic velmi dobře koresponduje s maltou původní. Jejich požadovaná velikost lze snadno upravit síťováním. Před použitím je nezbytné nechat prachový hydrát odležet tak, aby se dohasily reaktivní částice, které by mohly intonaco poškodit.

Všechny tři způsoby hašení vápna a přípravy malty prošly praktickými zkouškami s vybranými surovinami a závěrečným zhodnocením uvedeným v **tabulce 2**. Na základě charakteru pojivových částic a jejich obsahu v barevném intonacu lze předpokládat, že bylo původně použito vápno hašené na prachový hydrát.

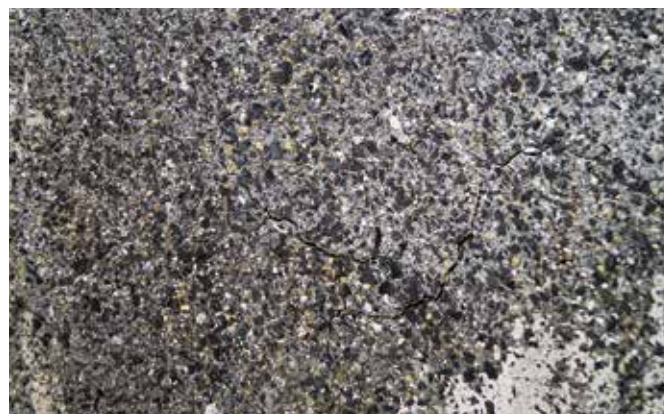
Po praktických zkouškách a zohlednění výše zmíněných hledisek se vápno určené pro přípravu barevného intonacu vyhasilo na prach tradičním způsobem, a to ponořením v koši do nádoby s vodou. Po vyhašení se následně velikost zrn upravila přesátím na velikost zrn pod 4 mm. Pro vápenný nátěr se vápno hasilo v nadbytku vody v hasnici. Vápenný hydrát i kaše byly připraveny 14 dní před použitím, čímž se zajistilo dohašení všech hasitelných částic pojiva.

19 Stupeň zasolení sírany, chloridy a dusičnany byl podle ČSNP 730610 nízký. Spná hmotnost písku byla stanovena na 1850 kg/m<sup>3</sup>.

20 Konzistence kaše souvisí s podlozím vápenné jámy, popř. způsobem jejího uskladnění. I poměrně hutná vápenná kaše má obsah vody kolem 50 hm. %. Obsah vody lze při uležení kaše záměrně snižovat, popř. se nechá uležet i malta sama.




16 Porovnání granulometrických křivek studovaných komerčních písků (Tasovice, Černuc), kopaných písků (Slavonice – střílnice, Slavonice – pískovna) a písku z původního barevného intonaca. K červené křivce původního barevného intonaca je nejbližší zelená křivka kopaného písku Slavonice – pískovna.



17 Slavonice, čp. 537. Bílé pojivové částice v uhlové omítce šedých sgrafit vytvářejí živý vzhled odrytých ploch v kombinaci s černými kousky dřevěného uhlí a se žlutými kamínky písku.

## 2 ZHODNOCENÍ RŮZNÝCH FAKTORŮ PŘI VÝBĚRU ZPŮSOBU HAŠENÍ VÁPNA; + VÝHODA, – NEVÝHODA, N – NENÍ PODSTATNÉ, N/A – NELZE APLIKOVAT.

	Barevné intonaco	Vápenný nátěr
<b>Hašený vápenný hydrát – hašeno na prach ponořením</b>		
 Snadné dávkování vápna	+	N
Dávkování záměsové vody (úprava konzistence)	+	N
Odstranění nevyhašených částic či nedopalu z vápna po vyhašení (nad určitou velikost)	+	+
Přítomnost malých pojivových částic (technologicky nezpracovaných)	+	–
<b>Vápenná kaše – hašeno v nadbytku vody</b>		
Nižší množství pojivových částic (rozpad vlivem času, segregace velikosti sedimentací)	–	+
Velké množství vody v kaši. Pro dosažení určeného poměru vápna je v maltě příliš vody z kaše.	–	N
<b>Horká malta (hašení vápna s pískem)</b>		
Separace nedopalu a dalších pojivových částic není možná, resp. přítomnost pojivových částic nelze omezit velikostně.	–	
Nedostatečné odležení před aplikací vede k vystřelování a pozdnímu hašení vápna v konstrukci. / Po několikadenním odležení je možné maltu bez obav použít.	–/N	N/A
Dávkování vápna není přesné. Původně mohla být malta hodnocena na základě zpracovatelnosti. / Z hlediska replikace je nepřesnost v dávkování nevýhodná.	N/–	

## URČENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOVÉ KOPIE INTONACA

Předpokládanou výhodou použití technologické kopie původní malty je záruka, že vhodně doplní stávající historické materiály. Materiálově nevhodný doplněk by mohl mít za následek zkrácení jejich životnosti. Pro posouzení materiálové kopie intonaca byly stanoveny jeho mechanické a fyzikální vlastnosti.

Testování malty se uskutečnilo ve dvou sadách o různých konzistencích (tabulka 3). Vlastnosti malty byly porovnány s některými publikovanými hodnotami pro malty z přirozeně hydraulického vápna (NHL). Pevnost repliky intonaca je vyšší než předpokládaná pevnost pro maltu ze vzdušného vápna. Stanovené pevnosti odpovídají slabě hydraulickému vápnu, kategorie NHL 2. Také kapilární nasákavost, rychlost vysychání i propustnost pro vodní páry svými hodnotami odpovídají NHL maltám. Otevřená pórovitost je o něco vyšší než u hodnot publikovaných pro malty z přirozeně hydraulických vápen.

### 3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY MALTY POUŽITÉ NA BAREVNÉ INTONACO. VLASTNOSTI BYLY URČENY PO 120 DNECH ZRÁNÍ NA STANDARDIZOVANÝCH TĚLESECH (40 × 40 × 160 mm). B : A = POJIVO : PLNIVU.

	Množství vody v barevném intonaco (čerstvá malta)		Experimentálně určené hodnoty na maltových vzorcích převzaté z literatury	
	29 hm. %	26 hm. %	Hydraulická vápna (NHL)	Vzdušná vápna (AL)
<b>Pevnost v tlaku [MPa]</b>	5,9 ± 0,4	6,8 ± 0,3	7,5–10,5 (B : A 1 : 1 obj.) po 180 dnech zrání (Lanas 2004)	3,5–4,2 (B : A 1 : 1 obj.) po 1 roce zrání (Lanas 2003)
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>	3,0 ± 0,1	3,3 ± 0,3	1,2–2,5 (B : A 1 : 1 obj.) po 180 dnech zrání (Lanas 2004)	0,9–1,1 (B : A 1 : 1 obj.) po 1 roce zrání (Lanas 2003)
<b>Kapilární nasákavost Cc 10<sup>-2</sup> [kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1/2</sup>]</b>	6,61 ± 0,33	5,73 ± 0,36	5,64 (B : A 1 : 3 obj.) po 3 letech zrání (Silva 2015)	8,34 (B : A 1 : 3 obj.) po 3 letech zrání (Silva 2015)
<b>Rychlost vysychání (drying index) [-]</b>	0,196 ± 0,004	0,179 ± 0,016	0,139–0,417 (B : A 1 : 3 obj.) po 3 letech zrání (Silva 2015)	0,168 (B : A 1 : 3 obj.) po 3 letech zrání (Silva 2015)
<b>Otevřená pórovitost [obj. %]</b>	35,7 ± 0,4	34,5 ± 0,2	28,0–30,0 (B : A 1 : 1 obj.) po 1 roce zrání (Lanas 2004)	24,1–27,1 (B : A 1 : 1 obj.) po 1 roce zrání (Lanas 2004)
<b>Propustnost pro vodní páry – koeficient difuze μ [-]</b>	10,1 ± 2,1	11,5 ± 2,5	11,1–17,5 po 3 letech zrání (Silva 2015)	23,3 po 3 letech zrání (Silva 2015)

## PRAKTICKÉ ODZKOUŠENÍ MALTOVÉ SMĚSI

Malta na intonaco musí splňovat požadavky na zpracovatelnost a plasticitu, dále je důležitá její rychlost tuhnutí vztažená ke kvalitě rytí a v neposlední řadě se hodnotí výsledný vzhled a struktura povrchu. Jinými slovy, před použitím malty pro rekonstrukci sgrafita je důležité ověřit, že kvalita surovin, způsob jejich zpracování a analyticky stanovený poměr mísení odpovídají očekávaným požadavkům na maltu, a to jak v čerstvém, tak v tuhoucím a následně i vytvrzeném stavu. Vlastnosti malty se odvíjely od zpracování vápenného pojiva a množství vody ve směsi. Souběžně s ověřením „použitelnosti“ navržené malty pro daný účel bylo cílem nalézt nejvhodnější způsob aplikace.

Při praktických zkouškách je nutné dodržet podobné tloušťky vrstev jako na originálu u barevného intonaca i vápenného nátěru. Během zkoušek se hodnotilo načasování jednotlivých kroků; např. dostatečné „zavadnutí“ barevného intonaca pro nanesení vápenného nátěru, optimální stav vápenného nátěru pro rytí kresby a stínování; přítomnost smršťovacích trhlin.

První zkoušky se uskutečnily mimo vlastní objekt. Po upřesnění technologického postupu se další zkoušky dělaly již přímo na objektu, což umožnilo načasování jednotlivých kroků v souladu s místními podmínkami. Na místě se též porovnával výběr plniva – písku ve vztahu k původní omítce. Posuzovala se jeho barevnost, vliv na rytou kresbu a ověřovala se tendence k praskání při různých tloušťkách barevného intonaca.

Z provedených zkoušek vyplynuly praktické závěry pro další postup:

- Jako pojivo barevného intonaca byl vybrán vápenný hydrát (méně prasklin, pojivové částice). Místní písek z lokality Slavonice – pís-kovna byl vhodný i z hlediska požadované barevnosti a jemnosti kresby.
- Potvrdilo se, že analyticky stanovené proporce hydrátu ku písku v objemovém poměru 1 : 1 jsou pro intonaco vhodné. Směs bohatá na vápno měla dobrou retenci vody a požadované tloušťky se dosáhlo s minimem prasklin.
- Savost podkladu významně ovlivňovala časování postupu prací na sgrafitu. Předvlhčení podkladu umožňuje regulovat rychlost postupu. Souběžně s tím je nutné brát v úvahu klimatické podmínky.
- Vzhledem k tendenci k praskání je lepší, když se barevné intonaco nanáší ve dvou vrstvách. Zdá se, že první vrstvu je vhodnější házet (malta je řídká, lépe přilne k savému hrubému podkladu).
- Vápenný nátěr je výhodnější nanášet ve více vrstvách s minimálními časovými odstupy. Spodní vrstva musí být zatuhlá, svrchní nátěr ji nemá roztírat.



## EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÝCH MALT

Pro odzkoušení malt byly vytvořeny tři panely s různým stupněm vlhčení podkladu. Každý panel měl osm polí, která se vzájemně lišila maltovou směsí na barevné intonaco, stylem nanášení intonaca a konzistencí vápenného nátěru. (18)

Barevné intonaco 1 se skládalo z vápenného hydrátu Nedvědice a písku Černuc v poměru 1 : 0,8 objemově, malta byla připravena den před použitím.

Barevné intonaco 2 sestávalo z vápenné kaše Nedvědice a písku Černuc v poměru kusové vypalené vápno a písek 1 : 3 hmotnostně. Písek byl přidán do čerstvé kaše a malta se nechala před použitím čtyři dny odležet.

Vápenný nátěr 1 vznikl rozmícháním vápenné kaše Nedvědice s malým množstvím vody, dalším rozředěním bylo dosaženo konzistence vápenného nátěru 2.

### 1. Porovnání malty připravené z vápenného hydrátu a z vápenné kaše

Šlo o ověření přípravy barevného intonaca z vápenného hydrátu, který se osvědčil při předchozích experimentech, a porovnání s maltou připravenou z vápenné kaše. Obě malty obsahovaly stejné množství pojiva při přepočtu na předpokládaný obsah CaO (v hm. %). Panely připravené z malty z hydrátu měly méně viditelných prasklin, pravděpodobně v důsledku nižšího dávkování vody u vápenného hydrátu. Zároveň obsahovaly dostatek vápenných kousků, které se vyskytovaly také v originálu.

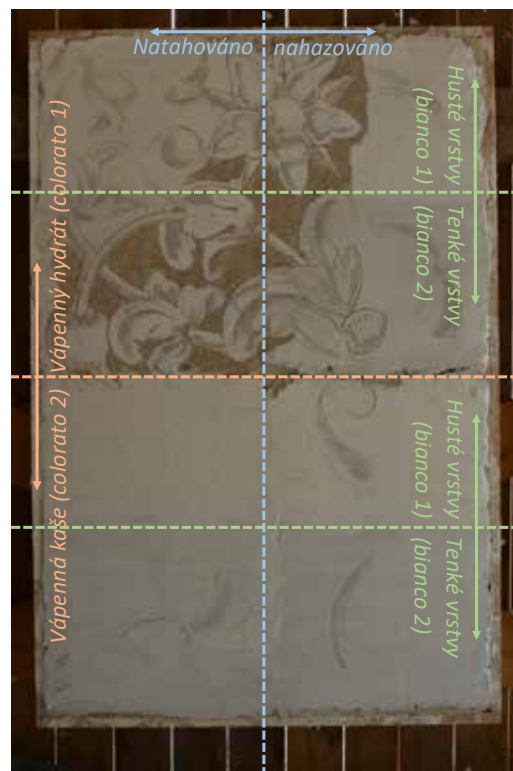
### 2. Zkouška stupně vlhčení podkladu

Tři experimentální panely měly před aplikací malty připravené z vápenného hydrátu a z vápenné kaše různou měrou navlhčení podklad. Vedle panelů, jejichž podklad tvořila centimetr tlustá jádrová omítka na dřevotřískové desce, byly stejné maltové směsi nanášeny také na cihlovou zeď.

Malta na nejvíce mokřím dřevotřískovém panelu (tříkrát nastříkaném vodou) nebyla pro aplikaci barevného intonaca dostatečně zaschlá ani po dvou dnech. Stupeň vlhčení podkladu je třeba vyzkoušet přímo na zdi vedle realizace, každý podklad má odlišnou savost. Dobu zpracovatelnosti zásadně ovlivňuje charakter podkladu, který má také vliv na rychlost vysychání malty, a tedy na množství prasklin.

### 3. Aplikace vrstvy barevného intonaca natažením nebo nahazováním malty

Experimentální panel rozdělený na dvě pole měl na polovině maltu nanášenou natažením, na druhé polovině nahazováním. Hodnotil se účinek nanášení na vznik prasklin a výslednou vizuální podobu a také subjektivní pocit z práce s maltou.



18 Ukázka experimentálního panelu rozděleného podle použitého materiálu a způsobu aplikace barevného intonaca a vápenného nátěru.

Vzorky nanášené nahazováním měly méně trhlin a vypadaly lépe, ovšem rozdíl nebyl nijak výrazný. Nanášení pomocí nahazování se zdálo vhodné pro řidší konzistenci malty z kaše. Hustší maltu z hydrátu bylo s ohledem na její konzistenci praktické natahovat. Tato zkušenost vedla k doporučení, aby se nanášení intonaca rozdělilo na dvě vrstvy; spodní, řidší nahazovanou a následně hustší, nataženou a utaženou kovovým hladítkem.

### 4. Aplikace vápenného nátěru v řídkých nebo v hustých vrstvách

Zkušební panely s vrstvou barevného intonaca rozdělené na dvě poloviny měly jednu polovinu natřenou třemi hustými vrstvami, druhou polovinu nanášenou opakovaně několika řídkými vrstvami vápenného nátěru.

Na výsledný stupeň bělosti nemá styl nanášení vliv. Vizuální hodnocení neodhaluje výrazné rozdíly ve výsledné tloušťce nátěrů. Tloušťka nátěru má výrazný vliv na techniku stínování roztíráním a kletováním.

# VYUŽITÍ VÝZKUMU PŘI RESTAUROVÁNÍ A REKONSTRUKCI SGRAFIT LANDSKNECHTŮ VE SLAVONICÍCH

## PŘÍPRAVA PODKLADU

Jádrová malta pod sgrafitovou omítkou, podhozená s větším předstihem a nanesená v několika vrstvách, vyrovnala nepravidelné zdivo. Obsahovala komerčně běžně dostupné suroviny – hydrát vzdušného vápna, přirozeně hydraulické vápno NHL 2,5 a běžný stavební písek.<sup>21</sup> Když povrch vyrovnávací jádrové omítky zavadl, byl stržen a zarovnan zednickou lžící cca 5–10 mm pod povrch původních sgrafit.

## PŘÍPRAVA A NANESENÍ BAREVNÉHO INTONACA

Sgrafito je nutné nanášet v tzv. denních dílech, tedy částech, které lze s jistotou zvládnout do finální podoby v jednom dni. Vzhledem k orientaci fasády na jihozápad a realizaci v letních měsících se povrch musel důkladně a pravidelně s jedno- či dvoudenním předstihem provlčkovat vodou. Zvláště tehdy, pokud části podkladu obsahovaly cihlové, tedy velmi savé zdivo. Výraznější máčení bezprostředně před realizací nebo v jejím průběhu se neosvědčilo, jelikož dočasně snižovalo kapilární savost podkladu, a tudíž vrstvy špatně přilnuly a vzájemně se oddělovaly. I přes intenzivní předmáčení se proto ve velmi teplých dnech začínalo s nanášením denního dílu v časných ranních nebo pozdních odpoledních hodinách.

Malta pro intonaco, resp. materiálová kopie, obsahovala stanovený objemový poměr 1 : 1 : 1 prachového hydrátu hašeného ponořením kusového vápna, které bylo vypáleno tradičním způsobem z nedvědkického krystalického vápence, písku z místního zdroje a vody. Příprava malty minimálně čtyři dny dopředu zabezpečila dokončení procesu hašení.

21 Vzdušné vápno Kotouč Štramberk, NHL 5 Otterbein, písek – pískovna Tasovice. Objemový poměr surovin 3 : 0,5 : 9.

## Barevné intonaco nanesené ve dvou vrstvách.

**První vrstva:** Pro dosažení požadované řídkší konzistence se do maltové směsi přidávala voda.<sup>22</sup> Ukázalo se, že při aplikaci hustší směs přímo na podklad se vrstvy oddělují, a proto je nutné nejprve nanést maltu řídkší konzistence, která vytváří spojení mezi podkladem a finální vrstvou.<sup>23</sup> Řídká vrstva se nanáší házením a po zavadnutí se strhává a zarovnáva hranou zednické lžíce. (19)

**Druhá vrstva:** Druhou vrstvu malty je vhodné nanést právě ve chvíli, kdy se ve spodní objeví primární trhliny, které je třeba zatáhnout. Na to, až zavadne a „vypraská“ první vrstva, je nutné počkat dostatečně dlouhou dobu, minimalizuje se tak vznik primárních trhlin ve druhé vrstvě. Při jejím nanášení se jednoznačně neprokázalo, zda je lepší ji házet, nebo natahovat, oba způsoby či jejich kombinace je možná. Povrch nanesené části se musí ihned upravovat zednickým nástrojem do požadované roviny. (20) Tloušťka nanášené omítky by měla být rovnoměrná a měla by následovat původní omítku.

Po nanášení velkých ploch je třeba malou špachtlí a maltou z jemnějšího písku projít a napojit nové omítky na původní části. Precizně nanesená malta na hranicích obou částí se poté jemně uhladí a srovná filcovým hladítkem, upraví špachtlí a důkladně zamyje čistou vodou.

## PŘÍPRAVA A NANESENÍ VÁPENNÉHO NÁTĚRU

Při experimentech se osvědčilo, když se vápenný nátěr připravil z vápenné kaše a z vody. Ředění nátěru odpovídalo míře zavadnutí barevné omítky, savosti zdiva a počasí. Žádoucí je, aby se nanášel až po propování primárních trhlin v barevném intonacu, které je nutné zatáhnout špachtlí. Primární trhliny se projeví při všech zkouškách, a pokud byly zataženy ve správné chvíli, dále se již do vápenného nátěru nepropisovaly.

Nátěr nanášený štětcem by měl sledovat tloušťku a trasologické stopy původních částí odpozorované v bočním světle. Na figurách slavonských landsknechtů je poměrně silný, místy až 0,5 mm, výrazné stopy od štětce jsou vedeny ve vodorovných liniích. Vápenný nátěr je možné nanášet v jedné i ve více vrstvách. Při slavonské rekonstrukci se osvědčila aplikace ve dvou vrstvách.

22 Přidáno asi 0,5 l vody na 10 l maltové směsi.

23 Ve vzorcích barevného intonaca originálu žádná rozhraní vrstev nejsou patrná, avšak zpětná mikroskopická analýza výbrusu připravené materiálové kopie potvrdila, že k velmi dobrému propojení vrstev dojde i s drobným časovým odstupem, pokud nezatuhne povrch. Nanášení omítky ve více vrstvách tak nelze na základě materiálové studie vyloučit.



**19** První vrstva barevného intonaca nanesená zednickou lžící a poté srovnaná její hranou.



**20** Druhá vrstva barevného intonaca po závěrečném vyhlazení.



**21** Vápenný nátěr nanesený na celý denní díl sgrafita ve dvou vrstvách. Do zaváděného povrchu nátěru je vtlačena přípravná kresba přes připravenou pauzu.



**22** Rekonstruované sgrafito a původní části před patinací.

Během rekonstrukce sgrafita je žádoucí nanést nátěr štětcem právě ve chvíli, kdy povrch nereaguje na otisk prstů ruky, a tudíž se nátěr nesmísí s barevným intonacem. První vrstva by měla být obdobně jako u barevného intonaca řidší, aby se dobře propojila s podkladem. (21, 22) V následující vrstvě je možné uplatnit hustší nátěr. Podklad není vhodné před aplikací ani po ní vlhčit. Když povrchové póry zaplní voda, nátěr špatně přilne a sklouzává. Pokud je povrch intonaca mírně přeschlý, je možné jej provázat s finálním vápenným nátěrem opakovanými nátěry velmi řídkého vápenného mléka.



23 Fragment původního sgrafita (A). Grafická předloha Edharda Schöna, vlajkonoš a halapartník (B). Na fasádě je umístěna pauza s obkreslenými původními liniemi a s navrženou rekonstrukcí (C). Detaily výstroje landsknechtů přesně odpovídají předloze Schönova průvodu, figury praporečnicka a leitingerera jsou však přehozeny (nejde o stranové převrácení).

## PŘÍPRAVA PAUZ

Příprava kresebných podkladů probíhá v několika fázích. Nejprve je třeba zkopírovat původní části. Velmi dobře tomu napomáhají průhledné velkoformátové plastové fólie a lihové fixy. Pauzování je vhodné provést v ostrém bočním nasvícení z několika úhlů, nejlépe i s navržením stínovaných částí. (23) Pauzy jsou zásadním podkladem při vyhledávání grafických předloh. Pokud jsou grafické předlohy k dispozici, porovná se způsob šrafování a proporce, které se většinou v důsledku zkraslení liší, a podle toho se navrhne rekonstrukce. Do prvotní překreslené pauzy není vhodné zasahovat, doporučuje se ponechat ji pro následné komparace s navrženými variantami rekonstrukcí. Přesně překreslené pauzy s doplněnými rekonstrukcemi slouží při přenosu kompozice na zeď, při stínování špachtlí i při případné retuši.

## PŘENESENÍ PAUZ A RYTÍ

**Přenesení základních obrysů:** Na mírně zavadlý nelepivý vápenný nátěr je třeba přesně, důsledně a v návaznosti na původní části umístit pauzu rekonstrukce odpovídající nanesenému dennímu dílu. Kresbu je možné přes pauzu protlačit do čerstvé omítky tenkým nástrojem se zakulaceným hrotem. U složitější kompozice je lepší přenést nejprve hlavní obrysy a základní stíny a případné drobné linie doplnit, až když se odkletuje nátěr.

