

# Historické materiály a technologie

## Replikace výroby vápna

Jan Válek

Po staletí bylo vápno zásadním materiálem, který ovlivňoval konstrukci staveb, jejich funkci a vzhled. Každá doba přirozeně přispěla něčím novým a i vápenné technologie prodělávaly svůj vývoj současně se společností. Nyní má vápno ve stavebním průmyslu pouze marginální úlohu. Na druhou stranu náš po staletí kultivovaný životní prostor, naše historická města a architektonické památky jsou stále ještě živoucím dokladem znalostí, řemeslné dovednosti a estetického cítění našich předků. Snahou výzkumu je využití současných znalostí pro ochranu hodnot, které jsou spojeny s použitím vápna jako historického stavebního materiálu, to jest k ochraně a zachování věrohodnosti a autentičnosti našeho kulturního dědictví. Pro renesanci vápenných technologií bylo třeba: i) identifikovat, dokumentovat a prezentovat zaniklé surovinové zdroje a specifické technologie zpracování vápenného pojiva ve spojení s jejich využitím v historických stavbách, ii) vyvinout a realizovat vápennou pec a zajistit její následné využití pro malovýrobu vápenných pojiv a jejich zpracování tradičními technologiemi, iii) vyvinout, navrhnout a ověřit výrobu a zpracování vápenných pojiv používaných v minulosti s ohledem na možnosti jejich současného použití.

### Mapy surovinových zdrojů a technologií pro výrobu vápna

Jako vhodný prostředek pro komplexní dokumentaci a prostorové zobrazení historických a současných surovinových zdrojů a technologií pro výrobu vápenných pojiv byla vytvořena *Geodatabáze Calcarius*<sup>1</sup> pro území České republiky. Databáze je základem geografického informačního systému, který umožňuje práci s vloženými daty včetně řešení jejich prostorových vazeb a vztahů. Tento informační systém v současné době obsahuje přes 800 záznamů o surovinových ložiscích, pro které, kromě lokalizace, poskytuje i historické údaje a orientační časové zařazení. Dále nabízí podrobnější geologické informace o vápencích z různých lomů včetně jejich chemického složení; obsahuje údaje o 409 vápenných pecích a dalších

<sup>1</sup> GIS geodatabáze Calcarius a další mapové aplikace (Specializované mapy s odborným obsahem) jsou přístupné v různých prezentačních prostředcích a službách na internetu. Jednotný přístup je možný na stránkách <http://www.calcarius.cz/gis.php>.

souvisejících technologiích; a uvádí místa nejstaršího využití vápenných technologií. Geografický informační systém navíc umožňuje hledání vztahů k dnešní i k historické krajině, zkoumání polohy prvků vůči sobě navzájem a vytváření nových dat pomocí prostorových analýz.

Prezentačním výstupem, který dovoluje práci s daty širokému spektru uživatelů (architektům, projektantům, technologům, stavebním historikům, odborným památkovým pracovníkům ad.), jsou tři základní webové aplikace, které byly za tímto účelem speciálně vytvořeny ve službě ArcGIS Online:

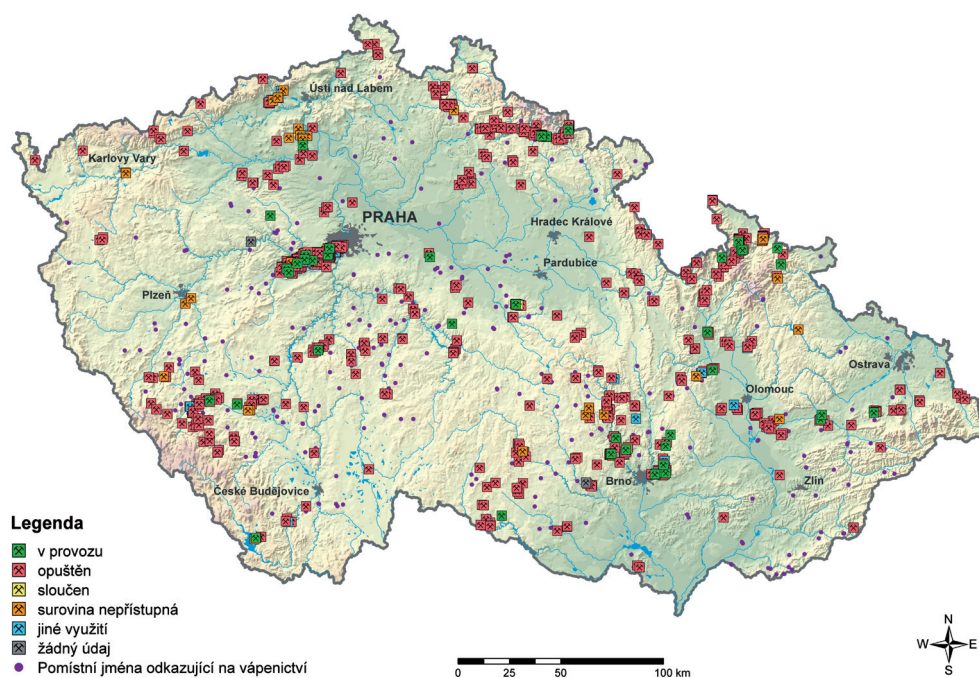
- *mapa historických a současných zdrojů surovin pro vápenné technologie,*
- *mapa karbonátových surovin pro výrobu vápna,*
- *mapa vápenných technologií.*