**Stínování prokletováním:** Hranou a plochou špachtle se v místech stínů vápenný nátěr odebírá a vtlačuje do barevného intonaca. U silnějšího nátěru jej lze ubírat jen částečně a vytvářet tak nejen ostré stíny sejmutím takřka celé jeho tloušťky, ale i valéry. Často tyto efekty tvoří přirozená práce se špachtlí při stínování. Po provedení stínu je žádoucí hlavní obrysy prohloubit hrotem špachtle či špičatým nástrojem. Při práci na stínování i na dalších fázích je vhodné mít při ruce také tisk konkrétní grafiky.

**Přenesení šrafur:** Po prokletování je možné opět použít pauzu, zkontrolovat tvary, nasadit je na původní části a poté naznačit jemné šrafury. Jemná šrafura vede často přes odkletovaná místa, výjimečně i přes části s neodkletovaným vápenným nátěrem. Pro rytí linií se osvědčily nástroje s kuželovitým hrotem na konci, v různé síle a míře zkosení, případně se zbrošenou jednou stranou. (24) V této fázi práce je třeba se soustředit na následování trasologických stop na dochovaných původních částech, zejména na hloubku, šířku a frekvenci šraf. Pokud je ještě omítka čerstvá, je vhodné učinit korekci vyrytého obrazu i v bočním světle. (25)

## RETUŠE A PATINACE

Při striktně analytickém postupu by bylo možné poté, co doplňky vyschnou, ponechat přiznané nové a původní části. Na domě čp. 545 ve Slavonicích však nebylo nepřirozené dělení figur esteticky



24 Rycí nástroj (graffio) – různé zkosený kuželovitý hrot. Vyrobil Robert Wacha.



25 Původní a rekonstruované sgrafitto stínované prokletováním před patinací a retuší v šikmo dopadajícím bočním světle. Rekonstrukce je provedena formou technologické kopie.



26 Přechod mezi původním provedením a rekonstrukcí sgrafitta.



27 Detail přechodu mezi původní omítkou a rekonstrukcí po patinaci rekonstrukce a po retuši původní omítky.

uspokojivé. Retuše a patinace měly konzervované autentické části vizuálně propojit s doplňky. Míru retuší je velmi obtížné obecně stanovit a exaktně popsat, jelikož je vnímána subjektivně a kromě odborného stanoviska pracovníků památkové péče je též otázkou postupného a opatrného přidávání a společného konsenzu všech zúčastněných specialistů a investora. (26, 27)



**28** Dokončené sgrafito po závěrečné retuši a patinaci. Sgrafito je prezentováno analyticky, avšak zároveň tak, aby rozhraní mezi novými a starými částmi nerušilo.



**29** Dům čp. 545 ve Slavonicích po dokončení restaurování vnějších sgrafitových omítek v roce 2017.

**Retuše originálů:** Opravnou směsí se tmelily pouze výrazné defekty, které zasahovaly do hloubky barevného intonaca a kolem nichž by mohla pokračovat degradace omítky. Smytý bílý vápenný nátěr originálu byl v minimálně nezbytné míře zvýrazněn vhodným dotykem štětce naplocho, zejména v místech podstatných pro čitelnost motivu. Jde o tzv. „evokaci štětcem“, tj. způsob retuše, při které se válí či „koulí“ štětec namočený v zatónovaném vápenném mléku pouze po vršcích dochovaného reliéfu.<sup>24</sup>

**Patinace doplňků:** Příliš nové a světlé doplňky, zejména vrstvu bílého vápenného nátěru, bylo třeba lehce ztmavit a přizpůsobit vzhledu originálu. Doplněvané části je vhodné upravovat až poté, co vyschnou, nejlépe lazou obarvenou např. jílovitou složkou použitého plniva či pigmentovanou lazou. Míra patinace je diskutabilní, musí se dbát, aby se ve výsledku nepotlačil charakter sgrafita a nesklouzlo se k malířské interpretaci. **(28, 29)**

<sup>24</sup> Lejsková-Matýášová 1970, s. 144–160; 1971, s. 4–16. Lejsková-Matýášová popisuje tzv. „rekorozní metodu“, což je obdobný způsob retuše jako tzv. „evokace štětcem“. Při „rekorozní metodě“ je však, na rozdíl od „evokace štětcem“, sgrafitový reliéf doplňován vápennou kaší s plnivem a nanášen fílcem. Tento způsob, který se uplatňoval ve 2. pol. 20. století, je dnes považován za poněkud drastický.

# TECHNOLOGICKÁ KOPIE SGRAFITA – SHRNUTÍ

Experiment napodobující historický postup techniky renesančního sgrafita v praxi, přímo při restaurátorském zásahu, přinesl řadu nových poznatků. Výzkum, praktické testování i samotné zkušenosti s uplatněním technologické kopie originálu v restaurování posunuly poznatky zejména ohledně vlivu použitých materiálů na výtvarnou kvalitu díla. Použité suroviny a jejich zpracování totiž výrazně ovlivňují práci s maltovou směsí, a tím i výsledné estetické působení.

Původní barevné intonaco obsahuje pojivové částice, které se vizuálně uplatňují na odrytých plochách pozadí. Vypálený krystalický vápenec z obecného lomu v Nedvědicích měl podobné složení jako výchozí surovina historického sgrafita. Vyhašením na prachový vápenný hydrát získalo pojivo specifické vlastnosti, díky nimž se s ním dobře pracovalo a které odpovídají originálu i vizuálně. Zvolený a odzkoušený historicky známý postup hašení vápna na prach ovlivnil nejen materiálovou kvalitu pojiva, ale i přítomnost světlých pojivových částic o podobné četnosti a velikosti jako v původní omítce.

Experiment ukázal, že exaktní dodržení materiálových vlastností ve snaze o vyhledání co nejspolehlivějšího zdroje původní suroviny má svá omezení. Základem problému je, že neexistují původní surovinové zdroje a možnosti ověření kvality surovin v uzavřených či nefunkčních lomech jsou omezené. Přestože byla výběru jednotlivých kamenů vápence před výpalem věnována pozornost, aby surovina co nejpřesněji odpovídala předloze podle stanoveného chemického složení, získané vápno na rozdíl od studovaného originálu vykazovalo slabé hydraulické znaky. Přes tuto odchylku však mělo vlastnosti, které byly kladně hodnoceny při zpracování, na laboratorně zkoumaných maltových vzorcích, a zejména z hlediska porézní struktury a propustnosti vodních par.

Místní kopaný písek s podobnou granulometrií, zejména s dostatečným množstvím jemných částic, zabezpečil dobrou barevnou shodu nového barevného intonaca s originálem a také plasticitu malty, která sehrála významnou roli při stínování prokletováním a při rytí jemné šrafury. Díky jemné frakci kopaného písku je barva sgrafita kontrastnější a šrafování jemnější a měkčí na rozdíl od sgrafita z dostupných komerčních písků.

Zkoumané sgrafito má v probarveném intonacu vysoký poměr pojivové rozpustné složky ku nerozpustnému plnivu, 37 : 63 hmotnostně. Při přepočtu na objemové díly vápenného hydrátu z experimentálně vypáleného vápna z nedvědicického vápence a kopaného písku z pískovny ve Slavonicích, obojí upravené na velikost menší než 4 mm, vychází jejich poměr 1 : 1.

Časování práce na sgrafitové omítce bylo značně ovlivněno podkladem a jádrovou omítkou, jejich složením a savostí. Pokud je podklad savý, je zásadní, aby se s předstihem důkladně provlhčil, avšak intenzivnější vlhčení těsně před aplikací či v jejím průběhu je rizikové a může vést k oddělování vrstev.

Snaha o uplatnění původního složení, při němž se nanese malta velmi bohatá na pojivo s kopaným pískem a zároveň v odpovídající tloušťce zhruba 5–10 mm, zvyšuje riziko, že omítka bude při schnutí prskat. Postupné nanášení vrstev v menších tloušťkách s určitým časovým odstupem toto riziko výrazně snižuje. Během experimentů byl ověřen postup, při kterém byla první vrstva nahozena řídká, a vzniklo tak propojovací spojení s podkladem. Druhá vrstva se může nahazovat či natahovat, až když první mírně zavadne a vytvoří se primární trhliny. Následná povrchová úprava hladkým kovovým nástrojem musí být poměrně rychlá, povrch je třeba hned upravovat do finální hladkosti.

Bílý vápenný nátěr na povrchu originálu je silný až 0,5 mm a neobsahuje plnivo, pouze ojedinělé nerozpadlé pojivové částice. Není celoplošně hlazený nebo kletovaný, neboť na jeho povrchu jsou zřetelné stopy po aplikaci štětce. Vápenný nátěr je možné nanášet v několika vrstvách, přičemž tahy štětce posledního nátěru by měly odpovídat viditelným tahům na originálu, na kterém jsou obvykle vodorovné.

Přestože byly figury landsknechtů citlivě doplněny, sgrafito nevytvářelo vizuálně uspokojivý celek, mezi novými a původními omítkami vznikla na několika místech nepřírozená hranice. Proto se přikročilo k minimální retuši originálu evokací štětce, tedy zvýrazněním vhodných míst nanesením tónovaného vápenného mléka. Společně s patinací doplňku lazurou zhotovenou z vyplaveného písku se docílilo harmonického celku kompozice, přičemž však lze rekonstrukce jednoduše odlišit. Právě ony uspokojivě napodobují dochované trasologické stopy a specifický výraz sgrafita stínovaného prokletováním. Důsledná znalost techniky může vést k tomu, že v budoucnu bude možné rozpoznat způsob stínování prokletováním i na sgrafitech v dalších lokalitách.

## LITERATURA

Alonzo, R. R. 2015. *Esgrafiado. Materiales, Técnicas Y Aplicaciones*.

Lanas J., J. I. Alvarez Galindo. 2003. „Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior“. *Cement and concrete research* 33 (11): 1867–1876. doi:10.1016/S0008-8846(03)00210-2

Lanas J., J. L. Pérez Bernal, M. A. Bello, J. I. Alvarez Galindo. 2004. „Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars“. *Cement and concrete research* 34 (23): 2191–2201. doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.005

Lejsková-Matyášová, M. 1970. „Figurální sgrafito ve Slavonicích a jeho restaurování“. *Zprávy památkové péče* 30 (3): 144–160.

Lejsková-Matyášová, M. 1971. „Grafická předloha a její význam při restaurování maleb a sgrafit“. *Zprávy památkové péče* 31: 4–16.

Poeta, M., J. Waisserová, J. 2020. „Poznatky k historii štukátérství ze skript Francesca Carradoriho“. *Zprávy památkové péče* 80 (3–4): 282–291.

Silva B. A., A. P. Ferreira Pinto, A. Gomes. 2015. „Natural hydraulic lime versus cement for blended lime mortars for restoration works“. *Construction and Building Materials* 94: 346–360. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.06.058

Vachtl, J. a kol. 1932–1961. *Soupis lomů ČSR*. 55 individuálních svazků vydaných v letech 1932–1961 různými autory a nakladateli, přehled dostupných svazků na <http://geology.cz/extranet/sluzby/knihovna>.

Válek, J., O. Skružná. 2019. „Performance assessment of custom-made replications of an original historic render – a study of application influences“. *Construction and Building Materials* 229. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116822

Vasari G. 1906. *Introduzione alle arti del disegno*, Vol. 1. Firenze: G. C. Sansoni.

Waisser, P. 2011. „Renesanční sgrafito: Technika a technologie“. In *Sgrafita zámku v Litomyšli*, 71–75. Litomyšl-Pardubice: NPU ÚOP v Pardubicích.

Wichterlová, Z. 2015. *Průzkum techniky renesančního sgrafita*. Pardubice: Univerzita Pardubice.

Wichterlová, Z. 2017. „Technika stínování renesančních sgrafit“. In *Restaurování a ochrana uměleckých děl, konzervace a restaurování malby a polychromie: Konference sdružení pro ochranu památek Arte-fakt* 30. November 2017 In Gask Kutná Hora, 130–139. Litomyšl: Arte-fakt.

Wichterlová, Z., J. Waisserová, O. Skružná, and J. Válek. 2019. „New shading technique revealed through reconstructing the sgraffito technology used north of the Alps during the Renaissance“. In *Sgraffito In Change: Materials, Techniques, Topics, And Preservation*, Angela Weyer and Kerstin Klein, 124–137. Petersberg: Michael Imhof Verlag.

## PRAMENY A EDICE PRAMENŮ

ČSN EN 459-1 *Stavební vápno: Definice, specifikace a kritéria shody*. 2015. 3rd ed. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Grafická sbírka Muzea vévody Antona Ulricha v Braunschweigu, sign. ESchön WB 3.11 a ESchön WB 3.10., zdroj: <http://kk.haum-bs.de/?id=e-schoen-wb3-0010> a <http://kk.haum-bs.de/?id=e-schoen-wb3-0011>.

Veduta města Slavonic, 1729, Archiv města Brna, fond V 3 – Knihovna Mitrovského 1400–1900 (1956), sbírka vedut D. J. I. Hoffera, sign. A 260, inv. č. 40/127.

Waisserová, J. 2002. *Figurální sgrafito 16.–17. století ve Slavonicích*. Diplomová práce, Olomouc.

Waisserová, J. 2020. *Figurální sgrafitová výzdoba s landsknechty na fasádě domu čp. 545 v ulici B. Němcové ve Slavonicích*. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Litomyšl.







**Technologická kopie  
barokního štuku**

**V** patře jihovýchodní části Červené Lhoty, zámku zásadně přestavěného po roce 1863, je zakomponován fragment klenby velkého společenského sálu z druhé poloviny 17. století.<sup>1</sup> Klenbu zdobily výrazné štukatury a malby, které se při pozdějších opravách převrstvovaly nátěry. V nedávné době se však přes překryvné vrstvy začaly propisovat trhliny způsobené statickým pohybem klenby. Proto bylo nutné pod nimi prozkoumat stav historických omítek. Průzkum potvrdil nejen větší trhliny z minulosti, ale zároveň obnažil velmi hodnotné autentické povrchy štuků i maleb, zakonzervované masivními vrstvami nátěrů.<sup>2</sup> S ohledem na autentičnost štukových modelací s hladkým povrchem bylo nutné přistoupit k následnému restaurátorskému zásahu s maximální ohleduplností a samozřejmě také s detailní znalostí techniky provedení, zajištěnou podrobnými průzkumy.<sup>3</sup> Pozdější techniky štuky jsou z běžné řemeslné praxe či literatury dobře známy, jelikož sloužily jako základ pro výuku štukatérů ještě ke konci 20. století, ale starší díla v sobě skrývají mnohá technologická tajemství. Ta se složením i řemeslnými postupy užitými při jejich výrobě od moderních metod zásadně liší.

Uskutečněný výzkum usiloval o znovuobjevení původní techniky raně barokního štuky na klenbě sálu a o následnou aplikaci získaných poznatků při jejich restaurování. O přenos úspěšných výsledků výzkumu do praxe se zasloužilo zejména praktické ověřování rozmanitých postupů techniky štuky.

1 Dochovalo se pouze jedno křížení klenbových žeber s přilehlými klenbovými poli. Bloch et al. 2016, s. 7 – interpretace nálezů.

2 Waisserová, Wichterlová 2016.

3 Restaurátorský průzkum a zásah se samozřejmě věnuje podrobně i malbám uvnitř štukových kartuší, připisovaným dílně Giacomu Tencally. Tato stať je však zaměřena na štukovou výzdobu klenby. Viz Mádl 2013, s. 411–413, dále Waisserová, Wichterlová 2016.

## TECHNIKA ŠTUKY

Technika, která se obecně označuje pojmem štuk či štukatura obsahuje velkou a rozmanitou skupinu výtvarných projevů provedených v omítce. Specifickou kapitolou v široké škále těchto omítkových technik je technika štuky nazývaná all'antica.<sup>4</sup> Renesanční mistři, zejména na území Itálie, díla po vzoru antické štukové výzdoby fascinovala. Důkazem snah o její znovuoživení je řada dochovaných teoretických traktátů s popisy dobových receptur.<sup>5</sup> Tato řemeslná tradice, hojně rozšířená v renesanci na území střední Evropy, plynule pokračovala i v 17. století.

Ve štukatérství se uplatňovaly rozmanité umělecké a řemeslné postupy jako například modelovaný štuk, tažený štuk, ražené dekory z formy, odlévání a další specificky tvořené tvary. Současně s řemeslnými postupy se vyvíjely také materiály, od vápenného štuky až k čistě sádrovým taženým profilům a formovaným sádrovým odlitkům uplatněným v interiérech historizujících „neoslohů“ 19. století.<sup>6</sup> Technika zpracování lhotských štuků však ještě vycházela z novověké tradice, i když s jistými inovacemi, jak výzkum posléze doložil.

Velká část novověkých i barokních štukatérů působících v našem regionu pocházela ze severu Itálie a dnešního švýcarského kantonu Ticina (oblast jezer Lugano a Como).<sup>7</sup> Jednotlivé skupiny propojené příbuzenskými vztahy používaly vlastní specifické postupy, které dále modifikovaly v závislosti na generačních zkušenostech, jež tvůrci získávali zpracováním nových zakázek. Tyto zakázky následně přizpůsobovali místním materiálům a podmínkám. U jednotlivých štukatérských

4 Štukatury podle antických vzorů měly napodobovat předlohy co do materiálového složení i formálního zpracování obrazových motivů, sochařských i reliéfních, bez ohledu na techniku. Antická inspirace silně rezonovala nejen v renesanci, ale opakovaně se vracela i v pozdějších obdobích včetně baroka. Waisser et al. 2020, zejména stať P. Hečkové, Štuky v římské antice, s. 23–25.

5 Waisser et al. 2020, k historické literatuře zejména s. 7–21. Dále Beard 1983, Millar 2010.

6 Sádra se přirozeně používala po celou historii v oblastech, kde byla její těžba běžně dostupná, byť bylo známo, že je v exteriérech náchylná k degradaci. V období renesance se ovšem sádra vyskytuje ve štukách na našem území velmi ojediněle, Waisser et al. 2020, zatímco ve štukách ze 17. a 18. století je častou příměsí. Sádru-vápennou techniku popisuje jako obecně známou ve skriptech pro studenty sochařství Florentské akademie Francesco Carradori. Přestože jde o pozdější spis (1802), je z jeho díla zřejmé, že byl velmi ovlivněn novověkou a barokní tradicí. Carradori 1802, článek O různých způsobech práce ve štuky apod., čl. VII, s. 12–18.

7 Blažiček 1962, s. 351–368.



1 Pohled na současný stav severní části velkého společenského sálu.

okruhů je možné dokonce vysledovat jistá technologicko-řemeslná specifika.

Dílenskou tradici si uchovávaly zejména rodinné dílny, a právě tradice ticinských mistrů sehrála významnou roli i ve slavatovské přestavbě Červené Lhoty, v honosné výzdobě hlavního společenského sálu.<sup>8 (1)</sup>

## VÝZDOBA HLAVNÍHO SPOLEČENSKÉHO SÁLU

### POZNÁMKY K HISTORII VÝZDOBY SÁLU

Barokní historie zámku začíná s příchodem Slavatů roku 1641, kdy Lhotu koupil kancléř Království českého Vilém Slavata z Chlumu a Košumberka, větší úpravy na zámku však neinicioval. Výrazná stavební raně barokní úprava rodinného letohrádku je investorským počinem až Vilémova vnuka Jana Jáchyma Slavaty. Z fáze přestavby v letech 1673–1677 pochází i honosně zdobený hlavní společenský sál o půdorysu nepravidelného lichoběžníku, který byl začleněn do starší dispozice východního křídla a jehož autorem je stavitel Francesco Carrati.<sup>9</sup>

Restaurátorské průzkumy z let 2016 a 2017 odkryly řadu zajímavých okolností stavebního vývoje a neméně zajímavé detaily ohledně původního provedení štukové výzdoby. Při odkryvu se začaly objevovat nezvyklé návaznosti, jako například zřetelné rozhraní omítek v plochách kolem štuků. Ze sondážního průzkumu a výsledků analýz je zřejmé, že vznikaly ve dvou etapách.<sup>10</sup>

V první etapě vznikly patrně omítky pilastrů a kleneb s vnesením hran žeber a perlovce, jež jsou provedeny technikou, která nevybočuje z běžné omítkářské praxe.<sup>11</sup> Na základě těchto indicií se domníváme, že jde o přípravnou štukatérskou fázi. V té době ale již musel být jasný koncept výzdoby, neboť „kastlík“ na ovocné trsy již byl vyveden s vysokými hranami pro ovocné tvary.

Druhá etapa se dnes již bezpochyby přisuzuje štukatérské dílně Cometů, zastoupené Innocenzem Cometou (1651–1681), která zde podle recentních pramenných opisů pracovala v roce 1675.<sup>12</sup> Osobní přítomnost Innocenza Comety na zakázce je velmi pravděpodobná i s ohledem na další slavatovské zakázky v Jindřichově Hradci a okolí.<sup>13</sup> Jméno Giovanni Bartolomeo Cometa (kolem 1620–1687), usazený na Novém Městě pražském, se však vyskytuje v souvislosti

9 Horyna 2017, s. 152.

10 Waisserová, Wichterlová 2018, s. 10–11.

11 Waisserová, Wichterlová 2018, s. 10.

12 Mádl 2013, Horyna 2017, s. 152.

13 V r. 1675 uzavřel Jáchym Slavata smlouvu s Innocenzem Cometou (Innocentio Cometa Stuckator Arbeither von Prag aufgericht). Cometa je zmiňován v archiváliích v souvislosti s Rondelem v Jindřichově Hradci až do roku 1681. Během této doby (1675–1681) je zmiňován pouze Innocenzo s pomocníkem, jméno Giovanniho Bartolomea se neobjevuje. Vilímková 1976, s. 159–162.

8 Horyna 2017, s. 145–152.



2 Luneta klenby; skalpel poukazuje na výrazné rozhraní mezi omítkou starší fáze a omítkou cometovských štuků, která je světlejší.

s jihočeskými realizacemi v dodatečně sestaveném přehledu jeho zakázek.<sup>14</sup> Štuky na klenbě mimo jiné rámují zrcadla, v nichž se nacházejí malby připisované Giacomu Tencalovi.<sup>15</sup> Italští štukatéři vysekali kapsy do hotových ploch a zhotovili kartuše, ornamenty, figury, vázy a žebra osadili vegetabilními trsy. Na některých místech jsou přechody omítek zřetelné i ze vzdáleného pohledu. (2)

Požár a další stavební práce v novogotickém stylu za majitelů Schönburg-Hartensteinů, kteří se zde usadili ve třicátých letech 19. století, předurčily zánik většiny částí okázalé zdobené sálu.<sup>16</sup> Přestavba společenského sálu na pokoje se uskutečnila pravděpodobně ve dvou etapách. Nejvýraznější zásah, rozdělení sálu příčkami, proběhl po roce 1863, kdy došlo k ubourání klenby.<sup>17</sup> V každé z několika fází úpravy pokojů došlo i na přemalbu stropu, o čemž svědčí velká řada vápenných a hlínkových nátěrů na povrchu štuků i maleb. Nátěry se opakovaly též ve 20. století, kdy byl sál dozdoben gotizujícími štukovými dekory na stěnách.

14 V souvislosti s žádostí o místo dvorního štukatéra Giovanni Bartolomeo Cometa vyjmenovává výčet všech svých prací. Červená Lhota zde sice není přímo jmenována, nicméně v realizacích pro Slavatu Cometa uvádí následně práce na paulánském klášteře (pravděpodobně dnešní Klášter u Albeře), na jeho zámčích /seinen Schlössern/ (pravděpodobně tedy Jindřichův Hradec a Červená Lhota) a na pražském domě. Podpísán: G. Bartholomeuss Cometa, stucadore et possessionato in Cita Nova. Blažiček, Husa 1937, s. 5–6.

15 Mádl 2013.

16 Waissarová, Wichterlová 2018.

17 Bloch et al. 2016.



3 Různé fáze odkryvů a restaurování výzdoby dochované části společenského sálu. Odkryvů ukazují nástropní malby z dílny Giacomu Tencally rámované bohatou štukovou výzdobou z dílny Cometů.

## PŘEDMĚT VÝZKUMU

Ze sálu se do současnosti zachovala pouze jeho severní část, kde je klenba stropu svedena na čtyři pilastry s hlavicemi. Stavitel Carrati se musel vyrovnat s nepravidelností jednotlivých klenebních polí, proto nepravidelný půdorys také zastírá štuková výzdoba, která vyrovnává různé velké klenební pole, a to kartušemi rámuujícími malby v centrálních polích a v lunetách. Malby v těchto polích ohraničují masivní volutové obruby, kartušové rámy ověňčuje vavříňový dekor. Kartuše jsou doplněné dalšími dekory, jako jsou mušle, hlavy putti apod. Na náběžích kleneb stojí putti nesoucí draperie a jakoby přidržují velké oválné kartuše. Žebra zdobí perlovec a bohaté vegetabilní dekory. (3)

Z této široké škály štukových prvků se výzkum soustředil pouze na část použitého tvarosloví, a to na pás štukového klenebního žebra zdobené ovocnými plody, květy, lístky, kalichy a dalšími florálními tvary. Tyto tvary vyrůstají z váz spočívajících na hlavicích pilastrů a jsou plastickým kompilátem různých útvarů. Způsob jejich modelace a výroby není zřejmý ani při bližším průzkumu, což motivovalo následující detailní výzkum.<sup>18</sup> Přímo k němu vybízela část ve vrcholu

18 Tvarové repliky štuku modelované z ruky přímo na stěně jsou známé z výzkumů z rané barokní doby na území Ticina, Caroselli et al. 2019; Felici, Jean 2020. V případě Červené Lhoty šlo podle prvotních průzkumů o dosud nepopsané postupy.

klenby, která se oddělila od podkladu, a tudíž musela být z bezpečnostních důvodů sejmuta. Souvislosti doplnil též materiálový výzkum replikované části žebra s perlovcem.

## POPIS PŮVODNÍ TECHNIKY

V hlavním sále je možné vysledovat hned několik typů řemeslných postupů při výrobě štukových dekorací. Například putti a štukové kartuše jsou modelované přímo z ruky. Kartušové rámy ověňčuje vavřínový dekor lepený z jednotlivých lístků na jádrovou hmotu čtverhranného profilu. Žebra s ovocem jsou zhotovena dokonce pomocí několika řemeslných postupů, včetně modelování, tažení pomocí šablony či ražení z formy.

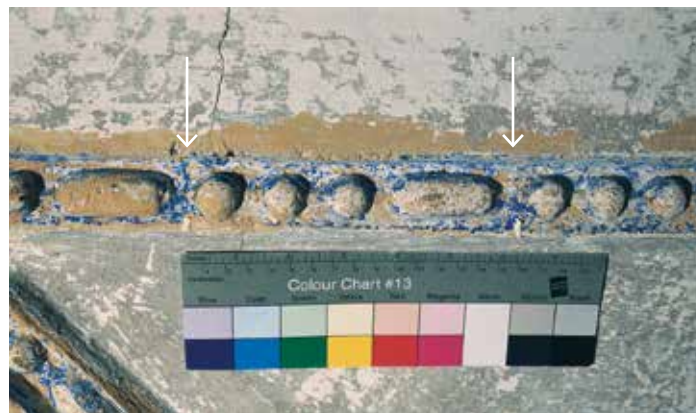
Pro studium a replikaci byla zvolena dobře dochovaná část žebra obsahující i tvary, které chyběly na sejmuté části z vrcholu klenby. Na tomto úseku žebra můžeme odlišit několik základních znaků výrobní techniky, k jejichž podrobnému studiu sloužila precizní katalogizace jednotlivých komponentů.

Žebra tvoří jakési stylizované rámy podél hran průniků lunet s klenbou. Na cihlový podklad štukatěři v místech průnikových hran vystavěli z omítky novou konstrukci, která zploštila ostrost přechodu, zvýraznila celkovou zdobnost kompozice a dodala tak určitou opakující se pravidelnost celému zaklenuť sálu. V podkladové omítce je patrná rytá dvojlínka rozvrhu žeber. (4) Okraje žeber tvoří vysoké hrany zhotovené postupným nahazováním a vytvarováním pomocí šablony. Na okrajích se nachází perlovec ražený asi z 15 cm dlouhé negativní formy.<sup>19</sup> Na jednotlivých částech perlovce je zřetelné, že forma spočívala v oválu a třech kuličkách. (5)

Ovoce a další vegetabilní trsy byly osazeny do prostoru mezi hranami žebra do tenké vrstvy malty, která již jistě souvisela s lepením a osazováním. Sondážní průzkum naznačil možnou vícevrstvou skladbu ovocných prvků, kterou materiálový průzkum následně potvrdil. Pro lepší orientaci ji uvádíme již zde, details jsou vysvětleny v návazné kapitole. Ovocné tvary se skládají ze dvou vrstev: hrubší jádrové, jež modeluje tvar, a jemnozrnné bělavé vrstvy, kterou je jádro potaženo. Tato maltová vrstva vizuálně odpovídá jemné omítce, popisované v italských historických receptářích, pro jejíž název se v italské literatuře užívá výraz *intonaco*.<sup>20</sup> Během studia původní techniky jsme potahování maltou pracovní nazývali „košilkování“. Zajímavé je, že se použití tohoto výrazu dodatečně ukázalo jako výstižné, neboť



4 Podklad transferované části klenebního žebra s výraznou dvojlínkou rozvrhu žeber. Štuková výzdoba ve středu klenby v hlavním společenském sále.



5 Vyznačení formy pro perlovec.

i slovo *intonaco* v sobě skrývá základ latinského slova „oblékat“ nebo také antický oděv všeobecně známý jako tunika.<sup>21</sup> Svrchní štuková vrstva ovoce je výtvarně zdobena pomocí špičatých nástrojů, bodců a špachtlí, jejichž otisky oblých i špičatějších tvarů můžeme na některých místech nalézt. (6)

Tvary studované v replikované části jsme pracovní nazvali poupě, mandle, tulipán, hroznové víno, artyčok, lusk, citron a lístek (7) a pečlivě jsme zaměřili jejich velikost a sklony osazení na klenební žebro. (8) Zatímco u větších ovocných tvarů je způsob modelování obdobný, jen se liší v typu segmentování a promačkání povrchu, zcela odlišně jsou tvořeny lístky, drobné tvary či hroznové víno. Kuličky vína

19 Pro tuto techniku se z německé terminologie někdy přebírá název *stempelstuck*, kterým se ale spíše popisují plošné, jakoby razítkové dekory. V italštině se vyskytuje termín *stucco a stampo*, nebo je také technika nazývána *stampare*, obojí vyjadřuje multiplikační otisk, Řezníčková 2020. U Vasariho je dále popsán krok „bouchnuti“ do dřevěné formy, Vasari 1789, s. 165–166.

20 Pojem *intonaco* zmiňují A. F. Doni, G. Vasari, C. Cennini, L. B. Alberti a další. Např. Doni, 1549, s. 42, Alberti, 1565 (Libro VI, Cap. IX), s. 135–137, Cennini, *capitolo CXXVII*, s. 83.

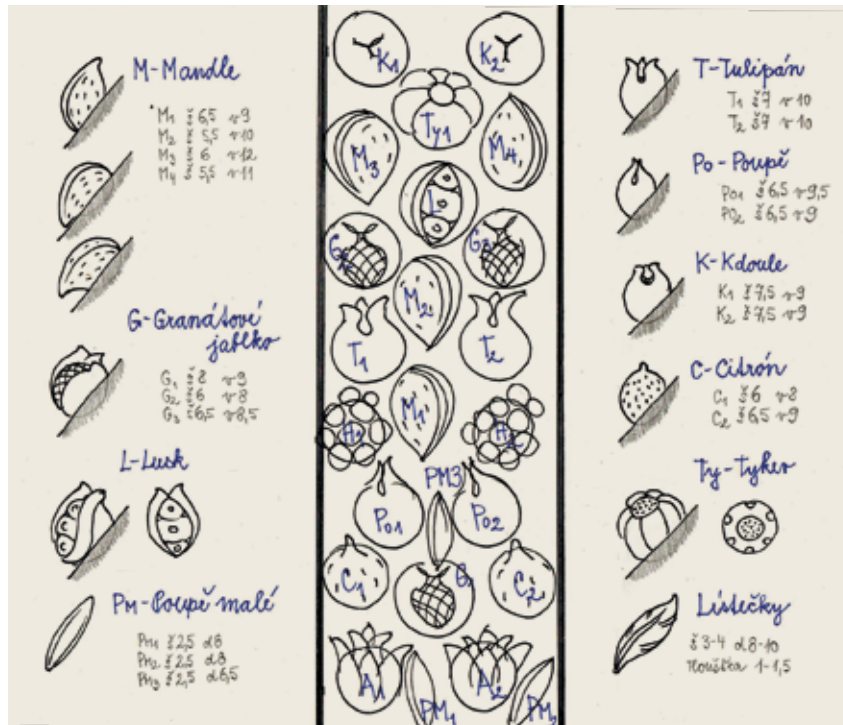
21 Weissarová, Poeta 2020. Stať se zaměřuje na důsledný lingvistický rozbor a interpretaci italských výrazů ze skript studentů sochařství florentské akademie, která sepsal Francesco Carradori na počátku 19. století, součástí výkladu je též výraz *intonaco*.



6 Replikovaná část žebra. Vpichy špachtlí nebo např. seříznutou kulinou, směrem od podkladu.

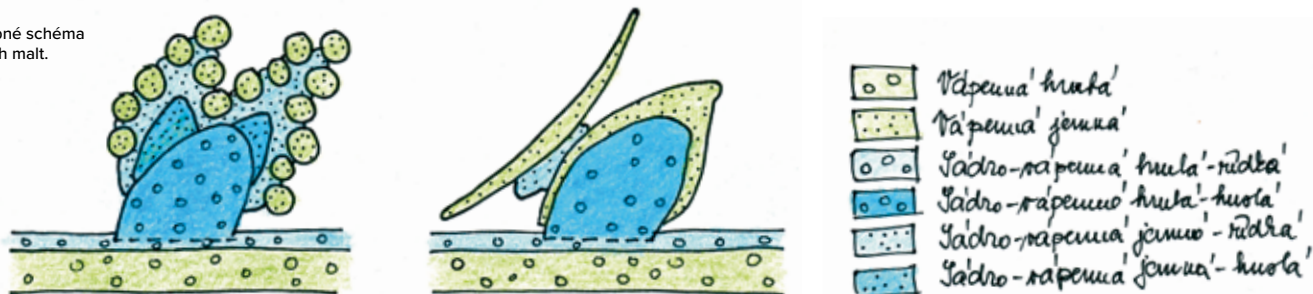


7 Replikovaná část klenebního žebra s ovocem.



8 Zaměření tvarosloví, velikosti, sklonu osazení v replikované části klenebního žebra s ovocem.

9 Kresebné schéma použitých malt.



byly osazovány na trojhranná jádra sestavená z několika kuželů do tvaru hroznu a dále doplňovány přímo na klenbě do plného tvaru. (9) Lístky jsou lepené do trsů ovoce dodatečně, i když se místy zdá, že některé z nich mohly být osazeny současně s většími kusy ovoce. Menší lístky štukatěři slepovali do tvaru typu artyčoku. Tím však výčet rozdílné tvarové techniky nekončí, na žebrech se též objevují další lepené tvary jako např. hruštičky, kalíšky s tence vyvedenými okraji, kuličky osazené na drátku tvořící třešňové trsy či kukuřičné klasy, které svědčí o tvorbě přímo na klenbě.

Restaurátorský průzkum se detailně zabýval i původní prezentací, neboť na povrchu jsou zřetelné výrazné šedé vrstvy.<sup>22</sup> Mikroskopický průzkum odebraných vzorků pomohl nátěry identifikovat jako monochromní, bělavé se silným znečištěním.<sup>23</sup> Organické příměsi silně luminovaly zejména na zřetelných cákancích.<sup>24</sup> (10) Tenký bílý sjednocovací vápenno-klihoý nátěr byl prokazatelně nanesen až na závěr, po osazení štuků, nevyskytuje se totiž ani na rubu tvarů ani pod lepicí maltou. Vícebarevná úprava, navíc se zlacením, je prokázána pouze na perlovci.<sup>25</sup> Polychromie se podařilo dosáhnout nanesením zlacených akcentů na oválech a kuličkách perlovce s modrým pozadím perlovcového profilu. Autentičnost zlacení a spojitost se slavatovskou etapou dokládají analýzy a také zmínky v účetnictví.<sup>26</sup> Polychromie náleží k třetí, vrcholné fázi výzdoby, které se po krátké pauze po štukatérských pracích zhostila Tencallova dílna. Modrý pigment je mikroskopicky totožný s pigmentem modrých pozadí figurálních maleb v kartuších.

Poměrně velké tvary vegetabilních dekorů byly v minulosti také nejvíce vystaveny vnějším vlivům a je na nich vidět, že jsou poškozeny



10 Část klenebního žebra s viditelnými cákanci.

více než ostatní prvky. Místy některé prvky zcela chybějí, například kuličky na drátcích. Na severní straně jsou patrné větší vysprávký související se statickým pohybem zdiva. Tenké lístečky, lepené do ovocných trsů, jsou asi poškozeny nejvíce. Mají ulámané části, na mnoha místech chybějí zcela. Dalším problémem, který byl patrný zejména při snímání nátěrů, bylo opadávání tvarů, protože původní lepicí malta špatně držela a některé tvary držely pohromadě již pouze za pomoci překryvných nátěrů.<sup>27</sup> Kromě obnovení tvarů a navrzení opravného štku pro doplňky bylo tudíž nezbytné se též zaměřit na lepicí maltu.

22 Weissarová, Wichterlová 2018, Chemicko-technologický průzkum, s. 49–73.

23 Barvu lze popsat jako bílou nebo lomeně bílou; je také možné, že štuky nesly lehký podtón z krémovějšího zbarvení vápna.

24 Cákance připomínaly místy dojem z mramorování, v UV luminiscenci se však jasně prokázalo, že jde o pozůstatek řemeslného postupu při nanášení svrchních vrstev, nejvíce cákanců se nachází na vnější straně žeber.

25 Weissarová, Wichterlová 2016, s. 5 a s. 30, obr. č. 28.

26 Weissarová, Wichterlová 2018, Chemicko-technologický průzkum, s. 49–73. V roce 1678 pozlatil štuky jindřichohradecký panský malíř Václav Vavřínek Miller, Mádl 2013, s. 412.

27 V roce 2017 začaly dlouhodobé restaurátorské práce spojené s odkryvem štuků a maleb na klenbě. Po odkrytí se původní štuky, omítky a barevné vrstvy konzervují. Restaurování by mělo skončit v roce 2022.



# MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM PŮVODNÍ TECHNIKY ŠTUKOVÉHO KLENEBNÍHO ŽEBRA

## KONSTRUKCE OVOCNÝCH TVARŮ

Vybrané sejmuté prvky byly prozkoumány pomocí tomografu TORATOM.<sup>28</sup> U každého kusu ovoce byla provedena geometrická úprava vzdálenosti detektoru a vzdálenosti zaostřovaného objektu, aby se dosáhlo nejlepšího možného rozlišení s ohledem na velikost vzorku a detekční plochu. Pro zpracování 3D virtuálních modelů zkoumaných vzorků byla použita filtrační zpětná projekce.<sup>29</sup> Z modelů pak bylo možné interpretovat dvouvrstvou konstrukci ovocných tvarů, velikost zrn písku, přítomnost dutin a trhlin i rozdílné materiálové složení. (11)

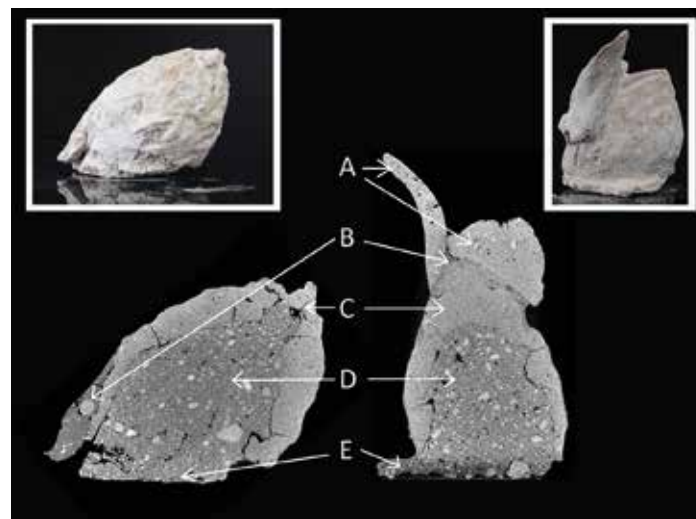
## SLOŽENÍ MALT

Podrobný restaurátorský průzkum vedl k určení míst vhodných pro odběr vzorků z několika konstrukčních prvků, (12) tj. z malých tvarů (lístky, hrozny, třešně, kalíšky), z ovoce (hrozny, mandle, citrony atd.), z lepicí malty (adhezivní vrstva pod ovocem, lístky, kalíšky, kuličky hroznového vína), perlovce a žebra (plošná omítková/štuková výzdoba).<sup>30</sup> Rozbor určeného složení jednotlivých částí umožnil lépe pochopit materiálovou stavbu štukových dekorací a způsob jejich kotvení. Výsledky materiálového průzkumu shrnuje **tabulka 1**.

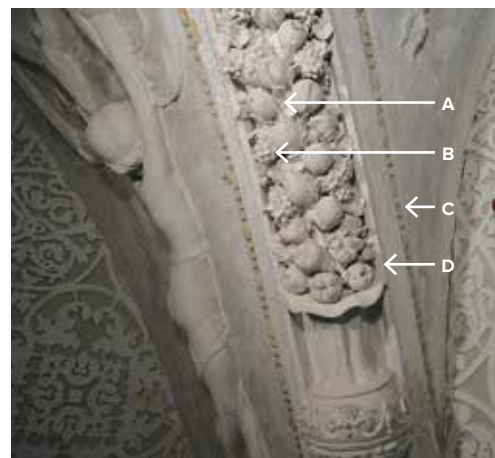
28 Nastavení přístroje je blíže popsáno v publikaci Válek et al. 2020, více informací o metodě lze nalézt např.: Fila et al. 2016. U kusu ovoce č. 118 byl získán faktor zvětšení projekce 4,21, což vedlo k rozlišení 47,51  $\mu\text{m}$  na pixel v projekcích. Během rotace vzorku proti CT systému bylo získáno 1800 rentgenových snímků s expozičním časem 1200 ms. Předběžné zpracování a opravy získaných datových sad byly provedeny pomocí původního softwaru.

29 Modul rekonstrukce CT VG Studio MAX 3.2 (Volume Graphics GmbH, Německo).

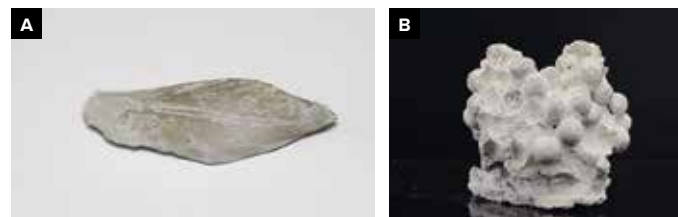
30 Viz Válek et al. 2020.



11 CT snímky a fotografie sejmutého ovoce – citronu (vlevo) a mandle (vpravo). Řezy CT modely ukazují strukturu těchto štukových plastik: A – malé tvary, zde dva lístky (jemná vápenná), B – jemná lepicí malta (jemná sádro-vápenná), C – vnější štuková vrstva (jemná vápenná), D – vnitřní jádrová malta (hrubá sádro-vápenná), E – hrubá lepicí malta (hrubá sádro-vápenná). Na snímcích lze pozorovat rozdílnou barevnost pojivové matrice jednotlivých prvků, což naznačuje odlišné složení, resp. hustotu malt D a E. Viditelné jsou též trhliny, póry, větší zrna plniva či pojivových kusů.



12 Detail štukové výzdoby velkého společenského sálu a rozdělení na skupiny jednotlivých konstrukčních prvků: A – malé tvary (např. lístek), B – ovoce (např. hroznové víno), C – perlovec, D – žebro.



**1 SHRNTÍ VÝSLEDKŮ CHEMICKO-TECHNOLOGICKÉHO PRŮZKUMU JEDNOTLIVÝCH MALTOVÝCH SMĚSÍ, CHARAKTERISTIKA POJIVA, PLNIVA, ORGANICKÝCH PŘÍMĚSÍ A SEZNAM POUŽITÝCH METOD**

Shrnutí výsledků pro analyzované vzorky			
<b>Charakterizace maltových směsí</b> <b>Použité metody:</b> Průzkum in-situ CT OM TA	Jemná vápenná malta	Malé tvary Vnější štuková vrstva ovoce	Pouze kalcitické vzdušné vápno a písek < 1 mm; malta bohatá na pojivo
Rozpouštění v kyselině Síťová analýza	Jemná sádro-vápenná malta	Jemná lepicí malta	Pojivo tvoří směs vápna a sádry, písek < 1 mm
	Hrubá sádro-vápenná malta	Vnitřní jádrová vrstva ovoce Hrubá lepicí malta	Pojivo tvoří směs vápna a sádry, písek < 8 mm
	Vápenná malta	Perlovec Žebro	Vápné pojivo, písek < 4 mm
<b>Charakterizace pojiva</b> <b>Použité metody:</b> OM SEM-EDS TA RTG	Všechny vzorky obsahují vápné pojivo, které vykazuje vzájemně shodné složení a charakteristiky. Surovinou pro výpal byl krystalický vápenec (mramor) s velmi nízkým stupněm znečištění a nízkým obsahem hořčíku. Analýzy odhalily, že bylo použito také vápno z jiného zdroje (pravděpodobně sedimentárního vápence). Tento zdroj ale nebyl hlavní. Souhrnně lze pojivo označit jako vzdušné kalcitické vápno.		
	Obsažená sádra vykazuje multifázové složení s podílem nerozpustného (termálního) anhydritu. Při výpalu sádry bylo dosaženo poměrně vysokých teplot v porovnání s podmínkami její dnešní výroby (zhruba nad 350 °C*). Sádra a vápno jsou v pojivové matici homogenně rozprostřeny, ale v obou případech se v nich vyskytují četné pojivové kusy o velikosti až několik mm.		
<b>Charakterizace plniva</b> <b>Použité metody:</b> OM SEM-EDS Síťová analýza	Plnivo tvoří říční písek, pravděpodobně místní proveniencí, který nenesl známky přirozeného transportu na delší vzdálenost. Mineralogické složení tvoří ortorula (úločky mateční horniny), křemen, plagioklasy, draselné živce, amfibol, biotit a muskovit. Písek je mírně znečištěn přírodním (úločky dřeva) a antropogenním materiálem (úločky keramiky apod.). Maximální velikost zrn se v jednotlivých konstrukčních maltách liší.		
<b>Poměr pojiva ku plnivu</b> <b>Použité metody:</b> Rozpouštění v kyselině OM TA	Hmotnostní dávky	VH : S : P	VK : S : P
	Jemná vápenná malta	1 : 0 : 1,1	1 : 0 : 0,5
	Hrubá a jemná sádro-vápenná malta	1 : 0,9 : 4,2	1 : 0,5 : 2,1
	Vápenná malta		
	perlovec	1 : 0 : 4,0	1 : 0 : 2,0
	žebro	1 : 0 : 3,1	1 : 0 : 1,6
<b>Organické příměsi</b> <b>Použité metody:</b> OM GC-MS IČ TA	Ve všech analyzovaných vzorcích byl detekován kolagen. V historických maltách bývá jeho zdrojem klišová voda. Jiné organické příměsi nebyly použitými metodami identifikovány.		
OM – optická mikroskopie; SEM-EDS – elektronová mikroskopie (druh detektoru); TA – termická analýza; RTG – rentgenová difrakce; GC-MS plynová chromatografie s hmotnostním spektrometrem, metoda MALDI-TOF; IČ – infračervená spektroskopie; CT – rentgenová tomografie; P – písek; VH – vápenný hydrát; VK – vápenná kaše; S – sádra.			
* Při teplotě nad 350 °C přechází anhydrit z rozpustné formy na nerozpustnou. Freie et al. 2019.			