Navíc je zde k dispozici i digitalizovaná verze dat o karbonátových surovinách ze Soupisu lomu ČSR publikovaného mezi léty 1932 až 1961 celkem v 55 svazcích (Vachtl et al. 1932–1961).

Specializovaná *Mapa historických a současných zdrojů surovin pro vápenné technologie* je vytvořena syntézou dostupných informací o lomech a místech těžby vápence pro výrobu vápna a související technologie (**obr. 129**). Vybrané popisné informace jsou přiřazeny k polohově definovanému bodu, který lokalizuje místo surovinového zdroje. Mapa zobrazuje výskyt dokumentovaných lomů a surovinových zdrojů zhruba od 12. století po současnost. Hlavním atributem mapy je časové zařazení horninových ložisek z hlediska založení jejich těžby, doby provozu, ukončení těžby a opuštění. Tyto informace jsou získány z archivních zdrojů, literatury a ze soupisových a z mapovacích geologických prací, které dané surovinové zdroje popisují. Přesnost a kompletnost mapy je závislá na kvalitě a na přesnosti dochovaných informací a obecně platí, že klesá, čím více je vzdálena od 20. století.

Specializovaná *Mapa karbonátových surovin pro výrobu vápna* umožňuje detailnější zobrazení lokalit na základě chemického složení, stáří a litologického popisu kamene. Hlavním atributem mapy je tedy rozlišení lomů a surovinových zdrojů dle geologického označení vápence a jeho složení. Chemické složení je uváděno jako průměr z analýz uváděných v publikovaných popř. archivovaných průzkumných zprávách. Ve specifických případech je chemické složení doplněno na základě vlastního odběru vzorků a individuálních analýz. Geologická skladba je popisována a doplněna na základě regionálních znalostí. Mapa umožňuje klasifikovat suroviny pomocí cementačního indexu.

Specializovaná *Mapa vápenných technologií* umožňuje zobrazit výskyt historických pecí, mís, karbů, milířů a dalších vápenických zařízení počínaje archeologickými nálezy ze starověku a raného středověku a konče průmyslovými a technickými památkami 20. století. Kromě samotného popisu technologie a jejího prostorového umístění je hlavní předností i orientační časové zařazení. Pro určení místa a popis technologie byly využity informace z literatury a z písemných pramenů (Ebel 2014), z Archeologické databáze Čech (Kuna a Křivánková 2006), z historických mapových děl a informace z regionálních muzeí nebo z webových stránek zaměřených na historické či technické památky a z vlastního zjištění v terénu. Archeologické nálezy z oblasti Moravy byly získány z publikovaných písemných pramenů. Přesnost a kompletnost mapy je dána dostupností údajů.



**OBRÁZEK 129:** Ukázka jednoho z možných mapových výstupů z databáze Calcarius. Na mapě je zobrazen současný stav existujících a zaniklých lomů karbonátových surovin (stav geodatabáze k 1. 8. 2015)

Mapové informace jsou spravovány databázově v geografickém informačním systému od firmy ESRI, jejímž výhradním dodavatelem v ČR je firma ArcData. Konkrétně je využíván software ArcGIS Desktop úroveň Standard s technologií ArcSDE, Microsoft SQL Server 2008 a dále ArcGIS Server Workgroup Standard pro možnost publikování mapových služeb na web. Samotná databáze je vytvořena v relačním databázovém systému Microsoft SQL Server 2008 R2, s využitím technologie ArcSDE, která umožňuje pracovat s SQL databází v prostředí ArcGIS, konkrétně v ArcCatalogu.