Malé tvary se připravují z jemné vápenné malty, velké tvary jsou obvykle vytvořeny jako dvouvrstvá konstrukce. Ta se skládá z povrchové jemné vápenné vrstvy neboli košilky, která pokrývá hrubozrnné sádro-vápenné jádro.<sup>31</sup> Velké tvary, tj. ovoce, jsou k hrubé vápenné omítce podkladu klenebního žebra připevněny asi 4–8 mm silnou hrubou sádro-vápnennou lepicí maltou. (13) Jemná sádro-vápnenná lepicí malta obdobně připevňuje drobné tvary k ovoci nebo bočním stranám žebra, popř. je využita jako konstrukční malta pro lepení kuliček vína a modelaci hroznů. Pro tyto účely mají všechny složky lepicí malty jemnější zrnitost. Sádro štukatéři používali v konstrukčních a lepicích maltách, což umožnilo výrobu štuků z větší hmoty a zároveň zabezpečilo pevné spojení jednotlivých prvků. Čistě vápenné malty byly použity na viditelné povrchové části štukové výzdoby.

V analyzovaných vzorcích sádro-vápnenných malt i čistě vápenné malty byly nalezeny stopy kolagenu pocházející z klišové vody, která se obvykle přidává, aby se zpomalilo tuhnutí sádry. Pojivové vlastnosti klišu je možné využít též jako přísadu do vápenného nátěru, v němž působí proti sprášování.

## KOTVICÍ PRVKY

Podle aktuálního výzkumu štuků je pro ticinskou oblast typické, že větší tvary připevňují ke klenbě kotevní prvky, tj. kované hřeby.<sup>32</sup> Zajímavé je, že kotvicí hřeby se u větších ovocných tvarů na lhotských štukách vyskytují pouze ojediněle. Jejich rozmístění bylo možné zobrazit při rentgenovém snímkování části žebra. (14)



13 Detail štukového žebra v vrcholu lunety napojeného na kruhový lem okolo středové růžice. Na snímku je zachycen stav před zpětným osazením ovoce. Na maltovém podkladu (A) jsou zbytky sádro-vápnenné hrubé lepicí malty (B), která ho plošně pokrývá. Menší tvary byly připevněny ke stranám žebra, popř. větších tvarů jemnou lepicí maltou (C). Nejvýše osazený tvar byl osazen na kotvicí hřeb v místě (D).



14 Místo průřezu a snímek ovocné výzdoby klenebního žebra pořízený přenosným rentgenovým přístrojem. Pomocí kovových hřebů je s podkladem spojen pouze jeden ovocný prvek. Další kovové prvky ve formě drátků jsou použity jako stopky třešní.

31 V terminologii popisu přípravných směsí užíváme pojem malta pro směs v mokřém stavu – tedy materiál připravený k tvorbě.

32 Felici, Jean 2020.

## ANALYZOVANÉ VZORKY

SCL 1, SCL 2, SCL 4, SCL 5,  
SCL 13 Štukový lístek  
SCL 3 Štukové kuličky vína  
SCL 8 Směs úlomků kuliček  
a lístků  
SCL 7 Štukové žebro  
SCL 15 Perlovec

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS

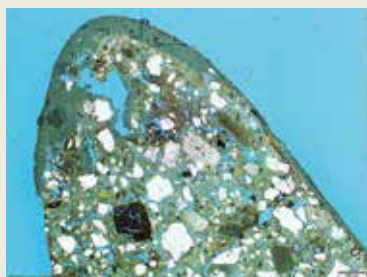
Vzorek SCL 2 je úlomek lístku cca 3 × 2 cm, výška (max. tl. lístku) 8 mm. Na jeho povrchu lze pozorovat vrstvu vápenného nátěru (patrně pozdější stříkaná malba z 20. století). Na spodní straně lístku je zbytek lepicí malty. Vzorek SCL 3 tvoří tři štukové kuličky, jejichž povrch je pokryt několika vrstvami nátěrů.



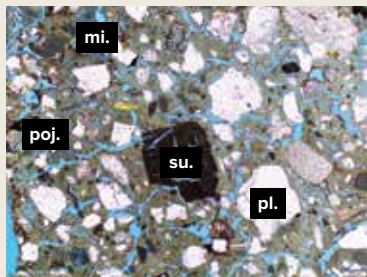
Vzorek SCL 2, štukový lístek (A) a vzorek SCL 3, štukové hroznové kuličky (B).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Pojivo studovaných vzorků tvoří šedavá jemnozrná základní hmota. Místy se vyskytují světle hnědé zbarvené, velmi jemnozrné a často výrazněji rozpraskané shluky. Tmavé pojivové shluky dokládají možný výskyt vápenatých silikátů. Materiál obsahuje značné množství drobných trhlín a prasklin. Plnivo tvoří klasty minerálů, horninových litoklastů (úlomků hornin) a dalších komponent (pojivových kusů, reliktů dřevní hmoty). Mineralogické složení klastů svým původem odpovídá metamorfovaným horninám typu ortorula. Převažují undulózní zhášející křemenné klasty s drobnými povrchovými prasklinami, dále se vyskytují výrazněji porušené živce, hnědavé biotity a medově zbarvené (často výrazně protáhlé) klasty muskovitu. Místy se nacházejí úlomky horninových litoklastů (ortorula). Vzácněji se vyskytují drobné opakní minerály a shluky jílových minerálů. Většina zrn má poloostrohanný až ostrohanný tvar, místy jsou patrné drobné trhliny a praskliny. Velikost klastů je nejčastěji 0,3–0,6 mm, občas lze nalézt i větší zrna do 1 cm. Nátěry na vzorcích jsou jemnozrné, převážně světle šedivé barvy. Na výbrusech SCL 13 a 14 lze rozeznat až čtyři rozdílné nátěrové vrstvy o celkové tloušťce přibližně 0,4 mm. Jednotlivé vrstvy jsou kompaktní a bez prasklin.



Výbrus vzorku SCL 13. Na vzorku je viditelná vrstva vápenného nátěru. Použita modrá zalévací hmota. Pozorováno v PPL.

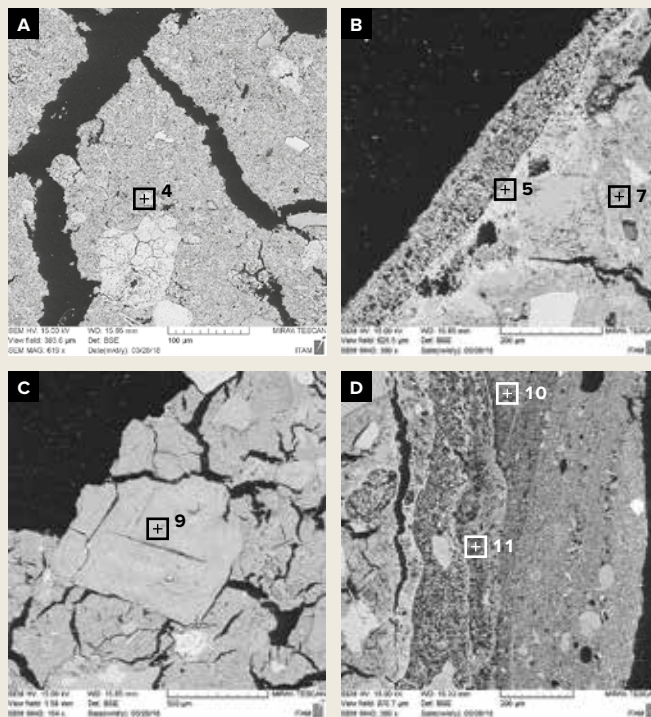


Struktura vzorku SCL 13 s hustou sítí mikroprasklin – mi. v jemnozrné základové hmotě pojiva – poj., křemennými klasty plniva – pl. a výrazným rozpraskaným reliktem vypálené suroviny – su. (uprostřed). Použita modrá zalévací hmota. Pozorováno v PPL.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

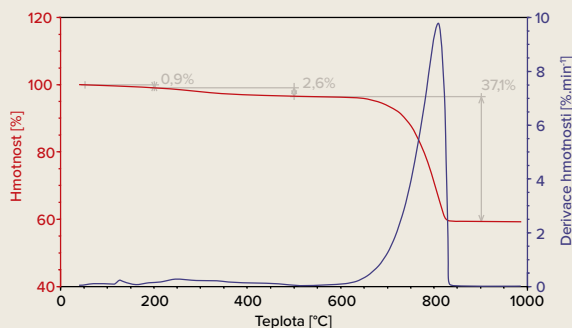
	SCL 1			SCL 3		
	Pojivo (matrix)	Nátěr (pojivo)	Pojivo (matrix)	Pojivový kus	Nátěr	Nátěr
	4	5	7	9	10	11
CaO	97,6	94,8	97,2	99,9	76,8	96,4
SiO <sub>2</sub>	0,6	2,2	1,0		1,6	1,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	0,1	0,2		0,1	
MgO	0,6	0,5	0,5	0,1	19,7	1,0
Na <sub>2</sub> O					0,7	0,4
K <sub>2</sub> O						
SO <sub>3</sub>	0,8	2,4	1,1		1,1	0,7
FeO						
Suma	100	100	100	100	100	100
CI	0,02	0,07	0,03	0	0,04	0,04

CI – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické vápno; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Vzorek SCL 1, lístek (A), matrice vzorku s výskytem pojivových částic. Vzorek SCL 1, lístek (B), výrazná vrstva nátěru bez plniva, jehož chemické složení je velmi podobné pojivové matrici vzorku. Vzorek SCL 1, lístek (C), velmi čistý relikt původní vápencové suroviny. Lze pozorovat výrazné praskliny, typické pro krystalické vápence. Vzorek SCL 3 (D), nátěrové vrstvy na štukové kuličce. Nejmladší nátěry obsahují výrazně vyšší množství MgO.

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)

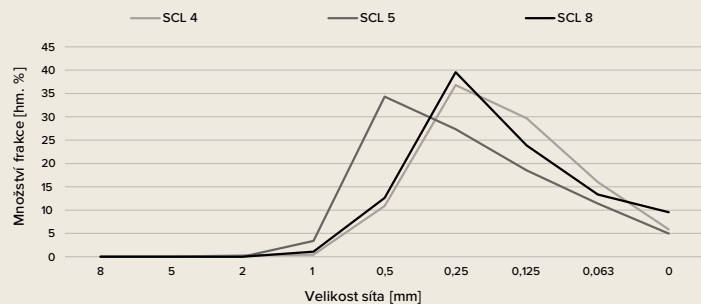


TG/DTG křivka vzorku SCL 2B, jediným významným dějem je rozklad  $\text{CaCO}_3$  v teplotním intervalu 600 až 850 °C. Obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorku je 84,3 hm. %.

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ OCTOVÉ

	Rozpuštění			Vypočtené hmotnostní dávkování	
	Navážka [g]	Nerozpuštěný podíl [hm. %]	Rozpuštěný podíl [hm. %]	Vápenná kaše : písek	Vápenný hydrát : písek
SCL 2	20,0	50,9	49,1	1 : 0,7	1 : 1,4
SCL 3–2	12,0	51,4	48,6	1 : 0,7	1 : 1,4
SCL 4	20,2	35,3	64,7	1 : 0,4	1 : 0,7
SCL 5	10,4	37,9	62,1	1 : 0,4	1 : 0,8
SCL 8	15,7	44,0	56,0	1 : 0,5	1 : 1,1

## NEROZPUŠTNÁ SLOŽKA – PÍSEK



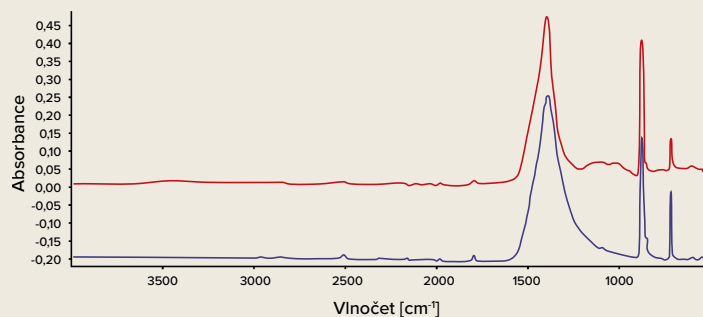
Granulometrická křivka klastů po rozpuštění vzorků SCL 4, SCL 5 a SCL 8.

## ORGANICKÉ PŘÍSAKY

Ve studovaných vzorcích byl pomocí metody MALDI-TOF nalezen kliš (kolagenní pojivo). Metoda FTIR přítomnost klišu nepotvrdila.

### Výsledek analýzy MALDI-TOF pro vzorek SCL 2B

Akcese	Protein	Počet shod
CO1A1_BOVIN	Collagen alpha-1 (I) chain	20
CO1A2_BOVIN	Collagen alpha-2 (I) chain	20
CO1A2_CANFA	Collagen alpha-2 (I) chain	13
CO2A1_BOVIN	Collagen alpha-1 (II) chain	6
CO1A2_MOUSE	Collagen alpha-2 (I) chain	5



FTIR křivka vzorku SCL 2B (červeně) v porovnání s kalcitem (modře).

## ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ

Vápenný štuk se skládá z čistého kalcického vápna vypáleného pravděpodobně z krystalického vápence. Plnivo je z písku lokální proveniencie, který má maximální velikost zrna okolo 1 mm. Poměr vstupních surovin přepočtený na hmotnostní dávkování vápenného hydrátu a písku se pohybuje v rozmezí 1 : 0,7–1,4. Ve studovaných vzorcích byl detekován kliš.

## ANALYZOVANÉ VZORKY

LCL 1, LCL 2, LCL 7 Hrubá lepicí malta  
LCL 3, LCL 5, LCL 6, LCL 8 Vnitřní modelovací malta  
JCL 3 Jemná lepicí malta

## FOTODOKUMENTACE VZORKŮ A JEJICH POPIS

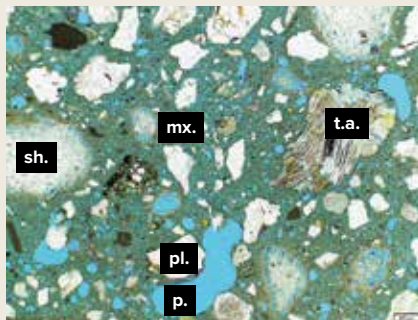
Vzorek LCL 1 je hrubozrná lepicí malta (placka malty) o velikosti  $7 \times 3,5$  cm a výšce max. 12 mm. Strana směrem ke zdi je hladká. Z opačné strany je obtisk bez bližší identifikace. Povrch je pokryt pravděpodobně dvěma bílými nátěry (patrně pozdější stříkaná malba z 20. století). Vzorek LCL 3 tvoří světlá hrubozrná malta pocházející ze spodní strany štukového ovoce.



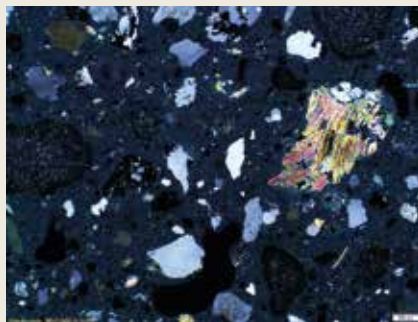
Vzorek lepicí malty LCL 1 (A) a místo odběru vzorku LCL 3 ze spodní strany štukového ovoce (B).

## OPTICKÁ MIKROSKOPIE (OM)

Vzorky sádro-vápenné malty LCL 1, 2, 8 se vyznačují jemnozrnou základní hmotou, kterou tvoří šedavě zbarvené pojivo. Místa se vyskytují světle hnědě zbarvené, velmi jemnozrné a často i výrazněji rozpraskané pojivové shluky (lime lumps). V těchto částicích bývají patrné příčné trhliny, které dokládají metamorfní původ vápenné suroviny (krystalického vápence). V základní hmotě se dále vyskytují shluky sádrového pojiva, které mají podobu oválných částic vláknitého charakteru. Tyto shluky nevznikají pouze špatným rozmícháním pojiva, ale také jako následek pseudomorfozy sádry po hydrataci původních krystalech anhydritu. Na některých místech jsou viditelná zrna termálního anhydritu (A II-N). Plnivo vzorků tvoří minerální klasty, především křemene, živců a tmavých slíd. Dále se vyskytují horninové litoklasty (úlomky ortoruly) a reliktů dalších komponent (dřevní hmota apod.). Velikost klastů se pohybuje mezi 0,3–0,8 mm, velké klasty mají velikost až 4 mm (vzorek LCL 8). Na vzorcích LCL 1 a 2 je doloženo až 2 mm silný vápenný nátěr, ve kterém lze rozeznat dvě vrstvy. Vzorek LCL 8 je bez nátěru.



Vnitřní modelovací malta LCL 8. Shluk sádrového pojiva – sh., zrna termálního anhydritu – t.a., šedavá pojivová základní hmota (matrix) – mx. s modře zbarvenými póry – p., křemenné zrna – pl. Pozorováno v PPL.

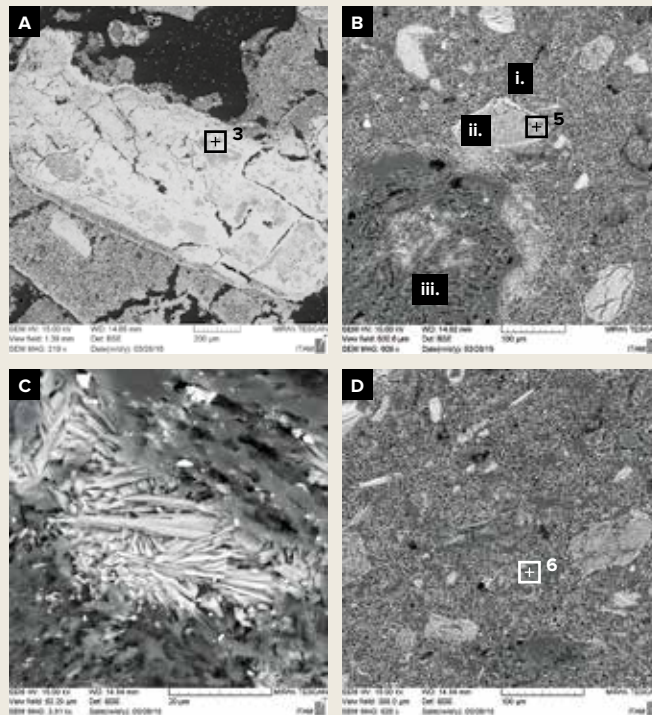


Vzorek LCL 8 v polarizovaném světle.

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE – PRVKOVÁ ANALÝZA (SEM-EDS)

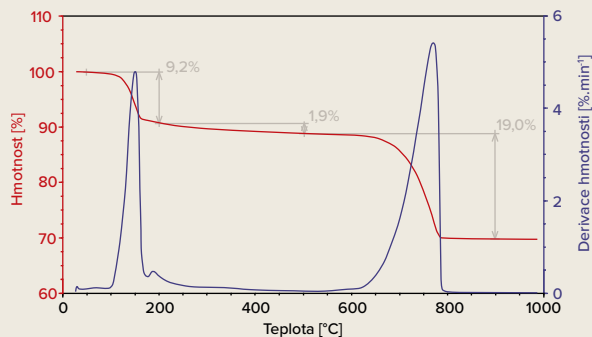
	LCL 1					
	Sádrovec	Pojivová částice	Pojivová částice	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)	Pojivo (matrix)
		3	5	6		
CaO	50,7	99,3	91,6	85,2	86,7	95,0
SiO <sub>2</sub>	1,9	0,5	0,5	3,9	3,8	2,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3			0,6	0,7	1,1
MgO		0,2	0,4		0,4	0,7
Na <sub>2</sub> O						
K <sub>2</sub> O						
SO <sub>3</sub>	46,1		7,5	10,3	8,3	0,8
FeO						
Suma	100	100	100	100	100	100
CI		0,01	0,02	0,14	0,13	0,08

CI – cementační index, kategorie: 0–0,3 vzdušné vápno; 0,3–0,5 slabě hydraulické vápno; 0,5–0,7 středně hydraulické vápno; 0,7–1,1 silně hydraulické vápno; > 1,1 románský cement.



Vzorek LCL 1. Pojivová částice přítomná ve vzorku (A). Struktura sádro-vápenné malty (B), i – jemnozrná pojivová matrice, ii – pojivová částice, iii – shluk sádrového pojiva. Krystalky sádry (C). Jemnozrná pojivová základní hmota (matrice) (D).

## TERMICKÁ ANALÝZA (TA)



TG/DTG křivka vzorku LCL 1B; kromě pásu rozkladu  $\text{CaCO}_3$  v rozmezí teplot 600 až 800 °C se na křivce DTG vyskytuje další pás podobné intenzity s maximem při 150 °C. Tento pás souvisí s dehydratací sádrovce  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , jehož obsah ve vzorku činí 44 hm. %. Obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorku je 43,2 hm. %.

## PRÁŠKOVÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE (XRD)

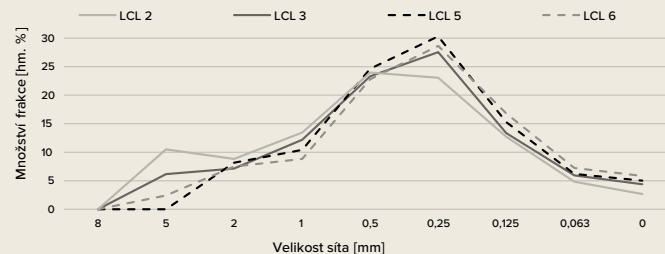
		Křemen	Kalcit	Albit	K-živce	Muskovit	Sádrovec	Kaolinit	Chlorit	Amorfní fáze
Ovoce – vnitřní jádrová malta	LCL 7B	4,1	29,4	1,9	1,7	0,7	41,2	–	< 0,2	20,4
Jemná lepicí malta	JCL 3B	0,7	19,1	0,7	0,2	0,4	66,7	–	–	13
Hrubá lepicí malta	LCL 1B	1,1	37,4	2,3	0,1	0,5	38,7	–	–	19,8
	LCL 2B	4	53,5	3,7	1,8	0,8	13,7	–	–	22,5

## ROZPOUŠTĚNÍ V KYSELINĚ CHLOROVODÍKOVÉ

	Rozpouštění	TA			Vypočtené hmotnostní dávkování		
		Návážka [g]	Nerozpuštěný podíl [hm. %]	Rozpuštěný podíl [hm. %]	$\text{CaCO}_3$ : $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Vápenná kaše : sádra : písek	Vápenný hydrát : sádra : písek
Ovoce – vnitřní jádrová malta	LCL 3	27,3	66,2	33,8	0,56 : 0,44	1 : 0,4 : 2,4	1 : 0,9 : 4,7
	LCL 5	20,9	62,8	37,2	0,54 : 0,46	1 : 0,5 : 2,1	1 : 1,0 : 4,2
	LCL 6	33,1	62,1	37,9	0,61 : 0,39	1 : 0,4 : 1,8	1 : 0,7 : 3,6
Hrubá lepicí malta	LCL 2	5,0	58,0	42,0	0,82 : 0,18	1 : 0,1 : 1,4	1 : 0,3 : 2,7

## NEROZPUŠTNÁ SLOŽKA – PÍSEK

Složení písku mineralogicky odpovídá vyvěřelým a metamorfovaným horninám, konkrétně granitům a leukokratickým ortorulám. Ve všech vzorcích dominuje křemen, horninové úlomky a tmavé minerály.



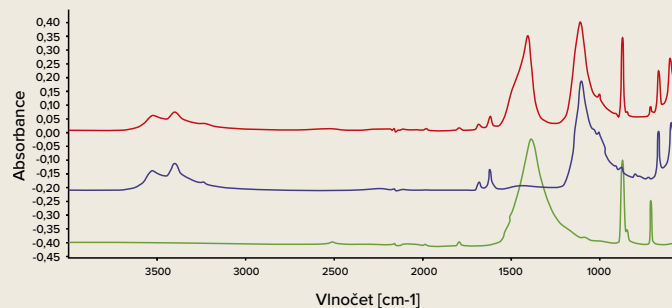
Granulometrická křivka klastů po rozpouštění vzorků LCL 2, LCL 3, LCL 5 a LCL 6.

## ORGANICKÉ PŘÍSADE

Ve studovaných vzorcích byl pomocí metody MALDI-TOF nalezen kliš (kolagenní pojivo). Metoda FTIR přítomnost klišu nepotvrdila.

### Výsledek analýzy MALDI-TOF pro vzorek LCL 1B

Akcese	Protein	Počet shod
CO1A1_BOVIN	Collagen alpha-1 (I) chain	40
CO1A2_BOVIN	Collagen alpha-2 (I) chain	26
CO1A2_CANFA	Collagen alpha-2 (I) chain	16
CO2A1_BOVIN	Collagen alpha-1 (II) chain	7
CO1A2_MOUSE	Collagen alpha-2 (I) chain	6
CO1A2_CHICK	Collagen alpha-2 (I) chain (Fragments)	2
CO1A1_CYNPY	Collagen alpha-1 (I) chain	2



FTIR křivka vzorku LCL 1B (červeně) a její porovnání s křivkou sádry (modře) a kalcitu (zeleně). Kliš nelze detekovat.

## ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ

Sádro-vápenná malta obsahuje vzdušné kalcitické vápno, sádro pálenou na vyšší teplotu (obsahuje nerozpustný anhydrit II) a písek. Vápennou surovinou byl pravděpodobně krystalický vápenec. Písek pochází z místního zdroje a byl upraven síťováním na velikost podle typu použití, např. LCL 3 pod 8 mm, LCL 5 pod 5 mm. Maltová směs obsahovala kliš.

# VÝBĚR SUROVIN PRO REKONSTRUKCI LHOTSÝCH ŠTUKŮ

## VÁPNO

Zámek Červená Lhota se nachází v centrální části geologické jednotky moldanubika, konkrétně v regionální zóně jihočeského moldanubika. Nejčastějšími horninami jsou v tomto prostoru silně metamorfované hlubinné vyvřeliny a magmatické horniny variského stáří (ruly, migmatity a granity). Místy se v nich vyskytují i polohy karbonátových hornin – krystalických vápenců (mramorů), původně mořských sedimentů silurského a devonského stáří, které byly metamorfovány během variské orogeneze. Nejblíže se tyto vápenné suroviny nacházejí asi 25 km severně až severozápadně od Červené Lhoty poblíž obce Chýnov na Táborsku. (15) Podle složení z nich byla vybrána odpovídající dostupná poloha vápence, hrubozrnný krystalický vápeneček s vysokoprocenním obsahem uhličitánu vápenatého, místně označovaná jako „ředák“.<sup>33</sup>

Existenci a provoz vápenky u Chýnova a dovoz vápna i do 35 km vzdáleného Jindřichova Hradce dokládají účty z let 1593–1594.<sup>34</sup>

### Záznam poskytuje tři zásadní informace:

- I. Bylo dodáváno vápno, nikoli vápeneček, patrně ve formě kusového vápna.
- II. Existovaly důvody, proč odebírat vápno z této oblasti a dovážet ho i na poměrně větší vzdálenost – patrně bylo kvalitní a bližší zdroje nebyly k dispozici.
- III. Potvrzuje Chýnov a jeho okolí jako vápenickou oblast a zdroj vápna, které se využívalo k výstavbě významných panských sídel.

33 Vápeneček pochází z nižších poloh (Chýnovské jeskyně–Velmovice). Obsah  $\text{CaCO}_3$  je 98 hm. %. Obsah  $\text{MgCO}_3$  je menší než 0,5 hm. %. Materiál byl vybrán z kamene, kterého po dřívějších úpravách zbylo tolik, že ho byl dostatek pro experimentální výpal.

34 Státní oblastní archiv Třeboň, oddělení Jindřichův Hradec, Velkostatek Jindřichův Hradec, inv. č. 4585, sign. VI R 21, Účty důchodenské, 1593–1594, kart. 734; k dovozu vápna s tímž textem i samostatný účet vystavený purkrabím M. Michnou týž inventář v kart. 433; podle něho se vozilo vápno například z vápenice v Chýnově. Nепublikovaná archivní rešerše Radky Heislerové, rukopis.

## SÁDRA

Rozšíření sádry a její historické využití ve štukové výzdobě není u staveb na našem území zdokumentováno. Jak je uvedeno výše, je zřejmé, že při výzdobě sálu v Červené Lhotě šlo o dílenskou technologii Cometů, přenesenou patrně z jejich rodiště, kde byla sádra obecně dostupnější.

Aby bylo možné určit původ surovin a zároveň posoudit jejich kvalitu, byly ze dvou nejbližších lokalit odebrány vzorky. Šlo o Kobeřice v Opavské pánvi a Preinsfeld v Severních vápencových Alpách.<sup>35</sup> (16) Analýzy izotopů síry a stroncia potvrdily shodu mezi sádrovou složkou štuků a surovinou pocházející z ložisek geologického stáří perm–trias, tedy oblasti Severních vápencových Alp, zatímco geologicky mladší Kobeřice vyloučily. Rakouský Preinsfeld je zároveň co do vzdálenosti Červené Lhotě blíž a těžba v této lokalitě je zmiňována již v roce 1639, označení této oblasti jako zdroje sádry, popř. sádrovce, se tudíž jeví jako celkem pravděpodobné.<sup>36</sup>

35 Sádrovec z ložiska Kobeřice je neogenní evaporit. V aktivním povrchovém lomu se čistý sádrovec vyskytuje pouze ve formě krystalů v autochtonním horizontu tvořeném jíly. Odběr sádrovce je možný pouze společně s jíly. Ložiska Severních vápencových Alp, stáří perm–trias, jsou hlubinná. V dolu v Preinsfeldu bylo možné získat větší bloky rostlého sádrovce s minimálním množstvím jílu, ale důl se v současnosti již rekultivuje a zavazuje.

36 Preinsfeld se nachází zhruba 190 km od Červené Lhoty, Kobeřice asi 280 km. Těžba v dolu Preinsfeld–Hühnerkogel se uvádí od r. 1639. IRIS, Interaktives RohstoffInformations System. (<http://geolba.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ef8095943a714d7893d41f02ec9c156d/>). Pro srovnání – sádra z Opavy pro výrobu štuků na zámku Plumlov je zmíněna kolem r. 1685, Kühndel, Mathon 1937, s. 44.





15 Přehledová mapka okolí Chýnova s vybranými ložisky krystalických vápenců.



16 Krystalický vápenc Chýnov, poloha vysokoprocenní suroviny, tzv. „ředák“, před výpalem (A), sádrovec z lokality Preinsfeld (Severní vápencové Alpy, Rakousko) (B), sádrovec z lokality Kobeřice (Opavská pánev, Česká republika) (C).



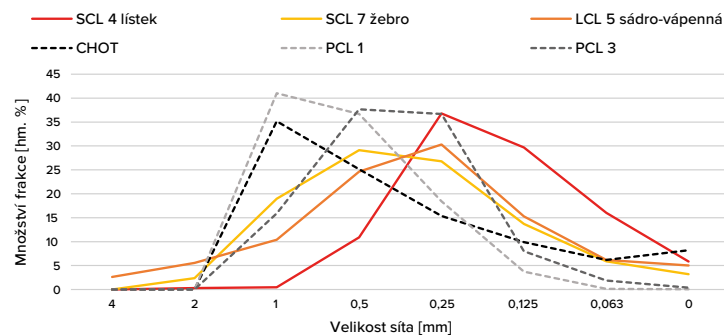
17 V blízkosti zámku se nachází více poloh písčitého materiálu, jak v okolním lese (A), tak přímo na dně místního rybníka (B), kde se již při odběru uskutečnila alespoň orientační granulometrická zkouška (C).

## PÍSEK

Podle mineralogického složení se k výrobě lhotských štuků použil místní písek obsahující křemenné klasty a úlomky ortoruly. Pro porovnání kvality a upřesnění místa původního zdroje se nabízely odběry písku hned v několika blízkých lokalitách v okolí zámku. (17) Mineralogicky si všechny vzorky byly podobné, lišily se ale stupněm opracovanosti a rozdělením zrn podle velikosti. Všechny vzorky také na rozdíl od originálů obsahovaly nižší množství jemné frakce. (18) Za nejpodobnější originálu byl zvolen písek přímo ze dna zámeckého rybníka, jenž v roce 2018 procházel čištěním a revizí.

## KLIH

Ve štukách z různých míst výzdoby byl zjištěn kolagen, avšak pomocí použitých analytických metod ho nebylo možné blíže specifikovat ani stanovit poměrové množství. Pro přípravu nových maltových směsí se použil komerčně dostupný kostní klih. Dávkování a další technologické postupy byly odvozeny z literatury a experimentálně ověřeny.<sup>37</sup>



18 Porovnání granulometrické křivky písků ze štukových prvků: vápenný štuk – lístek SCL 4, vápenná malta – žebro SCL 7, hrubá sádro-vápenná malta – jádro ovoce LCL 5; a písků z okolí zámku: CHOT – Chotémice lom–pískovna; PCL 1 – písek z rybníka Rytíř; PCL 3 – písek ze dna zámeckého rybníka.

37 Klih se při modelování sádrových štuků běžně používá i v současnosti.



19 Výpal sádry na nízkou teplotu na dobové ilustraci (Götz et al. 2018; A), při současném experimentu (B) a detail povrchu nadrceného sádrovce, ze kterého při varu uniká voda (C).

## TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ SUROVIN

### VÁPNO

Pálené kusové vápno pochází z výpalu chýnovského vápence způsobem, který v hlavních rysech odpovídal tehdejšími technologiím. Štukatéřům mohlo být dodáno nehašené kusové vápno, které si dále zpracovali. Hospodářství zámku mohlo mít i vlastní vápennou jámu, do níž se vápno po vyhašení již dopředu uložilo.<sup>38</sup> Pro výrobu štuků proto bylo vhodné vyzkoušet použití prachového hydrátu i vápenné kaše.

Zkušenosti se zpracováním ukázaly, že hašení na prach, tedy práce se suchým vápenným hydrátem měla několik nesporných praktických výhod; zejména jednoduché dávkování hmotnosti i objemu, možnost suchého promíchání s dalšími surovinami a kontrolovatelné dávkování vody, které v důsledku minimalizovalo smršťovací trhliny. Odpovídajícího množství a maximální velikosti vápenných částic se docílilo tím, že se vápenný hydrát přesál přes síto o velikosti oka 1 mm. V maltě připravené ze čtyřměsíční vápenné kaše bylo množství vápenných částic oproti maltě z prachového hydrátu výrazně menší a vápenná kaše poskytla obecně jemnější pojivo.<sup>39</sup>

### SÁDRA

Pro výpal sádry byly vyzkoušeny dva dobově známé způsoby. Sádrovec z lokality Preinsfeld byl pokusně vypálen na vysokou teplotu v peci a opakovaně i na nízkou teplotu vařením v kotli. (19) Sádra pálená v peci obsahovala relativně vysoký podíl anhydritu a byla velmi málo reaktivní.

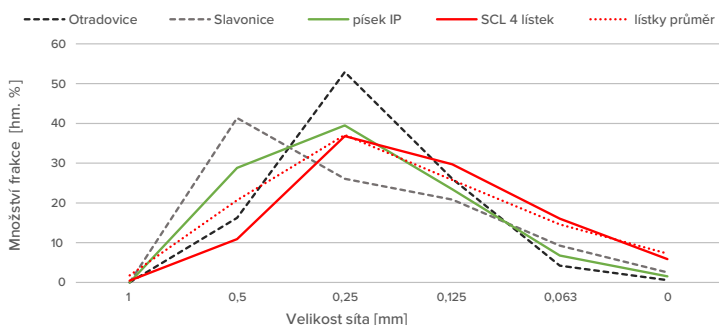
Sádra připravená vařením v kotli dosahovala požadovaných vlastností, ovšem neobsahovala potřebné množství anhydritových částic, které jsou pro analyzovaný historický materiál charakteristické. V obou případech byla sádra nadrcena na velikost pod 1 mm. Obě připravená pojiva byla v porovnání s komerční sádrrou více hrubozrnná. Vzhledem k poměru dihydrátu a anhydritu byla k přípravě sádro-vápenných malt použita směs sádrového pojiva páleného na nízkou a vysokou teplotu v hmotnostním poměru 3 : 1.

38 Přizvaným mistrům byl v roce 1675 k dispozici místní nádeník, dochovaný v účtech. Mádl 2013, s. 412

39 Jemnost pojiva se hodnotila vizuálně a podle zpracovatelnosti malty.

## 2 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH A POUŽITÝCH PÍSKŮ PRO MATERIÁLOVOU KOPII ŠTUKOVÉ VÝZDOBY NA ČERVENÉ LHOTĚ

Plnivo – požadavky	Písek Červená Lhota	Písek Slavonice	Maltový písek Otradovice 0/1
<b>Regionálně-geologická příslušnost suroviny</b>	Písčité podloží rybníka, který obklopuje zámek.	Kopaný písek pochází ze Slavonic. Mineralogicky je z obdobného geologického podloží jako písek Červená Lhota.	Jde o říční propraný polymiktní písek středně pleistocenního stáří. Pískovna Otradovice se nachází nedaleko Brandýsa nad Labem.
<b>Mineralogické složení</b>	Odpovídá originálu, převažují reliktory ortoruly a křemenná zrna.	Odpovídá originálu, převažují reliktory ortoruly a křemenná zrna.	Dominuje křemen, v menších frakcích jsou přítomny tmavé minerály (Fe, Ti).
<b>Granulometrická křivka</b>	Malé množství jemných frakcí v porovnání s originálním materiálem.	Dostatečné množství jemné frakce. Příliš velké množství frakce 0,5–1 mm.	Dostatečné množství jemné frakce, ale maximální velikost pouze 1 mm.
<b>Tvar zrn</b>	Ostrohranný a neopracovaný charakter.	Ostrohranný a neopracovaný charakter.	Zaoblené, opracované, výjimečně až polooštrohranné klasty.
<b>Podíl jemné frakce &lt; 63 µm</b>	0,4 hm. % z frakce 0–1 mm	2,5 hm. % z frakce 0–1 mm	0,1 hm. %
<b>Barevnost</b>	Odpovídá originálu.	Odpovídá originálu.	Světlejší, více do žluta (oproti originálu).



20 Porovnání granulometrie původního písku použitého pro výrobu originálních malých tvarů, konkrétně lístku z jemné vápenné malty SCL 4 a průměrné hodnoty písků ze tří lístků, s granulometrií vybraných písků pro výrobu technologické kopie.

### PÍSEK

Pro výrobu maltových směsí se použily tři písky, jejichž vlastnosti stručně shrnuje **tabulka 2**. Písek, který by zrnitostí přesně odpovídal, se nepodařilo v terénu nalézt, ale kombinací písků bylo možné se originální granulometrií přiblížit. Nejvhodnější se jevila kombinace písku Slavonice a komerčního písku Otradovice co do hmotnosti 1 : 1,<sup>40</sup> která se použila k přípravě vápenného štku na ovoce a malé tvary. (20) Písek Červená Lhota posloužil pouze do jemných a hrubých sádro-vápenných malt, do malty perlovce a žebra. Pro jemnou vápennou maltu nebyl vhodný, protože postrádal jemnou frakci důležitou pro její zpracování a plasticitu.

## NÁVRH A ODZKOUŠENÍ TECHNOLOGICKÉ KOPIE

### PŘÍPRAVA MALTOVÝCH SMĚSÍ

Maltové směsi se připravovaly ve dvou variantách – z vápenné kaše a z prachového vápenného hydrátu. **Tabulka 3** Použití hydrátu umožnilo zpracování štukové malty přímo s optimální konzistencí. Vápenný štuk z odležené kaše měl příliš řídkou a lepkavou konzistenci nevhodnou pro přímé modelování tvarů.<sup>41</sup> Abychom ho mohli zpracovat, odsáli jsme přebytečnou vodu – maltu jsme rozprostřeli na suchou plnou pálenou cihlu. Při nízké spotřebě materiálů je takový způsob redukce vody velmi pohodlný a rychlý. Po této úpravě bylo možné ke zpracování využít obě varianty štukové malty, obě byly pro danou aplikaci vhodné. Vlastnosti čerstvé malty lze teoreticky též upravit odležením, během kterého se pozvolna odpaří voda. Při tom je vhodné maltu překrýt vrstvou písku, která ji chrání před prudkým vysycháním.

Sádro-vápenná malta byla připravena jako suchá směs sádry, prachového vápenného hydrátu a písku. **Tabulka 4**. Před použitím se směs rozmíchala v 1% klišové vodě podle požadované konzistence. Pro modelaci sádro-vápenného jádra byla směs záměrně připravena jako polosuchá s minimální plasticitou. Pro lepení je důležité směs naopak naředit, aby podklad vodu rychle neodsál.

Rekonstrukce techniky se opírala o poznatky z průzkumu a ze zkušeností se zpracovatelností jednotlivých maltových směsí. Pro následující zkoušky byla vyrobena kopie části klenby ve skutečné velikosti, která se realizovala mimo vlastní objekt, na pilíři s nárožními s podobným sklonem, jako má klenba společenského sálu. (21)

40 Použití směsi písků doporučuje také metodika Michoinová 2016.

41 Vápenná kaše o objemové hm. 1350 kg/m<sup>3</sup> a množství sušiny 45 hm. %.

### 3 HMTNOSTNÍ POMĚR VSTUPNÍCH SLOŽEK PRO PŘÍPRAVU JEMNÉ VÁPENNÉ MALTY

Jemná vápenná malta	Vápenná kaše Chýnov	Vápenný hydrát Chýnov	Kombinace písků Slavonice a Otradovice	Vodní součinitel, poměr vody ku pojivu
z kaše	1,0	–	0,5	0,55
z hydrátu	–	1,0	1,1	0,52

### 4 DÁVKOVÁNÍ SUROVIN PRO PŘÍPRAVU SÁDRO-VÁPENNÝCH MALT

Malta	Použití	Suchá směs, hmotnostní dávkování			Malta, objemové dávkování		Max. velikost zrn [mm]
		Vápenný hydrát Chýnov	Sádra Preinsfeld	Písek Červená Lhota a Otradovice	Suchá směs	1% klíhová voda	
Hrubá sádro-vápenná malta	jádrová	1,0	0,9	4,2	4,0	1,0	8
	lepící	1,0	0,9	4,2	Podle požadované konzistence		1
Jemná sádro-vápenná malta	lepící	1,0	0,9	4,2	Podle požadované konzistence		0,25



21 Model napodobující sklon a zakřivení klenebního žebra v měřítku odpovídajícím skutečnému provedení. Experimentální centrum v Solvayových lomech.

Posuzované parametry zahrnovaly zpracovatelnost jednotlivých malt, načasování úprav povrchů a aplikací jednotlivých návazných vrstev, způsob modelování větších tvarů a jejich upevnění na podklad a použití nástrojů. Při praktickém ověřování vzniklo často několik možných alternativních postupů, včetně využití různých pomocných forem. Rozhodujícími vlastnostmi, které určitý postup upřednostnily, byly jednoduchost, praktičnost a odpovídající kvalita výsledku.

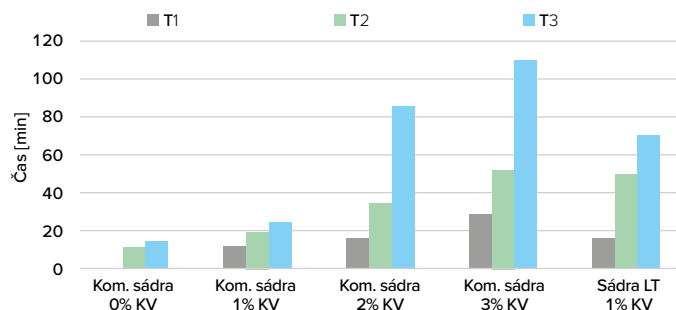
### TESTOVÁNÍ MNOŽSTVÍ KLIHU V SÁDRO-VÁPENNÉ MALTĚ

Množství přidaného klišu ani koncentraci klišové vody nebylo možné stanovit analytickými metodami, proto byla provedena série jednoduchých pokusů s cílem stanovit optimální množství klišu v klišové vodě a její dávkování pro dosažení požadovaných vlastností sádro-vápenných malt. Klišová voda byla připravena o koncentraci 1, 2 a 3 hm. %. Kliš se po zalití daným množstvím vody ponechal 24 hodin nasáknout. Poté se směs ve vodní lázni zahřála na teplotu do 50 °C a za pravidelného míchání rozpustila. Experiment prokázal, že s rostoucím množstvím klišu se prodlužuje doba zpracovatelnosti i doba tuhnutí. (22) Při porovnání sádry z Preinsfeldu pálené na nízkou teplotu s běžně dostupnou modelovací sádrou se ukázalo, že když se přidá klišová voda o stejné 1% koncentraci, začínají obě pojiva tuhnout zhruba ve stejnou dobu, ovšem komerční sádra ztuhne přibližně třikrát rychleji. Důležitá je také doba míchání, pokud je delší, tuhnutí se mírně urychluje. (23) Vzhledem k dostatečné době zpracování pro modelaci jádra ovoce a zároveň rychlému počátku tuhnutí ovlivňujícímu účinnost lepicí malty byla pro všechny směsi zvolena koncentrace klišu 1 hm. %. Klišová voda s koncentrací nad 3 hm. % po čase rosolovatěla a nebylo ji možné dávkovat bez dalšího zahřátí.<sup>42</sup> Pro přechovávání klišové vody po delší dobu se osvědčilo přidat malé množství vápna jako dezinfekci.

### POSTUP VÝROBY OVOCNÝCH TVARŮ A JEJICH PŘIPEVNĚNÍ K PODKLADU

U ovocných tvarů se detailním průzkumem prokázalo, že rozdíly ve velikosti i podobě stejných druhů ovoce jsou natolik výrazné, že použití forem lze považovat za velmi málo pravděpodobné. Replikace postupu výroby se tak soustředila na tvarování přímo na zdi, popř. se konkrétní artefakt předem připravil na stole a poté osadil. Předběžnou modelaci a následné lepení můžeme s jistotou předpokládat u drobných tvarů, jako jsou lístky, trychtýřky a kuličky. Také u některých větších útvarů, jež vyplňují prázdná místa mezi kulovitým ovocem (např. klasy kukuřice), je z jejich vzájemného propojení s pozadím patrné, že byly tvarovány přímo na klenbě. (24) Základy některých prvků, jako jsou např. trsy hroznového vína, byly patrně připraveny na stole a dokončeny po osazení při dotváření kompozice se sousedními tvary. U většiny ovocných artefaktů se příprava na stole s návazným lepením na zeď jevila jako vhodnější, nicméně určení postupu tvarování a způsobu osazení bylo předmětem dalšího výzkumu.

42 Lze připravit také koncentrovanější roztok bez rosolovatění. Losos, Gavenda 2010 popisují takovýto postup: na 30 l vody dáme 5 kg klišu, po jeho rozvaření přidáme 1 až 1,5 kg husté vápenné kaše a necháme přejít varem.



22 Porovnání průběhu tuhnutí sádry z lokality Preinsfeld pálené na nízkou teplotu po smíchání s 1% klišovou vodou a komerční modelovací sádry po smíchání s vodou a klišovou vodou o koncentracích 0, 1, 2 a 3 hm. %. Průběh tuhnutí je hodnocen pomocí tří mezních stavů. Čas T1 označuje chvíli, kdy se řez okraje přestal uzavírat, tento bod se považuje za počátek tuhnutí. Čas T2 určuje, kdy lze maltu sice stále snadno rozříznout, ale začíná se trhat, ztrácí schopnost zpracování. Čas T3 popisuje bod, kdy maltu již nelze snadno rozříznout.



23 Fotografie ukazuje sádrové trámečky z běžné modelovací sádry a vody po zkoušce tuhnutí určeného souběžnými fezy v postupně se prodlužujících časových intervalech. Trámečky byly zhotoveny po 1, 2 a 3 minutách míchání.