## Pálení vápna v experimentální peci

Historicky byla pro výrobu vápna využívána místní ložiska vápence. Kvalita a vhodnost surovin tak byla dána geologickým výskytem a jeho rozmanitostí. Nepochybně byly upřednostňovány zdroje čistého vápence, které po výpalu poskytovaly bílé vzdušné vápno. Na druhou stranu z literatury i z analýz historických pojiv malt a omítek je známo, že byly využívány i méně čisté suroviny, ze kterých byla vyráběna hydraulická vápna. Pro výzkum těchto dnes již zapomenutých surovin byla navržena vápenná pec, která umožňuje malosériovou výrobu vápen tradičními technologiemi<sup>1</sup>. Dalším výzkumným důvodem pro návrh a provoz vápenné pece bylo popsání vlivu tradičního způsobu výpalu na kvalitu vápna (Válek et al. 2012 a 2013a).

<sup>1</sup> Vyvinutý prototyp vápenné pece tvoří základ Experimentálního centra pro tradiční výrobu vápenných pojiv ÚTAM AV ČR, v. v. i., umístěného v Solvayových lomech u obce Bubovice.

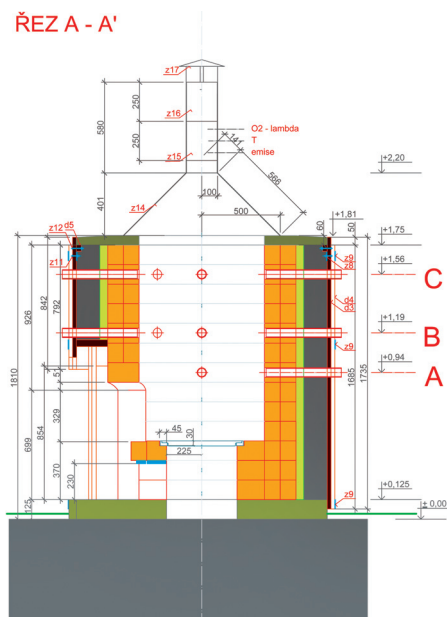
Při návrhu vápenné pece byla zohledněna následující základní kritéria:

- Pec musí umožňovat výpal vápence tak, aby celý proces byl srovnatelný s technologiemi používanými v době od cca 12. do pol. 19. století. Jako zásadní charakteristiky takového technologického procesu byly uváženy: použití dřeva jako paliva; způsob skládání kamene do pece; „ruční“ plnění, přikládání paliva a výběr vypáleného vápence. Na druhou stranu musí být pec i univerzální a tudíž umožňovat výpal, kdy je palivo smícháno s vápencovou vsázkou a hoří tzv. krátkým plamenem<sup>1</sup>.
- Kapacita pece musí být úměrná experimentálnímu provozu. Na druhou stranu musí být dostatečná k tomu, aby reprezentovala technologický proces i v případném větším měřítku. Jednou z mnoha předloh s ohledem na velikost byl provoz vápenných pecí ve Skýcově na Slovensku, které fungovaly na přelomu 19. a 20. stol.
- Návrh a konečné provedení musí být odladěno tak, aby pec byla „prodatelná“ jako produkt pro malovýrobu vápenných pojiv. Tedy zejména splňovat nároky na trvanlivost, jednoduchost obsluhy a bezpečnost provozu. S ohledem na univerzálnost byla pec navržena s možností volby paliva (dřevo, dřevěné uhlí) a s tím souvisejícím způsobem plnění.
- Pro vývojovou fázi bylo ještě přidáno kritérium „demontovatelnosti“ pece a variabilní možnosti monitorování procesu výpalu.