24 Detail ovocných tvarů, šišky modelované přímo na klenbě.



Umístění a modelaci ovoce předchází příprava podkladu a dvou souběžných profilů zdobených perlou, které tvoří žebro. Z detailní studie původního provedení vyplývá, že ovocné tvary byly připevněny k vyzrálé podkladové omítce přes relativně tenkou vrstvu hrubé sádro-vápenné malty (silnou 5–8 mm), kterou vzhledem k její funkci nazýváme lepicí maltou.<sup>43</sup> Ta je velmi dobře propojena s jádrovou maltou ovoce. Na CT snímcích lze místy rozpoznat, že má řidší konzistenci, ale není od samotného tvaru oddělena viditelnou spárou. Lepicí vrstva a tvar tak musely být propojeny v poměrně rychlém časovém sledu, takzvaně čerstvé do čerstvého. Rovné plošky ovoce a vpichy na ovoci v nepřístupných místech napovídají, že se tvary modelovaly na stole a osazovaly, až když byly hotové, některé prvky však nesou znaky potahování omítky přímo na klenbě. Je velmi pravděpodobné, že se osazování a přímé modelování kombinovalo.

Jelikož z vizuálního průzkumu ani analýzy jednoznačně nevyplývalo, zda vystouplé kulaté tvary ovoce tvořili štukatéři „nad hlavou“ přímo na klenbě, nebo připravovali díly k osazení nejprve „na stole“, byl tento proces podroben experimentálnímu výzkumu, ze kterého lze shrnout následující poznatky.

#### **Tvorba z ruky na klenbě, obr. 25 A–C**

Nanášení vápenné modelovací malty na jádro přímo na klenbě je při manipulaci s materiálem a modelování nad hlavou velmi nepraktické. Pokud se však dodrží přesné postupy a vyvine větší úsilí, lze tvary takto provést. Koneckonců omítkové plochy a štuky nanášené z ruky štukatéři zhotovovali také přímo na místě. Pravidelný sklon a seříznutí podstavy většiny ovoce však spíše napovídají, že minimálně sádro-vápenné jádro bylo nalepeno. Na zatuhlém, ale nevyschlém jádru však jemná vápenná malta štukové košilky nedrží a trhá se. Nalepené jádro tedy musí být při práci „nad hlavou“ zcela suché. Před nanášením štukové košilky je nutné suché jádro velmi důkladně provlhčit vodou či kličovou vodou. Pokud jej důkladně neprovlhčíme, štuková malta tuhne příliš rychle a není možné upravit její povrch, provést měkké modelace a jemnou kresbu, košilka se od jádra trhá a praská. Dotváření kresby promáčklin a vpichů v ovoci má však často v tomto případě odlišný výtvarný charakter, než jsme pozorovali na původních tvarech, vpichy totiž nepůsobí měkce a hluboce. Vrstva modelovací malty musí být také dostatečně silná, aby vpichy nedosáhly do jádra, vrstva však následkem obsahu vápna výrazně praská.

#### **Tvorba z ruky na stole, obr. 25 D–F**

Vytvarovat vnitřek, jakési jádro ovoce dusáním do dlaně, následně jej oříznout a potáhnout vápennou štukovou vrstvou na stole je o poznání snadnější. Jádro lze jednoduše oříznout do požadovaného

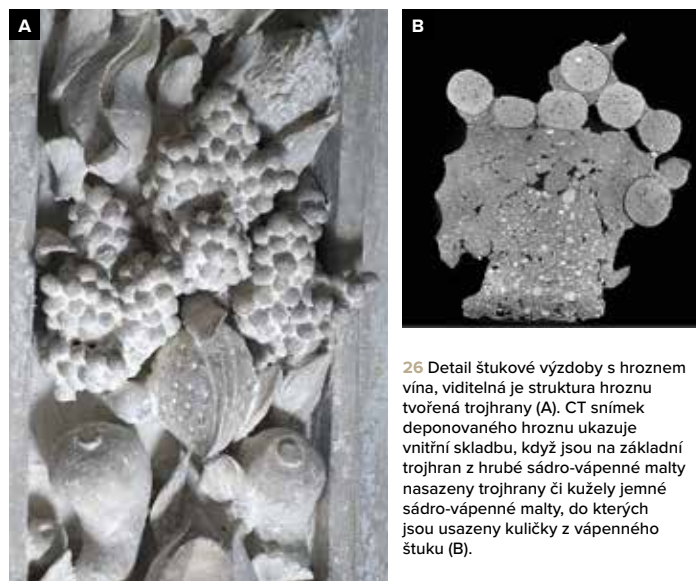
43 Jestli byl podklad zcela vyzrálý ve smyslu dokončené karbonatace vápenného pojiva, nelze usoudit. Na základě průzkumu in-situ však lze jednoznačně říct, že podklad byl před lepením vyschlý, pevný a soudržný.



25 Ukázky postupu při modelaci ovocných tvarů z ruky na klenbě (A–C) a na stole (D–F).

sklonu, což kopíruje nálezy řezů na ovocných jádrech z rentgenových snímků. Vpichy a kresbu lze navíc také dotvořit na stole, ale i přímo na klenbě po osazení tvaru, což také odpovídá trasologickým stopám původních prvků. Proces je velmi rychlý, bez větších komplikací s časováním. Jádro musí být pevné, tj. připraveno s minimem vody, aby se při modelování štukové vrstvy nedeformovalo. Důležitým technologickým momentem je nanesení jemné vápenné malty na jádro bezprostředně po jeho zformování. Jedině tak se svrchní vrstva dobře propojí s podkladem. Experimentálně bylo zjištěno, že s postupujícím tuhnutím sádro-vápenného jádra se schopnost štukové vrstvy k němu přilnout výrazně snižuje.

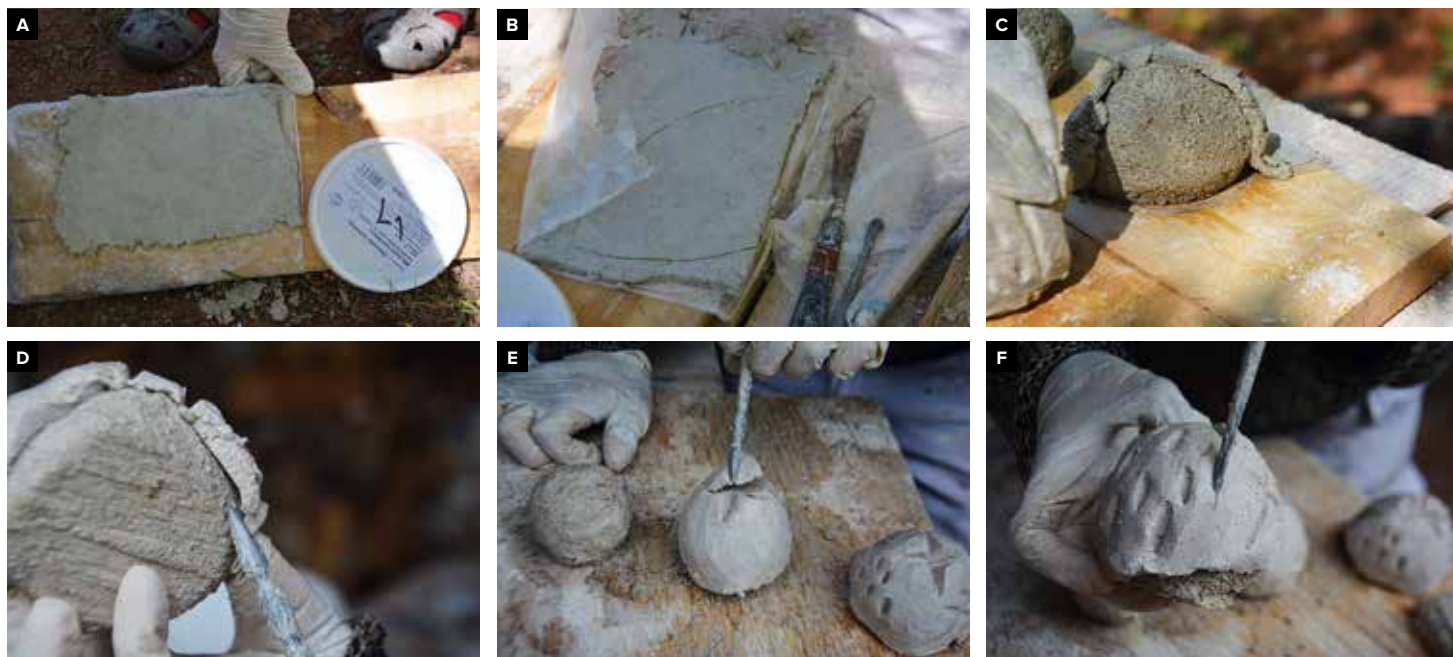
Při rozhodování, zda uplatnit jednu, druhou, či obě varianty, lze v budoucnu dále hledat analogie u jiných staveb.<sup>44</sup> U vinného hroznu je pravděpodobné, že se na stole modeloval pouze částečně, a sice hlavní jádrový trojhran z hrubé sádro-vápenné malty, další kužely z jemné sádro-vápenné malty a až poté následovalo osazení základním počtem kuliček na řídkou jemnou sádro-vápennou maltu. (26) Větší část modelace jádra a doplnění kuliček do plného hroznu probíhaly přímo na klenbě, protože některé kuličky osazené ovoce



26 Detail štukové výzdoby s hrozdem vlna, viditelná je struktura hroznu tvořená trojhrany (A). CT snímek deponovaného hroznu ukazuje vnitřní sklادbu, když jsou na základní trojhran z hrubé sádro-vápenné malty nasazeny trojhrany či kužely jemné sádro-vápenné malty, do kterých jsou usazeny kuličky z vápenného štku (B).

44 Určitým vodítkem může být přítomnost předem zabudovaného kotvícího prvku, který se u studované části vyskytoval velmi málo. Dalším sledovaným jevem byla vzdálenost ovocných tvarů od sebe ve srovnání s kvalitou provedení jejich povrchových úprav.





27 Ukázky postupu přípravy a nanesení štukové vrstvy (A–C), špatné soudržnosti vrstev (D–E), trhání vápenného štku při modelaci vpichováním (F).

překrývají. Zcela jistě se přímo na stěně do hroznů dolepovaly další kuličky, které překrývají některé okolní prvky. V jiných případech se tvorba na stole jeví jako výhodnější. Do jaké míry bylo lepší si štuky připravit předem na stole a následně je k maltovému podkladu lepit, by ověřila až dlouhodobá praxe v provedení replik.

## POSTUP POTAHOVÁNÍ JÁDRA ŠTUKEM

Sádro-vápenné jádro je spojovacím prvkem s podkladem a tvoří základní tvar ovoce včetně šikmého osazení. Detailní modelaci povrchu a výtvarnou prezentaci tvoří jemná vápenná malta, která je na jádro nanášena jako druhá souvislá vrstva o různé tloušťce. Jemnozrná štuková směs je při složení napodobujícím originál velmi bohatá na vápno a tomu odpovídají i její vlastnosti s ohledem na kvalitu zpracování. Aby se omezila tvorba smršťovacích trhlin a lepkavost směsi, osvědčilo se připravit štukovou maltu o nízkém vodním součiniteli a zpracovat ji podle následujícího postupu. Vápenný štuk se

rozválí do tenké placky.<sup>45</sup> (27 A) Kovovým nástrojem se následně do plátu vyřízne přibližně trojúhelníkový tvar, který se položí na jádro a posléze zpracuje, dotvaruje a uhladí pomocí dalších nástrojů. Jestliže vápenný štuk není dostatečně plastický, neobsahuje potřebné množství vody a při následné modelaci praská a drolí se. (27 B, C, F) Nejlépe se modelovací malta s jádrem propojí v krátkém momentě po vytvarování jádra. Pokud je rozdíl ve vlhkosti u jádra a vápenného štku příliš velký, povrchová vrstva popraská.<sup>46</sup> (27 D a E) U hlubších vpichů či zářezů ve štukové vrstvě byla plasticita a poddajnost nezatuhlého jádra jednoznačnou výhodou, jelikož tlak nevyvolával mechanickou separaci, ale naopak vedl k lepšímu propojení.

45 K separaci od podkladu lze využít potravinářskou fólii. Běžně postačí, aby byl dřevěný podklad pokryt drobnými prachovými částicemi, což je celkem typické stavební znečištění. Pro čistší práci mohly být původně k separaci využity i hoblované dřevěné desky či plocha sádry ošetřená např. kličem.

46 Přílnavost vápenné modelovací směsi k sádro-vápennému jádru je speciální problem. Ovlivňuje ji obsah kolagenu a sádry, teplota i přesné množství vody ve směsích. Z mnoha zkoušek vyplynulo, že nejhorší přílnavost má jádrová malta ve chvíli pokročilejšího tuhnutí. Roli možná hrají i další parametry, které nejsou dosud objasněny.



**28** Výroba repliky lístku. Kónický váleček malty odpovídá velikosti modelovaného lístku, která je vyznačena na formě (A–C). Váleček se uválí rukou, následně se modeluje kovovou špachtlí včetně uhlazení a rýh (D, E). Po vyschnutí je možné porovnat výsledek s předlohou (F).

## POSTUP VÝROBY LÍSTKŮ

Ačkoli tvary lístků nejsou na první pohled složité a jejich utváření byla patrně rutinní záležitost, nalézt správný a dostatečně jednoduchý postup nebylo snadné. K „nalezení“ tvarovacího negativu a válečkové formy vedla trnitá cesta, velká řada zkoušek různých forem a postupových nuancí. Lístky totiž mají svá specifika, jejich vnitřní tělo je relativně silné a v hyperbolickém zatočení vybíhá do velmi tenkých okrajů utvořených jen několika tahy (zatlačením) špachtlí.

Lístky jsou vytvořeny ze stejného vápenného štuky jako povrchová vrstva na větších ovocných tvarech. Pravidelná křivka zkroutění dokládá, že se používala pomocná forma či kopyto, přestože velikostí a prohnutím se na jednotlivých žebrech liší. Aby bylo možné získat odpovídající prohýb a zkroutění lístku, bylo nutné nalézt optimální tvar vhodné modelovací formy, tzv. kopyta. Při výrobě lístku se štuková malta ve formě válečku, který je po krajích užší než uprostřed, umístí na kopyto a na něm se jen několika pohyby dotvoří hyperbolický tvar podle předem naznačeného obrysu. (28 A, B, C) Lístek se poté dotvaruje, uhladí pomocí kovové špachtle a dozdobí tenkými liniemi pomocí kovového nástroje. (28 D, E) Horní i spodní konce se lehce nazdvihnou nad formu a lísteček se na ní po dobu

několika hodin ponechá, aby malta dostatečně vyschla a držela svůj tvar. (28 F) Lístky se musí ponechat na formě po celou dobu vysychání, jinak se jejich tvar zborťí a charakteristické zkroutění lístků nenastane. Z porovnání většího množství původních lístků je zřejmé, že jsou prohnuty ve variantách, což by mohlo odpovídat formě ve tvaru negativních prohnutí balustrádových kuželek.

## POSTUP LEPENÍ MALÝCH TVARŮ

Lístky či další malé tvary je nutné lepit až ve vyzrálém stavu, jinak zkréhnu a lámou se.<sup>47</sup> Před nalepením je nutné lístek jemně namočit, pokud je však provlhčen příliš, praská, k podkladu dobře nepřilne a voda se z lepicí malty neodsaje. Lepicí malta musí být poměrně tekutá, avšak nesmí stékat. Přiložení k podkladu by mělo nastat dříve, než lístek z lepicí malty veškerou vlhkost odsaje. (29)

<sup>47</sup> Lístky nejsou vyzrálé ve smyslu plně karbonatace pojiva. K jejich soudržnosti postačí, aby hmota vyschla a částečně ji zpevnila karbonatace.



29 Ukázka lepení malých tvarů. Výroba repliky drobných štukových doplňků vychází ze studia originálů a jejich zakřivení – výběr vhodných lístků (A). Postup lepení lístků (B–C).



30 Ukázka přilepení ovocného prvku a jeho následného dotvarování přímo na stěně (A, B). Aplikace vápenného nátěru s klišem (C).

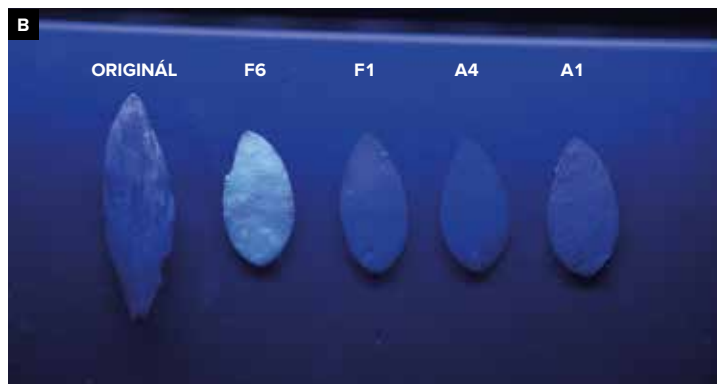
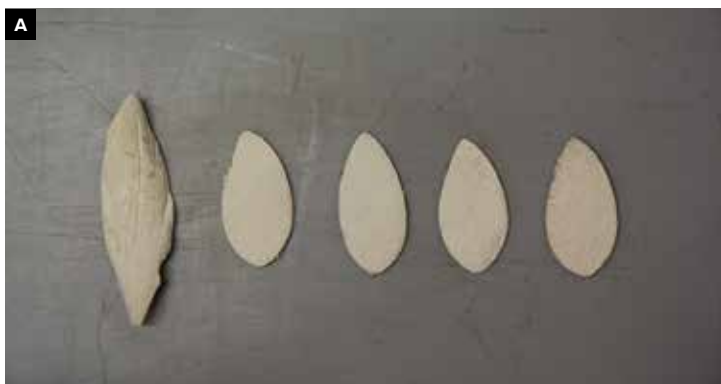
## POSTUP ÚPRAVY POVRCHU

Originály mají až na výjimky hladkou povrchovou úpravu. Z vnějšku je vidět původní tenký bílý nátěr, který se vyskytuje pouze na místech dostupných z přední části. Proto byl zcela jistě nanesen na závěr, až po finálním osazení všech komponentů – ovoce, lístků i dalších tvarů. Hladkého povrchu je možné docílit úpravou štukové malty v čerstvém stavu pomocí kovových nástrojů. Povrch ovoce lze uhladit dohladka již na stole. Po osazení je možné ho dále upravit, dohladit či jinak dotvarovat, některé jemné vpichy či jiné úpravy je někdy třeba dokončit a dohladit až po osazení tvaru. (30 A, B) Na některých prvcích jsou úpravy evidentní i v hloubce, v nepohledové části natočené k podkladu. Povrch osazených tvarů lze ještě začerstva uhladit štětcem a vodou. Teprve poté, v samém závěru, se povrch štuků celkově sjednotí řídkým vápenným nátěrem s klišovou vodou, tzv. vápenným šlikem. (30 C)

## VIZUÁLNÍ ODLIŠENÍ DOPLŇKŮ

Pro odlišení doplňků jsme využili „stopovací“ přídavky. Při výběru vhodných přídavků pro daný úsek přišly v úvahu materiály, které mají schopnost fluorescence v UV záření. Jsou tak viditelné pouze při nasvícení UV světelným zdrojem. Barvy pozorované fluorescence závisí na materiálu a vlnové délce použitého světla. Kliš, který je obsažen ve vápenném nátěru, by měl mít v oblasti dlouhých UV vln nejasně bílou barvu. Zinková běloba (ZnO) fluoreskuje žlutě až nazele, zatímco titanová běloba UV světlo pohlcuje, čili se jeví jako tmavě fialová až šedá.<sup>48</sup> Jako účinná stopovací příměs byla vyhodnocena zinková běloba, která se vzhledem k nejlepšímu účinku přidá do hmoty doplňku i do závěrečného nátěru.

48 <https://aiccm.org.au/national-news/summary-ultra-violet-fluorescent-materials-relevant-conservation> (citováno 1. 4. 2020)



31 Zprava: originál lístku, vzorky ze štukové malty s přídavkem 1 hm. % zinku s 1% Zn nátěrem (F6) a bez nátěru (F1), vzorky z malty I2 s nátěrem z klišové vody (A4) a bez nátěru (A1) v denním světle (A) a v UV světle (B).

Účinnost zinkové běloby jako stopovače ověřil jednoduchý pokus, při němž se do vápenného štku přidal kliš, kasein, zinková a titanová běloba. K porovnání s originálem posloužily vzorky malty s přídavkem Zn (1 % hmotnosti směsi): F6 (nátěr 1% Zn), F1 (bez nátěru) a malty bez příměsí: A4 (nátěr klišovou vodou) a A1 (bez nátěru). (31) Z obrázku je patrné, že ve viditelném světle není barva vzorku ovlivněna, kdežto v UV světle jsou patrné rozdíly ve fluorescenci – zatímco fluorescence originálu se projevuje v několika odstínech, vzorek s nátěrem obsahujícím zinkovou bělobu fluoreskuje stálou nažloutlou barvou. „Čistý“ vzorek (A1) slabě fluoreskuje vlivem vápna; na vzorku A4 je tento efekt zřejmě potlačen klišovým nátěrem, ve vzorku F1 je fluorescent obsažen pouze ve hmotě malty.

## VYUŽITÍ VÝZKUMU PŘI RESTAUROVÁNÍ A REKONSTRUKCI ŠTUKŮ NA ČERVENÉ LHOTĚ

Výzkum původní techniky za účelem výroby technologické kopie je osvědčeným způsobem, který umožňuje získat nové poznatky o vlastnostech materiálů a jejich použití. Po praktické stránce poskytuje možnost, jak se naučit a vyzkoušet si postupy, které nelze v běžné praxi uplatnit bez předchozího ověření. Realizace experimentálních zkoušek je zároveň i zdrojem praktického poznání autodidaktickým procesem. Bonusem replikace je zároveň zkušenost s napodobením původního tvarosloví, zejména ve vztahu k použité materiálu.

Dále popsané postupy ukazují, jak a do jaké míry bylo možné využít nově získané znalosti a praktické zkušenosti při opravách štukové výzdoby na Červené Lhotě.

### ZPĚTNÉ OSAZENÍ SNESENÝCH OVOCNÝCH TVARŮ

Zásadním principem připevnění zpětně osazovaného štku ke zdi je celoplošné propojení podstavy tvaru a podkladu přes lepicí maltu. Zárukou kvalitního spojení je stabilní přidržení tvaru v jeho pozici po dobu prvotního zpevnění lepicí malty v důsledku odsátí vody. Z tohoto procesu vyplývají požadavky na vlhkost podkladu i opětovně



**32** Úpravy transferovaných tvarů před opětovným osazením. Původní lepicí malta ze spodu na ovoci (A). Odstranění zbytků původní lepicí malty mikrogravimetrovací tužkou (B) a doplnění jádrové malty (C).



**33** Příprava na zpětné osazení sejmutých tvarů. Kontrola podkladu (A), zkouška umístění jednotlivých tvarů podle fotodokumentace a označení (B, C).

osazovaného prvku a zároveň na konzistenci lepicí směsi. Proces lepení je navíc vymezen určitým optimálním časovým úsekem.<sup>49</sup>

Abychom dosáhli kvalitního přilnutí, je žádoucí nejprve zarovnat lepenou plochu, tedy podstavu přenášených tvarů šetrným odejmutím zbytkové, originální lepicí malty. (32 A, B) V případě, že původní jádrová hmota chyběla, bylo možné ji doplnit sádro-vápennou maltou o maximální velikosti zrn 4 mm. (32 C) Zároveň s úpravou podstavy se musela zkontrolovat také podkladová plocha. (33 A)

Důležitou součástí procesu lepení je pečlivé vyměření místa zpětného osazení, včetně sklonu a natočení jednotlivých tvarů. (33 A, B) Stejně podstatné je vzít v úvahu veškeré drobné prvky (lístky, poupata), které mají základní ovocné artefakty doplnit. (33 C)

<sup>49</sup> Je zřejmé, že příliš provlhčený podklad neodsaje vodu z lepicí směsi v čase, po který lze zafixovat lepený tvar pouze rukou. Nedostatečně řídká (plastická) lepicí směs se naopak nepropojí s podkladovou částí. Rychlost odsátí vody je také závislá na tloušťce nanášené vrstvy lepicí směsi. Velmi savý podklad je vhodné důkladně předvlhčit den předem.