Vlastní konstrukce pece je uvedena na **obrázcích 130 a 131**. Pec tvoří malá cylindrická šachta o vnitřním průměru 0,8 m a výšce 1,3 m nad litinovým roštem. Vnitřní vyzdívka je z šamotových cihel zděných na hliněnou maltu. Šamotová konstrukce je obalena žáruvzdornou izolací o tl. 50 mm. Z vnější strany je pec stažena obručemi a dřevěným svisle kladeným prkenným pláštěm. Prostor mezi venkovním dřevěným pláštěm a izolací je vysypán vápencovou drtí frakce 0–4 mm. Primární přívod vzduchu zajišťuje otvor (20 × 20 cm), který nasává vzduch přes popeliště, a skrz rošt je vzduch přiveden do pece. Sekundární přívod vzduchu (využívaný při použití dřeva jako paliva) je umístěn ve dvířkách topeniště. Hlavu zdíva a pece zakončuje litá 6 cm tlustá betonová deska z románského cementu. Deska byla po zatvrdnutí rozřezána na segmenty, které zajišťují dilataci při roztažnosti ohřevem. Segmenty je též možné vyjmout např. pro inspekci zásypu. Pro monitorování spalin a případnou regulaci tahu je na hlavu pece možno nasadit kuželový nástavec s komínem.

Pec je navržena na maximální vsázku 1 t vápence. Způsob uložení vápence a velikost jednotlivých kamenů závisí na druhu zvoleného paliva a tím i na průběhu výpalu. Při použití dřeva pro výpal je vápence vyklenut nad prostorem topeniště a poté vyskládán až po horní okraj pece. Důležitou součástí (při tomto způsobu výpalu) je předvídaní teplotních rozdílů v peci. V tradičních vápenných pecích totiž není možné rovnoměrné zahřátí celé vsázky nad 900 °C najednou. V peci vznikne horké jádro a tahové průduchy, kde je dosahováno nejvyšších teplot. Cílem každého výpalu je úplná kalcinace veškeré vápencové vsázky. V důsledku toho se vsázka skládá do pece v různých frakcích, aby procento vypáleného vápna bylo co nejvyšší. Na klenbu se používají spíše plošší, neobroušené kameny skládané tak, aby nebránily průchodu kouře a plamene skrz klenbu. Velikost nejmenšího rozměru klenebních kamenů je od 80 do 150 mm. Do pece se dále rovnají kameny frakce 80–125 mm. Chladnější místa jsou vyplněna frakcí kolem 40 mm.

<sup>1</sup> Více o tradičních technologiích výpalu je psáno jinde (např. Válek et al. 2014b a 2015).



**OBRÁZEK 130:** Návrh vápenné pece pro experimentální malovýrobu vápenných pojiv. Řez pece (návrh J. Válek)



**OBRÁZEK 131:** První výpal vápna v experimentální vápenné pece

Při výpalu, kdy je vápenc smíchán s palivem, je příkladací otvor vyplněn šamotovou vyzdívkou. Zapálení pece se provádí skrz rošt. Poměr paliva ku vápenci je závislý na druhu použitého paliva a jeho výhřevnosti (jako palivo se používá uhlí, dřevěné uhlí, rašelinové brikety, dřevoštěpkové brikety a další). Obdobně tomu může být přizpůsobena velikost kamene. Obvykle je využívána frakce vápence 60–80 mm v hmotnostním poměru vápence ku palivu 4:1. Vyšší spotřeba paliva oproti kontinuálnímu provozu je dána periodickým provozem pece.

Výpal při použití dřeva jako paliva je rozdělen na několik fází: sušení, ohřev, výpal a chladnutí. Fáze sušení závisí od vlhkosti kamene. V této počáteční fázi je intenzita topení minimální. Doba sušení a přechod do fáze výpalu je určována odhadem. Fáze ohřevu je brána do doby, než je ve středu pece v místě cca 20 cm pod vrchem konstrukce pece dosaženo 900 °C. To v běžných podmínkách, při vsázce 1 t a příkládání 16 kg dřeva za hodinu, trvá 17 až 20 hodin. Trvání následující fáze výpalu je závislé na velikosti kamene a dosažené teploty. Obecně je tento vztah mezi výší dosažené teploty, velikostí kamene a dobou výpalu znám z literatury (Helan a Klement 1960). V případě tradičního výpalu dřevem a výše zmiňovaném velikostním rozložení kamene lze doporučit dobu 15 hodin. Po ukončení výpalu pec chladne přibližně 24 hodin. Následně je kusové vápno z pece vybráno k dalšímu zpracování.

Pro popsání rozložení teplot v peci je během celého procesu výpalu monitorována teplota ve třech horizontálních profilech a třech osách pomocí termočlánků typu S. Většina teplot je sledována po obvodu, ale ve třech pozicích je možno sledovat i teplotní profil od středu k obvodu. Dále je monitorován obsah kyslíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého ve spalinách, rychlost proudění vzduchu na primárním přívodu vzduchu a tlak okolního prostředí.





**OBRAZEK 132:** *Historická ilustrace z 15. století zobrazující přípravu malty (Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen, Amb. 317, fol. 36r)*

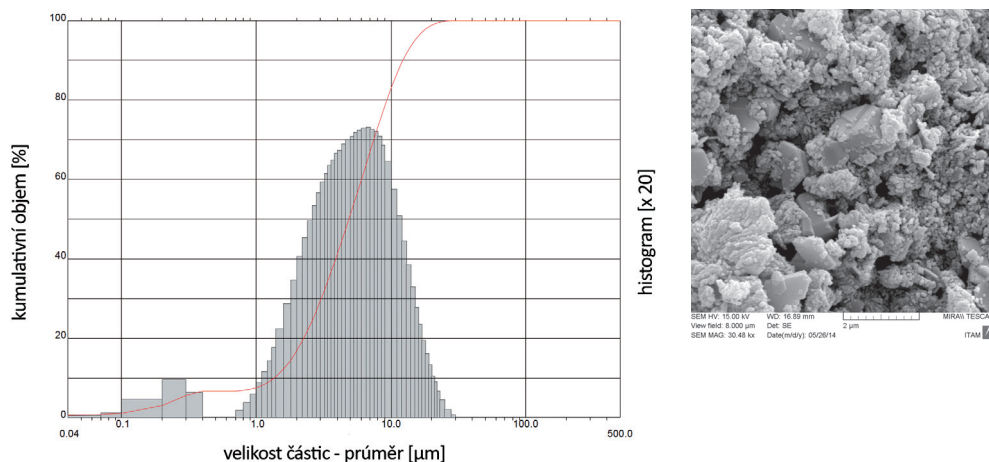
Poměrně rozsáhlé monitorování bylo zavedeno za účelem popsání tradičního výpalu a následné optimalizace celého procesu s využitím známých tradičních metod (zakrývání vrchu pece mazaninou, způsob skládání kamene, vkládání kůlů).

Během čtyřletého provozu bylo provedeno celkem 19 experimentálních výpalů vápna. Vlastní výroba vápna poskytla unikátní materiál pro detailní materiálový výzkum vápenných pojiv a umožnila výzkum tradičních technologií výroby a zpracování vápna. Výpal vápna dřevem a tradiční postupy do jisté míry předurčují podmínky výpalu a tím i kvalitu vápna, které je jako celek měkce pálené. Moderní materiálové analýzy umožňují srovnání kvality vyrobených vápen na základě reaktivity, měrné plochy povrchu, pórovitosti, popř. i měrné hmotnosti. Výzkum ukázal, že v tradiční peci lze výpalem dřevem vyrobit velmi kvalitní vápno (Válek et al. 2013b). Na druhou stranu nelze využívat tradiční způsob výpalu bez dalších návazných znalostí, které byly v minulosti využívány k dosažení požadované kvality. Studium tradičních technologií výroby a zpracování vápna tyto technologie popisuje a umožňuje tak jejich zhodnocení pro využití v památkové praxi<sup>1</sup>. Návazný výzkum vycházel z ověřování technologických postupů známých ze současné a historické odborné literatury včetně ikonografie (**obr. 132**).

### Příprava tradiční vápenné kaše

Kvalitní vápenná kaše má zásadní význam pro restaurování historických uměleckých a řemeslných děl, jako jsou nástěnné malby, sgrafitové a štukové výzdoby, nátěry a další speciální aplikace. Její předností je soubor vlastností, který je dán kvalitou výchozí suroviny, způsobem výpalu, hašením v nadbytku vody a uležením. Využití vápenné kaše je spojeno

<sup>1</sup> Odborná metodika „Návrh a výroba specializovaných vápenných pojiv pro obnovu památek s využitím historických technologií“, autorský kolektiv, 2015, <http://www.calcarius.cz>.



**OBRAZEK 133:** Velikostní distribuce (vlevo) a morfologie (vpravo) částic  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  vápenné kaše z vysokoprocenního vápence po necelých dvou letech zrání ve vápenné jámě



**OBRAZEK 134:** Dva roky odležená vápenná kaše má pevnou konzistenci a drží tvar po vyjmutí z jámy

s ověřenými tradičními postupy, které zajišťují její kvalitu. V rámci výzkumu byly definovány klíčové vlastnosti a technologické vlivy, které byly laboratorně ověřeny a které umožňují reprodukovat kvalitu tradičně vyráběného produktu. Unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastností tohoto nově vytvořeného vzorového produktu je právě napodobení historické předlohy.