34 Lepení transferů. Nanesení lepicí malty na podklad (A) a na podstavu zpětně osazovaného ovoce (B). Lepený tvar lze přitlačit a udržet ve stabilní poloze rukou (C).



35 Výroba repliky. Výroba jádra (A, B), příprava štukové vrstvy (C) a její nanesení na jádro (D). Modelace tvaru pomocí špachtle (E) a přilepení na plánované místo (F).

Při samotném lepení se sádro-vápenná malta nanáší zároveň na podkladovou plochu a na podstavu ovoce. (34 A, B) Míru předvlhčení ani konzistenci malty nelze exaktně popsat, je dána zkušeností, kterou je nutné si v konkrétních podmínkách ověřit. Prvek je potřeba přitlačit k podkladu jen mírně, a to dříve, než lepicí malta ztratí svou přilnavost v důsledku odsátí vody. Pokud ještě před přiložením lepeného tvaru lepicí malta zmatní, musí se proces opakovat s větším předvlhčením. Jestliže jsou všechny kroky správně provedeny, nastane poté, co se tvar na podklad přiloží, téměř okamžitě jeho

adheze k podkladové omítce. (34 C) Tento moment je velmi zřetelný, protože se ruka, která artefakt přikládá, uvolní. K přidržení velmi těžkých tvarů po přitisknutí stačí zhruba 30 až 120 sekund. Stejným způsobem byl připevněn mj. trs hroznového vína o váze kolem 0,9 kg. Pokud se během asi dvou minut prvek „nepřisaje“, je nutné lepení zopakovat. Po dobu 24 hodin od nalepení, za něž by měla být sádra již dostatečně pevná, je vhodné artefakt zabezpečit, aby nespadol a nerozbil se. Může se totiž stát, že spoj není dostatečně pevný, jelikož nepokrývá celou plochu lepeného tvaru nebo se vyskytnou jiné



36 Výroba repliky drobných štukových doplňků zahrnuje kuličky třešní a hroznového vína (A), poupata a malé plody (B), květy, kalichy a další tvary (C).

skryté vady. Před odstraněním ochrany je možné vyzkoušet, jak prvek drží, lehkým tahem a poklepáním.<sup>50</sup>

## DOPLNĚNÍ OVOCE REPLIKOU

Výroba repliky předpokládá, že poměrně přesně víme, jak má výsledná forma vypadat. V našem případě jsme měli k dispozici původní část chybějícího tvaru, který se navíc běžně vyskytoval i na jiných místech. Při výrobě repliky jsme použili následující postup: 250 ml sádro-vápenné směsi se rozmíchalo v klišové vodě. Ihned po rozmíchání se vydusáním kulovitěho tvaru v dlaní zformovalo jádro a vytvarovalo se do základního tvaru. Pak se tenkou špachtlí podkladová plocha jádra ořízla do roviny. Požadovaného zkosení se dosáhlo ořezáváním špachtlí. (35 A, B) Následovalo potažení štukem podle již dříve vyzkoušeného postupu. Trojúhelníkové pláty se musí nanést na jádro asi do 10 minut od vytvoření, ihned špachtlí uhladit a dotvarovat do konkrétního typu ovoce. (35 C, D, E, F) Ke štukatérské práci se používají podobné nástroje jako kdysi, jejich repliky převzaté z historických receptů lze jednoduše vyrobit.<sup>51</sup> Kromě klasických štukatérských špachtlí s rozličným prohnutím jsou pro tvarování zásadní vpichové a rýhovací nástroje, které je možné zhotovit kovářskou úpravou ocelových profilů tak, aby odpovídaly odpozorovaným původním tvarům vpichů a rýh.

50 Jak pevně tvar drží, jsme odzkoušeli i razantnějším způsobem, ručně jsme odtrhli pokusně přilepené menší i větší tvary, když použité malty po několika měsících vyzrály. U větších prvků (přilepené repliky větších kusů ovoce) bylo k odtržení třeba vyvinout poměrně značnou sílu a k defektu došlo vždy ve spoji lepicí malty a ovoce. Tvar sám ani v jednom případě k úhonně nepřišel. Také drobné lepené artefakty bylo možné odtrhnout, aniž by se poškodily, pokud se opět pouze spoj. Zpětné lepení transferů a doplňků je z tohoto pohledu možné považovat za reverzibilní způsob opravy, jež lze restaurátorským způsobem odstranit.

51 Waisser et al. 2020, s. 187.

Repliku ovoce jsme nalepili asi do hodiny od vytvoření. Nově vyrobený čerstvý prvek bezproblémově přilnul téměř okamžitě po přiložení. Podle zkušeností získaných při hledání optimálního postupu není ani pozdější nalepení tvaru problém, v tomto případě se postup neliší od lepení transferů.

## OSAZENÍ MALÝCH TVARŮ – ORIGINÁLY A DOPLŇKY

Všechny chybějící malé tvary byly připraveny z vápenného štuku jako repliky originálů. Lístky jsme modelovali již popsaným postupem na dřevěné formě. Kuličky byly vytvářeny vyválením válečku, který se rozdělil na malé části, a poté se každá jednotlivá kulička dotvořila v dlaních. Její pravidelnost a velikost odpovídala originálním prvkům v okolí předpokládaného osazení. V různých částech sálu se velikost kuliček hroznového vína trochu liší a pohybuje se zhruba od 5 do 20 mm. (36 A) Poupata a kalíšky byly také vytvořeny v dlaních podle originálů vyskytujících se v okolí. (36 B, C)

Některé drobnější komponenty ovocných trsů, které odpadly, když se snímaly nátěry, byly pečlivě očíslovány a zakresleny do grafického podkladu. Před zpětným osazením je nutné tyto prvky pečlivě očistit od pozdějších nátěrů a omýt od prachu a zbytků malty mikrogravírovací tužkou. V některých případech, když se malý tvar lepí na obzvláště tlustou vrstvu malty, je vhodné, aby se původní lepicí malta neodstranila úplně. I v tomto případě platí pravidlo, že nejlépe se k sobě lepí rovné hladké plochy, resp. zaoblené hladké plochy. Při doplňování jsme se řídili vyhotovenými zákresy a podrobnou fotodokumentací, které zachycovaly původní stav. Zároveň byla také vyplněna prázdná místa, u kterých se díky zachovalým otiskům původní lepicí malty nepochybovalo, že nějaký tvar chybí. Vždy bylo nutné brát v potaz kompozici jednotlivých oblastí i celku. Při dolepování kuliček hroznového vína se nedoplňovaly všechny chybějící části, pouze ty,



37 Osazování repliky drobných štukových doplňků. Ukázka z lepení lístků (A–C), doplňování kuliček do hroznu vína (D–E) a třešní (F).

kteří dotvářely celkový dojem bohatého hroznu. Obdobně se postupovalo i u dalších drobných prvků.

Transfery a nově zhotovené malé tvary se lepily obdobně, dolepovaly se v suchém stavu, nové prvky minimálně 24 hodin od té doby, co byly vytvořeny. Před přilepením se artefakty krátce ponořily do klišové vody. Směs lepicí malty se rozmíchala s klišovou vodou těsně před použitím, nejprve v řidší konzistenci, případně zahuštěné dalším přidáním sádry. Podíl sádry ve směsi byl v některých případech záměrně navýšen, např. pokud měla lepená podstava lístečku menší rozměr nebo bylo lepení obtížnější z jiného důvodu. Důležité je nalézt správné místo, podstavu tvaru, na které se nanáší jemná sádro-vápenná lepicí malta. (37 A) U některých více odkloněných lístečků bylo nutné nanést maltu také na podklad a podkladové lůžko tak navýšit. Naopak u kuliček vína bylo třeba množství přidané hmoty spíše minimalizovat, použitá malta byla jemnější, s upravenou velikostí zrn písku i pojiva pod 0,25 mm. Poté se musí lepený prvek okamžitě k podkladu přiložit, dříve než lepicí malta zmatní v důsledku odsátí vody. (37 B, C, D, E) Tvar je nutné přidržet zhruba 30 sekund. Třešně na drátěné stopce tvoří mezi malými tvary výjimku, musí se totiž osadit ihned po vyválnění na předem připravené dráty. (37 F) Přibližně 24 hodin po osazení transferů a doplňků byla provedena zkouška pevnosti spoje obdobně jako u větších tvarů.

## MODELOVÁNÍ ŠTUKOVÝCH DOPLŇKŮ

Štukovou maltu lze také úspěšně použít na modelování chybějících povrchových částí ovocných tvarů a ulomených špiček lístků. (38 A, B) Stejná malta se dále využila na vyplnění a zahlázení prasklin. (38 C) Postup se nelišil od klasického doplňování drobných defektů. Po očištění byl originál navlhčen a po krátké pauze byla nanášena štuková vrstva, kterou šlo okamžitě upravovat, začišťovat a modelovat do požadovaného tvaru včetně povrchové úpravy.

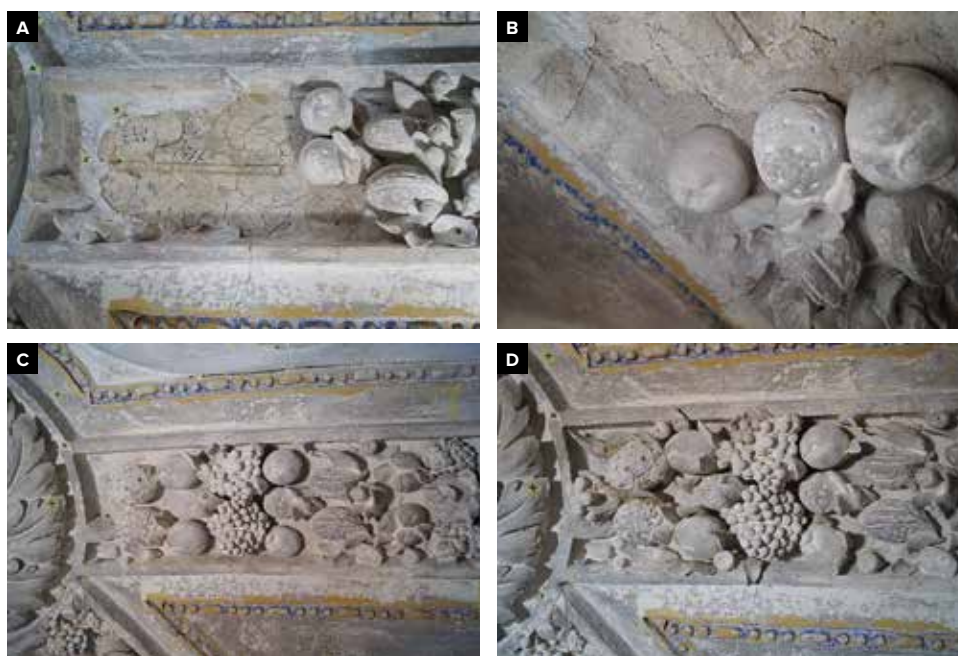
## SJEDNOCUJÍCÍ NÁTĚR

Na základě zjištění z průzkumu byly všechny nanášené tvary po osazení na klenbu pokryty vápenným nátěrem. Luminiscence ploch v ultrafialovém světle napovídá úpravě povrchu štuků s přídavkem organického materiálu, pravděpodobně klišu, který v nátěrech potvrdila i analýza. Nátěr na retuše původních částí měl podobný základ, tedy vápenné mléko s klišem, avšak výrazně naředěné, aby lazura pouze lehce sjednotila nesourodé povrchy. Na nových částech se do lazury přidaly pigmenty k zatónování, retuš byla nanášena tupováním. Podklad pod zatónování nových částí tvoří vápenná vrstva s obsahem





38 Maltové a štukové doplňky. Ukázka povrchového doplnění poškozeného ovoce (A), modelace chybějící špičky lístku (B) a úprava širší trhliny v maltovém žeburu (C).



39 Fotodokumentace opětovného osazení snesených prvků; stav před začátkem lepení (A), postup při lepení (B), stav po nalepení velkých tvarů (C) a po nalepení drobných artefaktů před závěrečnou retuší (D).

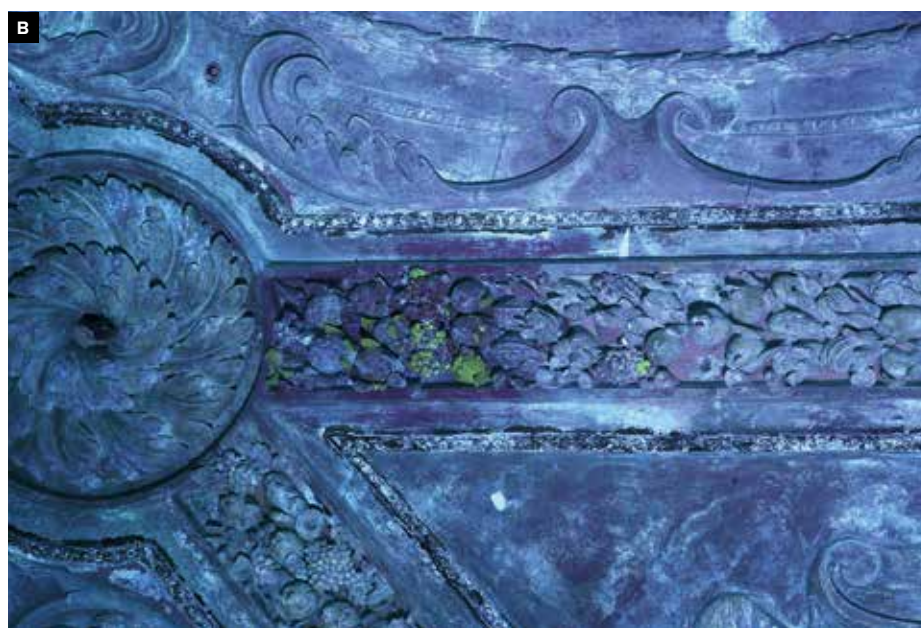
zinkové běloby, která umožňuje dodatečnou identifikaci nově dodaných částí prostřednictvím fluorescence v UV záření.

## ODLIŠNOST A ODLIŠITELNOST DOPLŇKŮ

Materiálové i technologické repliky mají autentický vzhled barokních štuků. V případě Červené Lhoty nebylo cílem doplňky záměrně vizuálně odlišit, ale jejich rozpoznání bude významné při budoucí památkové obnově. Záměrem je totiž prezentovat štuky v jejich raně

barokní podobě, která následovala formu štuku all'antica, tedy římský bílý štuk. Značné znečištění povrchu tmavými skvrnami, pravděpodobně sazemi z historického osvětlení sálu, však nerovnoměrně pokrývá povrch. Proto se zdá jako optimální řešení potlačit nejvýraznější nečistoty vápennou lazurou a nové replikované části odlišit přidáním luminujícího média. Optické scelení původních a doplněných částí tak bude možné odlišit bez destruktivního průzkumu. (39) Pro zajištění možnosti rozlišení je samozřejmostí i dokumentace jednotlivých pracovních fází během realizace.

Doplňky vzorové opravy části štukového žebra byly opatřeny sjednocujícím nátěrem s 1% přídavkem zinkové běloby. Vizuální rozpoznání doplňků je efektivní (40), musí se však provádět selektivně a velmi pečlivě, čímž se značně zpomalují finální úpravy. Při větším rozměru restaurovaných částí může tato komplikace prodloužit proces obnovy. Praktickou alternativou je, že se zinková běloba přidá přímo do opravných směsí.



40 Celkový pohled na část s přilepenými transfery a doplňky v denním světle (A) a v UV světle (B).

## SHRnutí POZNATKŮ

Výzkum přinesl nové poznatky ohledně složení malt použitých při výrobě štukové výzdoby velkého společenského sálu zámku Červená Lhota.

Ukázalo se, že maltové směsi navržené jako kopie původních tvarů jsou velmi kvalitní po stránce technologické i výtvarné a umožňují replikovat autentický výraz štukové výzdoby. Vysoký podíl vápna dodal štukové maltě potřebnou plasticitu a tvárnost. Vápno ve formě hydrátu i vápenné kaše bylo použito s obdobným výsledkem. Využití práškového hydrátu mělo tu výhodu, že díky postupnému přidávání vody bylo možné připravit maltu s vhodnou zpracovatelností. Osvědčilo se, když se připravená vápenná malta nechala několik dní odležet. Ukázalo se, že tento postup je z hlediska zpracování optimální. Pokud se počítalo s použitím vápenné kaše, musel se snížit obsah vody. Prakticky jsme schopni ze směsi vodu eliminovat, když se např. položí na savou či porézní podložku.

Přidání sádry do vápenné malty urychlilo nabytí pevnosti oproti čistě vápenným technologiím, a navíc experimenty prokázaly, že mělo i další výhody. Barokní sádra se v případě Červené Lhoty pálila na vyšší teplotu, než je v současnosti běžné. Oproti moderní sádrě tuhla pomaleji a obsahovala určitý podíl anhydritu, který pojivu propůjčoval další specifické vlastnosti. Sádra s podílem anhydritu mění vlastnosti zpracování malt a umožňuje přilnout a dobré propojení lepených ploch.

Schopnost využít místně dostupné materiály byla založena na důkladném poznání řemesla, které se předávalo mezi generacemi. Štukatěři si museli umět poradit se surovinami podle konkrétního místa zdroje kvalitativně odlišnými a při výběru odpovídajícího způsobu zpracování se mohli spolehnout pouze na své zkušenosti. Dnes nám tyto praktické zkušenosti chybějí a čistě technicky je často neumíme správně podchytit. Analýzy historických štuků nám alespoň dílčím způsobem poskytly zpětný pohled na umění dřívějších mistrů. Experimentální výzkum ukázal, jakým způsobem je možné doplnit exaktní znalost matérie o poznání dřívějších technologických postupů.

Technika raně barokního štku z Červené Lhoty využila v té době již zavedený způsob formování sádro-vápenného jádra, které je následně potaženo čistě vápenným štukem. Jde o vrstvenou skladbu připravenou za použití dvou anorganických pojivových systémů – čistě vápenného a sádro-vápenného. Sádra se vyskytovala v jádrech štukového ovoce a lepicích maltách. Umožnila modelaci jednotlivých prvků mimo vlastní dílo a jejich dodatečné umístění nalepením. Z materiálového výzkumu vyplynulo, že malta z jádra ovoce a lepicí malta mají obdobné složení, ale zřejmě šlo o varianty použité při odlišných konzistencích. Zatímco lepicí malta byla řidší, sádro-vápenné jádro, tvarované dusáním, bylo tužší. Rozdíl v konzistenci

i další technologické postupy prokázaly zejména praktické zkoušky. Replikace postupů doložila, že je praktické si sádro-vápennou směs připravit předem ve formě suché maltové směsi z vápenného hydrátu, sádry a pisku.

Ve studovaném případě nebylo ovoce kotveno k podkladu armaturami a až na výjimky bylo připevněno pouze sádro-vápennou maltou. Experimentálně se podařilo nalézt způsob lepení k podkladu, který je založen na složení lepicí směsi, její konzistenci a kapilární sání podkladu i lepeného tvaru. Osvědčilo se lepení nových i starých prvků na řidší maltu, pouze s omezeným předvlhčením tak, aby se obě části přisály. Pro restaurování je potřebná zejména znalost techniky lepení štuků k podkladu, kterou lze přímo využít při zpětném osazení sejmutých kusů.

Povrchová štuková vrstva na ovoci je čistě vápenná a její složení se shoduje s modelovací maltou na lístky a další drobné prvky.

Z organických aditiv byl využit kliš, a to jako prostředek ke zpomalení tuhnutí sádry, ale i jako příměs řídkého vápenného nátěru. Výskyt klišu v originálu doložila analýza. Modifikace vlastností sádro-vápenné malty 1% klišovou vodou, ověřená experimenty, se v praxi osvědčila. Vápenný nátěr s klišovou vodou se nanášel až na závěr, když se ovoce osadilo do finálního tvaru.

Při zkoumání původního postupu modelace ovocných tvarů nebyl nalezen jednoznačný doklad, který by umožnil rozhodnout, zda byly štky modelovány přímo z ruky na zdi, nebo připraveny předem a posléze se lepily. Během vlastních pokusů se jako nejpraktičtější osvědčila příprava tvarů na pracovním stole. Po vytváření a základní úpravě povrchu je možné je jednoduše nalepit na předem připravenou plochu žebra, následně uhladit a doopravit. Větší mezery dozdobily lístky a menší tvary tak, aby společně vytvářely harmonizující plastickou kompozici. Na druhou stranu štukatěři modelování prvků z ruky přímo na místě velmi dobře ovládali, jak je zřejmé na okolních figurálních a dekorativních štukách.

Vápenný štuk bohatý na pojivo propůjčoval v jeho konečné úpravě exkluzivní charakter blízký pojetí štku all'antica, byť byl takový vzhled původně cílem patrně pouze nepřímo, jako pozůstatek novověké tradice. Popsaný způsob vytváření štukových dekorací štukatěři z dílny Giovanniho Bartolomea Comety a jeho syna Innocenza bravurně ovládali, o čemž svědčí i rychlost provedení výzdoby rozsáhlého sálu na zámku Červená Lhota.

Oprava části žebra ukázala, jak je při restaurátorské obnově důležité využít znalost původních materiálů a technik, a to zejména pro celkové pochopení díla a v praxi pro vytváření doplňků. Podstatnou výhodou použití maltových replik je jejich autentický vzhled a materiálová kompatibilita. Vedlejším, ale též důležitým výsledkem je zachování řemeslné dovednosti a schopnosti práce s původními materiály.

## LITERATURA

Alberti, L. B. 1956. *L'Architettura*, Firenze. Florencie: Appresso Lionardo Torrentino.

Beard, G. 1983. *Stucco and decorative plasterwork in Europe*. UK: Thames & Hudson.

Blažiček, O. J. 1962. „Dílo komských štukatérů 18. století u nás“. *Umění* 10 (4): 351–368.

Blažiček, O. J., V. Husa. 1937. „Materiálie k dějinám barokního výtvarnictví v Čechách II., Cometa Giovanni Bartolomeo, štukatér“. In *Ročenka kruhu pro pěstování dějin umění za rok 1936*, 5–6. Praha: Kruh pro pěstování dějin umění.

Caroselli, M., G. Cavallo, A. Felici, S. Luppichini, G. Nicoli, L. Aliverti, G. Jean. 2019. „Gypsum in Ticinese Stucco Artworks of the 16–17th Century: Use, Characterization, Provenance And Induced Decay Phenomena“. *Journal of archaeological science: Reports* 24: 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.009>

Carradori, F. 1802. *Istruzione elementare per gli studiosi della scultura*. Firenze.

Cennino, C. 1859. *Il libro dell'arte, o Trattato della pittura*. Firenze: Gaetano Milanese, Carlo Milanese.

Doni, A. F. 1549. *Disegno del Doni, partito in più ragionamenti, ne' quali si tratta della scultura et pittura, de' colori, de' getti, de' modegli... con historie, essempli et sentenze, et nel fine alcune lettere che trattano della medesima materia*, Vinetia: Apresso Gabriel Giolito di Ferrarit.

Felici, A., G. E. Jean. 2020: *Stuccatori Ticinesi tra XVI e XVIII secolo, Studi e Ricerche per la Conservazione*. Firenze: Arte e Restauro/ Stucci e Gessi.

Fíla, T., I. Kumpová, P. Koudelka, P. Zlámál, D. Vavřík, O. Jiroušek, A. Jung. 2016. „Dual-energy x-ray micro-Ct imaging of hybrid Ni/Al open-cell foam“. *Journal of Instrumentation* 11 (01): C01005–C01005. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/11/01/C01005>

Fogliata M., M. L. Sartor. 2004. *L'artedello stucco: Storia, tecnica, metodologie della tradizione veneziana*. 2nd ed. Treviso: Antilita.

Freire, M. T., A. S. Silva, M. do Rosário Veiga, J. de Brito. 2019. „Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: mineralogy and microstructure“. *Construction and Building Materials* 196: 512–529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.037>

Götz, F. J., G. Lucas, G. Seng, H. Galland. 2018. „La Production De Plâtre Basse Température, De Plâtre Multiphase Et De Surcuit En Bourgogne, À Ferrare Et À Stuttgart Au Tournant Du Xvie Au Xviie Siècle“. Online. In *Le Blog Des Plâsters*. [https://platreblog.files.wordpress.com/2018/10/lucas\\_schickhardt\\_gypsum.pdf](https://platreblog.files.wordpress.com/2018/10/lucas_schickhardt_gypsum.pdf)

Horyna, T. 2017. „Červená Lhota“. In *Na věčnou paměť, pro slávu a vážnost*, s. 135–155. Kroměříž: Národní památkový ústav.

Kühndel, J., J. Mathon. 1937. *Plumlovský zámek a jeho knížecí architekt*. Prostějov: Městské muzeum v Prostějově.

Losos, L., M. Gavenda. 2010. *Štukatérství*. Praha: Grada Publishing.

Mádl, M. 2013. *Tencalla II. Barokní nástěnná malba v Českých zemích*. Praha: Artefactum, Ústav dějin umění AV ČR, v. v. i.

Michoinová, D. 2016. *Památkový postup: příprava vápenných malt na bázi vzdušného vápna*. Edice Odborné a metodické publikace 90. Praha: Národní památkový ústav.

Millar, W. 1897. *Plastering plain and decorative*. 4th ed. Reprint 2010. UK: Taylor & Francis Ltd.

Waisserová, J., Poeta, M., J. 2020. „Poznatky k historii štukatérství ze skript Francesca Carradoriho“. *Zprávy památkové péče* 80 (3–4): 282–291.

Válek, J., O. Skružná, P. Kozlovce, D. Frankeová, P. Mácová, A. Viani, I. Kumpová. 2020. „Composition and technology of the 17th century stucco decorations at Červená Lhota castle in Southern Bohemia“. *International journal of architectural heritage* 14 (7): 1042–1057. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1731627>

Vasari, G. 1789–1881. *Le Vite de'più eccellenti pittori, scultori ed architettori scritte da Giorgio Vasari, pittore Aretino*. Firenze: Gaetano Milanese ed., 1568.

Waisser, P., J. Waisserová, R. Tišlová, P. Hečková. 2020. *Renesanční štuková díla zámku v Telči v kontextu dějin umění, technologie a restaurování*. Pardubice: Univerzita Pardubice.

## PRAMENY, EDICE PRAMENŮ A NEPUBLIKOVANÉ RUKOPISY

Bloch, J., J. Eliška, M. Špinarová, V. Babická. 2016. *Operativní průzkum a dokumentace místností v 1. patře JV části zámku*. Červená Lhota: zámek.

Řezníčková, V. 2020. „Dekorativní štukatérství na Moravě v letech 1550–1620, mezi místní tradicí a recepcí italských vzorů“. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Brno.

IRIS, Interaktives RohstoffInformations System.  
<http://geolba.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ef8095943a714d7893d41f02ec9c156d/>

Oddělení Jindřichův Hradec, Velkostatek Jindřichův Hradec, inv. č. 4585, sign. VI R 21, Účty důchodenské, 1593–1594, kart. 734; kart. 433.

Vilímková, M. 1976. *Státní zámek Jindřichův Hradec, I. Dějiny zámku. Stavebně historický průzkum*. Praha: Národní památkový ústav.

Waisserová, J., Z. Wichterlová. 2016. *Rozšířený průzkum a odkryv referenčních ploch štukové a malířské výzdoby tzv. Tencallova sálu, státní zámek Červená Lhota. Restaurátorská zpráva*. Jindřichův Hradec: Národní památkový ústav.

Waisserová, J., Z. Wichterlová. 2018: *Průzkum štukové a malířské výzdoby na stropě tzv. Tencallova sálu na státním zámku Červená Lhota. Restaurátorská zpráva*. Jindřichův Hradec: Národní památkový ústav.



**Závěrečné poznámky**

**V** předešlých textech jsme popsali problematiku, se kterou se setká každý, koho zajímají detaily provedení historických staveb. Od začátku si klademe otázky, jak byly některé konstrukce vytvořeny a zda použité materiály měly jiné vlastnosti než současné. Uvažujeme o tom, zda byli staří mistři zručnější a uměli lépe nakládat s materiálem než naše současná generace. Smyslem naší publikace je pokročit v odpovědích na tyto otázky a přesvědčit, že historické materiály a techniky provedení je možné poznat a rekonstruovat díky studiu a experimentům do poměrně velkých detailů.

Závěrečné shrnutí začneme konstatováním: dokonalá kopie neexistuje. Kopie se vždy bude od originálu lišit. Pokud se tedy někdo pokouší o kopii s využitím původních materiálů a technologií, dostane se zároveň do situace, že se bude muset zabývat mj. mírou shody, které má být dosaženo. Požadovaná míra přesnosti může být dána i schopností rozlišit kopii a originál. U stavebních prvků též často uvažujeme o tom, jak budou stárnout. Právě v takových případech je důležité použít vhodné materiály a techniky, které zaručí, že ani při degradaci povrchu nebude prvek esteticky vyčnívat. Tradiční materiály mají tu výhodu, že jejich stárnutí je spojeno s elegancí a patinou, kterou lidské oko u historických památek očekává. Smyslem výroby kopie může být i cílené poznání historické techniky právě prostřednictvím výrobního postupu.

Publikace dokládá, jak je důležité pečlivé studium a mezioborová spolupráce, jen díky nim je možné kopii velmi blízko přiblížit originálu. U renesančního sgrafita i barokního štku se podařilo analyticky určit původní složení, definovat vlastnosti surovin použitých v originálech a nalézt jejich současně dostupné ekvivalenty. Povedlo se vyrobit pojiva a zpracovat suroviny způsobem odpovídajícím obecně používaným historickým technologiím a rekonstruovat zásadní konstrukční principy a výrobní postupy původních technik. Během všech těchto kroků jsme identifikovali zásadní faktory, které byly určující pro výrobu kopie, a zároveň narazili i na rozličná omezení plynoucí z prostého faktu rozdílnosti tehdejších a dnešních způsobů, zvyklostí a možností. Na základě provedených výzkumů jsme došli k závěru, že v případě vápenných technologií je kopii originálu vhodné určit materiálovými

vlastnostmi, technologickými postupy a výtvarnými nároky. Výsledný efekt by neměl být hodnocen pouze esteticky, jelikož materiálové a technologické provedení nelze oddělit.

Základem poznání historických malt je charakterizace jejich jednotlivých složek. Pro kopii malty jsou důležité druh pojiva a míra jeho hydraulicity, tedy vlastnosti, které jsou v prvé řadě dány složením a charakterem původních surovin. Důležitou součástí analýz je rozlišení pojivových kusů. Nalezení částečně vypáleného vápence, nedopalu, má zásadní význam pro určení původu suroviny; pojivové kusy jsou jedinečným dokladem složení vápenné suroviny, ale i procesů výpalu a zpracování vápna. Neméně důležitou složkou malty je plnivo. V uváděných případech se vhodné suroviny vybíraly z místních zdrojů v blízkosti staveb. Z kritérií určujících kvalitu písku je kromě distribuce velikosti zrn a míry zahlinění či přítomnosti jílu vhodné zmínit i tvar a opracování zrn. Použití ostrohranného písku vyžaduje vyšší poměr pojiva a výrazně ovlivňuje zpracovatelnost malty. Dalším důležitým výstupem analýz historických malt je stanovení poměru jejich složek. V našich podmínkách je typické použití křemičitého písku, který neobsahuje karbonáty, a tudíž je možné tento poměr stanovit rozpuštěním v kyselině. Zkreslujícím faktorem při určování poměrů je nehomogenita pojiva a výskyt pojivových částic. Na druhou stranu, právě přítomnost pojivových částic nám umožňuje stanovit způsob jeho zpracování. Při výrobě kopie, kdy je možné následovat i výrobní a zpracovatelské technologie, zkreslení nenastává, jelikož použité procesy vedou i k podobnému podílu pojivových částic a charakteru pojiva.

Pro tvorbu technologické kopie je podstatné najít suroviny, které odpovídají původním. V tomto směru je zásadní komplikací změna využívání surovinových ložisek, která nastala s průmyslovou revolucí. Od konce 19. století mizí malé lokální provozy a menší ložiska jsou neekonomická. Naprostá většina v minulosti využívaných lomů dnes již není dostupná. Velká část z nich je zavezena, zastavěna a aplánována. Proto není vždy efektivní se snažit o nalezení konkrétního lomu. Pomůže spíše zohlednění regionálně-geologické příslušnosti vápence, určení sedimentárního nebo metamorfovaného původu, určení složení, míry předpokládané hydraulicity a dolomitizace. Obdobně i u písků byla zásadní místní příslušnost spojená se složením a technickými parametry. Při výběru surovin hrálo podstatnou roli

i praktické hledisko současné dostupnosti. V této souvislosti je nutné upozornit na důležitost zachování kvalitních historických surovinových ložisek, jelikož bez vhodných materiálů není možné kopii realizovat. Zасыпáním opuštěného lomu odpadem zabraňujeme budoucímu využití místních zdrojů.

Vlastní výpal vápna je možným řešením, jak získat pojivo ze suroviny, která se v minulosti využívala, ale na trhu dnes již neexistuje její adekvátní náhrada. Umění pálit vápno tradičním způsobem spočívá zejména ve znalosti, jaký bude výsledný produkt a jak jej lze optimálně zpracovat. Při zohlednění specifických podmínek daných pecí, surovinou a okolním prostředím je samotný výpal relativně jednoduchý proces. Je známo, že vlastnosti vápna se úzce odvíjejí i od způsobu výroby, jenž je tak dalším podstatným činitelem při výrobě technologické kopie. Tradiční výpal vápence dřevem poskytl měkce až středně pálené vápno a byl důležitým krokem k pochopení jeho kvality a vlastností. Díky replikaci celého procesu výroby bylo možné odzkoušet různé postupy hašení a přípravy malty. Vybrané vápence poskytly kvalitní vápno, což ověřily zejména praktické experimenty. Jemnost a vaznost pojiva, množství nehasitelného podílu, plasticita malty a také zabarvení vápna bylo možné kvalitativně vyhodnotit na základě použití pro danou aplikaci. Rozsah výzkumu nedovolil širší porovnání mezi různými materiály, ale soustředil se na optimalizaci postupů zpracování ve vztahu k následnému použití pro konkrétní aplikace.

Experimentální přístup se ukázal jako nezbytný pro pochopení a ověření jednotlivých kroků aplikačních technik. Důležité vstupní údaje poskytly specifické vlastnosti získaných surovin, znalosti historicky používaných postupů, detailní poznání složení, konstrukce a vzhledu originálu. Doložily také řemeslnou znalost práce s vápenou maltou spojenou s tvůrčím přístupem a zkušenostmi z restaurování památek a uměleckých děl. Spojení technologických a řemeslných znalostí společně se studiem výtvarné stránky díla vedlo k návrhu maltových směsí a technologických postupů replikujících originální předlohy.

Za zdůraznění v závěru stojí i několik poznatků učiněných během experimentů, byť jejich prokázání nebylo přímo cílem realizované práce, a tudíž není vždy podloženo dostatečným počtem vzorků nebo cíleným vědeckým postupem.

*Vápenná pojiva z Pražského hradu byla přirozeně hydraulická i vzdušná. Ve sledovaných konstrukcích se používala směs vápen z více zdrojů. Odlišnou provenienci prokázalo složení pojiva a zejména charakter a skladbu vyskytujících se pojivových částic. U románské hradební zdi se dokonce dochovaly částečně vypálené kusy obsahující nevypálená jádra. Složením i petrografickou strukturou nejvíce odpovídaly zlíčovským a dvorecko-prokopským vápencům.*

*Složení vápen ze vzorků sgrafita a štuků je specifické s ohledem na výskyt okolních surovin, kterými jsou výchozy krystalických vápenců s různým stupněm dolomitizace a často i různým stupněm znečištění. Pro studované štuky a sgrafito však byly použity suroviny s nízkým obsahem nekarbonátových příměsí a minimálním obsahem hořčíku, které poskytovaly velmi čisté vzdušné vápno.*

*Na základě přítomnosti anhydritových částic a jejich pseudomorfóz v sádro-vápeném pojivu bylo možné odhadnout teplotu výpalu, a tudíž i návazné procesy výroby a zpracování sádry. Sádra se páčila při teplotách nad 350 °C, tj. na vysokou teplotu.*

*Při zkoumání původu sádry bylo zapotřebí rozhodnout mezi dvěma nejbližšími zdroji. Pomocí izotopického složení se podařilo jako zdroj sádrovce vyloučit Opavsko, ukázalo se, že surovina mohla pocházet ze Severních vápencových Alp z lokalit jihozápadně od Vídně.*

*Vápno i sádru je možné malosériově vyrobit způsobem napodobujícím podmínky historického výpalu. V základních parametrech je kvalita získaných pojiv zcela vyhovující. Jednorázový výpal vápna dřevem poskytl měkce až středně pálené vápno, které se ochotně hasilo. Zkušenost se zpracováním nehasěného vápna na pojivo umožnila i zpětné zhodnocení kvality surovin a procesu výpalu. Tradiční procesy zpracování navazují na druh a kvalitu vápna po výpalu a mohou být zvoleny i s ohledem na jeho použití. Zároveň je možné si při těchto procesech utvořit názor na kvalitu vyrobeného pojiva. Například hašení v nadbytku vody na vápennou kaši je proces, který obecně umožňuje získat velmi jemné vápenné částice. Jemnost těchto částic ale není pro všechny typy vápenců stejná a jejich velikost je ovlivněna i způsobem výpalu. Při hašení je tak vidět, jaké množství zůstává v hasnici a na síť jako nehasitelný nebo ne zcela dokonale vypálený podíl.*

*U suroviny je vždy nutné na základě jejich složení předem posoudit, zda jsou k danému účelu vhodné. Pokud se nedávno aktivně těžily, je většinou možné získat analýzy a k dispozici bude i obecná geologická znalost místního ložiska. V opačném případě není snadné odhadnout variabilitu vyskytujících se surovin, která je u přírodních materiálů často poměrně značná.*

*Experimentálně jsme ověřili, že výpal sádry na nízkou teplotu vařením v kotli je snadno kontrolovatelný proces, kterým lze vyrobit hemihydrát síranu vápenatého s nízkým obsahem anhydritu. Způsob použití takto získané sádry je známý a zavedený, jelikož běžně dostupná sádra na bázi  $\beta$ -hemihydrátu vyrobená výpalem z přírodního sádrovce má velmi podobné vlastnosti. Oproti tomu výpal sádrovce na vysokou teplotu vede k produkci pojiva obsahujícího více fází síranu vápenatého. Při tomto výpalu je možné zacílit na určité složky a tím určit i chování pojiva. Vhodné proporční složení ale nebylo možné z analýz historického materiálu stanovit a historické způsoby zpracování sádry pálené na vysokou teplotu, které*



by byly relevantní pro naše podmínky, nejsou známy. Optimální průběh výpalu na vysokou teplotu proto nebylo možné určit, a pokud by měl být využit, je nutné tento proces poznat hlouběji. Je ale možné se inspirovat v Německu, kde se sádra na vysokou teplotu pálí.<sup>1</sup>

Praktické zkoušky potvrdily vznik pojivových částic různého charakteru jako důsledek výroby a zpracování vápna na maltu. Studium těchto částic nám umožnilo zpětně odhadnout způsob hašení vápna a přípravy malty. Určujícími parametry jsou zaoblenost, popř. ostrohranost pojivových kusů, jejich popraskání a homogenita, zachování struktury původní suroviny a složení. Ačkoli odvození historického zpracování není možné stanovit se stoprocentní jistotou, analýza poskytuje k použitým postupům určité vodítko.

Například hašení vápna na prach kropením nebo ponořením vytváří typické pojivové kusy menších průměrů. Jejich přítomnost byla potvrzena v historických vrstvách barevného intonaca slavonického sgrafita. Zvolený postup hašení vápna na prach zabezpečil přítomnost světlých pojivových částic o podobné četnosti a velikosti jako v původní omítce. Podstatnou složkou se ukázalo i použití místního písku, který byl ostrohranný a zároveň obsahoval určité množství jílových částic, jež ovlivnily jemnost kresby a odpovídající barevnost.

Na vzorku lité podlahy z „horké“ malty se podařilo ověřit, že je možné vyrobit poměrně silnou maltovou vrstvu bohatou na pojivo, která vyhovuje požadavkům na podlahovou konstrukci, zejména s ohledem na mechanickou odolnost. Horká malta připravená z nehašeného kusového vápna se též osvědčila při stavbě repliky části románského opukového zdiva. V důsledku zvýšené teploty a dobíhající reakce se malta rychleji zpevnila a díky tomu došlo ke zpevnění i celé zděné konstrukce. Při správném naředění na konzistenci injektážní směsi bylo možné zalít maltou předem osazené kameny tak, aby vyplnila veškeré mezery. Důležité bylo použít ji ve „správné“ fázi hašení. Použití horké malty během bouřlivě probíhající reakce vápna s vodou se ukázalo jako velmi komplikované, jelikož nebylo možné regulovat konzistenci malty. Příprava malty z nehašeného vápna se v minulosti zdála výhodná zejména s ohledem na jednoduchost zpracování. U zděných konstrukcí ji šlo použít velmi brzy po namíchání anebo ji nechat na hromadě odležet. Alternativa, tj. poměrně náročné skladování nehašeného vápna v suchých podmínkách nebo vyhašení a skladování ve vápenných jámách se zdá výrazně komplikovanější, speciálně pro rychle postupující stavby větších rozměrů.

Z pohledu technologie výroby a využití vápenného pojiva je jednoznačně důležité získat optimální konzistenci, která zabezpečí správné použití malty, což přirozeně souvisí s procesy přípravy pojiva. Pro dobré zhuštění maltových směsí podlahových konstrukcí bylo potřebné připravit malty s velmi nízkým vodním součinitelem. Toho

lze dosáhnout pouze mísením relativně suchých směsí připravených z vápna hašeného na prach. Pro jeho výrobu se osvědčilo hašení vápna na prach ponořením do vody.

Způsob zpracování vápna na pojivo byl zásadní pro všechny studované případy, ačkoli nebylo vždy možné přesně stanovit původně použitý postup. V případě vápenné vrstvy štukových tvarů dodal vysoký podíl vápna maltě potřebnou plasticitu a tvárnost. Pro tyto účely bylo vápno použito ve formě hydrátu i vápenné kaše s obdobným výsledkem. Využití práškového hydrátu bylo výhodné při přípravě malt s nízkým vodním součinitelem. Ve vápenné kaši je vždy kolem 50 hm. % vody, kterou by v takovýchto případech bylo nutné redukovat.

Štukové ovoce nebylo až na výjimky kotveno armaturami, při lepení k podkladu stačila sádro-vápenná malta. Na základě materiálové repliky a praktických zkoušek jsme našli způsob, jak v reálném čase lepit i poměrně těžké tvary přímo na klenbu. Způsob je založen na složení lepicí směsi, její konzistenci a kapilárním sání podkladu i lepeného tvaru. Tato metoda se osvědčila při lepení nových i starých prvků.

U sádro-vápenných malt byl analyticky doložen přídavek klišu. Experimentálně odzkoušené dávkování posloužilo nejen ke zpomalení tuhnutí sádry, ale i jako příměs vápenného nátěru.

Publikace dokládá, jakým způsobem může poznání původních materiálů a technik přispět k restaurování a zachování historických stavebních a uměleckých památek. Původní technika je součástí uměleckého díla a může doplnit podstatné informace k historii a vývoji zkoumaného díla. Způsob práce určité dílny se může následně stát důležitým vodítkem při datování či připsání děl uměleckému či řemeslnému okruhu. Poznání původní techniky může změnit uměleckohistorický pohled na umělecká díla minulosti, jako v případě nově popsané techniky stínování sgrafit. Znovuobjevení zapomenutých technik je tak podstatnou součástí kvalitní a smysluplné péče o památky.

1 ZIEGELEI HUNDISBURG, <https://www.ziegelei-hundisburg.de>

# O autorech



**RNDr. Petr Kozlovce, Ph.D.**

Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
AV ČR, Prosecká 76, 190 00 Praha 9

→ kozlovcev@itam.cas.cz

Geolog v oboru aplikovaná a ložisková geologie. Zabývá se výzkumem surovin a materiálů zahrnujících mineralogii, petrografii a analýzy historických konstrukcí se zaměřením na problematiku stavebních poživ. Podílí se na výzkumu a vývoji poznatků ve využívání tradičních vápenných technologií.



**Mgr. Jana Maříková-Kubková, Ph.D.**

Archeologický ústav AV ČR,  
Praha, Letenská 4, 118 01 Praha 1

→ marikova@arup.cas.cz

Archeoložka a historička umění, zabývá se pozdně antickou a raně středověkou architekturou a jejich stavebními technologiemi, dlouhodobě vede archeologický výzkum Pražského hradu.



**Ing. Olga Skružná**

Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
AV ČR, Prosecká 76, 190 00 Praha 9

→ skruzna@itam.cas.cz

Chemická inženýrka v oboru technologie konzervování a restaurování objektů kulturního dědictví. Věnuje se analýze historických stavebních materiálů, určování provenience surovin a experimentální replikaci materiálů a technologií podle historických předloh.



**Ing. Jan Válek, Ph.D.**

Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
AV ČR, Prosecká 76, 190 00 Praha 9

→ valek@itam.cas.cz

Stavební inženýr v oboru architektura a stavitelství. Zabývá se výzkumem stavebních materiálů a konstrukcí. Specializuje se na historické stavby, tradiční vápenné technologie a moderní pojivové systémy. Rozvíjí využití analytických poznatků a technologických experimentů v archeologii a památkové praxi.



**MgA. et Mgr. Jana Waisserová**

Univerzita Palackého, Filozofická fakulta,  
Katedra dějin umění, Univerzitní 3, 771 47  
Olomouc

→ jana@waisserová.cz

Restaurátorka a historička umění. V rámci své vědecké činnosti i v restaurátorské praxi se zabývá zejména obdobím renesance a historickými technikami provedenými ve vápně.



**MgA. Zuzana Wichterlová**

Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování,  
Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl

→ zwichterlova@email.cz

Restaurátorka nástěnných maleb a sgrafita. Věnuje se tématům na rozhraní teorie a praxe – např. techniky sgrafita, odsolování a injektáž.



## Podle starého vzoru: rekonstrukce malt, sgrafit a štuků

J. Válek, O. Skružná, J. Waisserová, Z. Wichterlová, J. Maříková-Kubková, P. Kozlovce  
Praha 2021  
První vydání  
172 stran

ISBN 978-80-86246-95-6 (brožováno)  
ISBN 978-80-86246-98-7 (online)  
DOI 10.21495/98-7

Lektorské recenze  
prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc. (kapitola 2)  
Ing. arch. Petr Chotěbor, CSc. (kapitoly 3 a 4)  
Dott. Jana Michalčáková, Ph.D. et Ph.D. (kapitoly 5 a 6)

Copyright  
Foto: Martin Frouz, Jan Gloc, autoři bez rozlišení  
Kresby: Miloslava Housková, autoři bez rozlišení  
Převzaté ilustrace jsou publikovány s povolením majitele, který je uveden v popisku.

Jazykové korektury: Irena Vítková, Radka Svobodová  
Grafická úprava a sazba: Petr Donát  
Fotografie a ilustrace: autorský kolektiv, není-li uvedeno v popisku jinak.  
Tisk: Tiskárna Daniel

Publikace vznikla jako výsledek projektu Vápenné materiály pro restaurování a konzervování autentických prvků historických staveb (DG16P02H012), který byl podpořen programem NAKI II Ministerstva kultury v letech 2016–2020.







Publikace dokládá, jakým způsobem může poznání původních materiálů a technik přispět k restaurování a zachování stavebních a uměleckých památek. Původní technika je součástí uměleckého díla a může doplnit podstatné informace k historii a vývoji zkoumaného díla. Způsob práce určité dílny se může následně stát důležitým vodítkem při datování či připsání děl uměleckému či řemeslnému okruhu. Poznání původní techniky může změnit uměleckohistorický pohled na umělecká díla minulosti, jako v případě nově popsané techniky stínování sgrafit. Znovuobjevení zapomenutých technik je tak podstatnou součástí kvalitní a smysluplné péče o památky.