### ***Vzorová výroba a zpracování vápenné kaše***

Vápenná kaše je vyrobena z vysokoprocenních vápenců. Technologie výroby a zpracování odpovídá tradičnímu způsobu používanému před průmyslovým rozvojem v polovině 19. století.

Vápno je páleno malosériově v peci, která je periodická a která umožňuje výpal dřevem s odděleným ohništěm od vápencové vsázky. Teplota výpalu je v rozmezí od 850 do 1200 °C. Pro hašení a uležení je vybráno dobře vypálené vápno. Vápno se hasí v hasnici s nadbytkem vody. Vzniklé řídké hašené vápno má po uložení do vápenných jam velikost částic do 2 mm. Tyto větší částice se časem dále rozpadají nebo sedimentují ke dnu vápenné jámy. Uležením vznikne vápenná kaše. Minimální objemová hmotnost odležené vápenné kaše je 1400 kg/m<sup>3</sup>. Nároky na použití určují dobu uležení, která je optimálně v rozmezí 14 dnů až 3 let. Doba uležení má pozitivní vliv na velikost částic a plasticitu vápenné kaše (Mascolo et al. 2010; Matas et al. 2013). Velikost částic vzorku vápenné kaše z vysokoprocenního vápence po necelých dvou letech zrání je od 1 do 20 μm (**obr. 133**). Praktické posuzování kvality je založeno na plasticitě kaše (**obr. 134**) a její schopnosti pojit částice.

### Výroba přirozeně hydraulického vápenného pojiva

Přirozeně hydraulické vápenné pojivo je vhodné pro využití ve stavebnictví a zejména pro opravy historických objektů, jelikož bylo v minulosti rozšířeným pojivem. Experimentálně bylo přirozeně hydraulické vápno vyrobeno z dvorecko-prokopských vápenců, které byly využívány pro výrobu vápna v Praze již od středověku (Hošek a Muk 1989; Suchý 2014). Jeho unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastností je právě napodobení historické předlohy (obdobná výchozí surovina). Klíčové vlastnosti a kvalita vápenného pojiva byly laboratorně nově ověřeny i s ohledem na tradiční technologie výroby a zpracování.

### Vzorová výroba a zpracování přirozeně hydraulického vápna

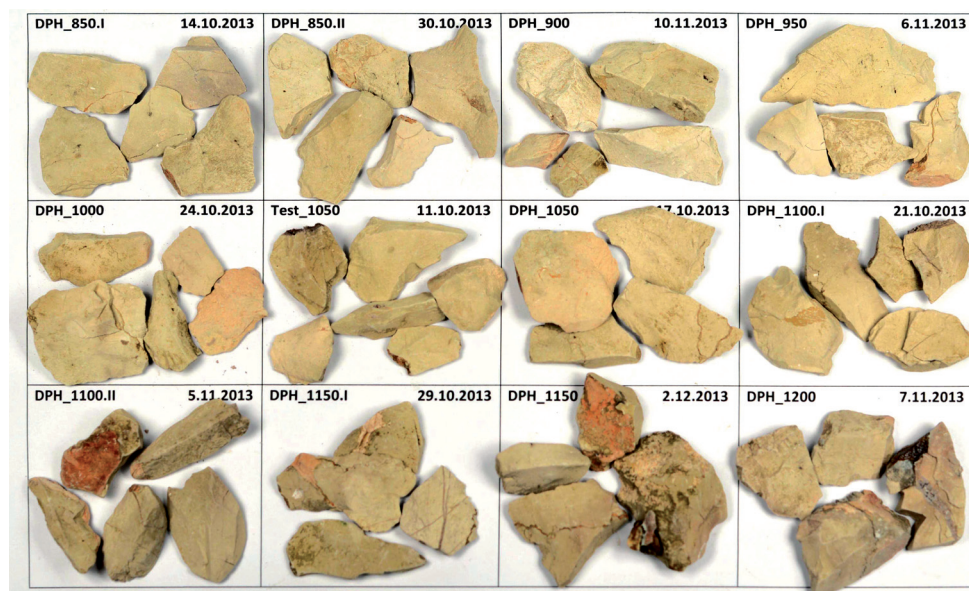
Přirozeně hydraulické vápno je vyrobeno z dvorecko-prokopských vápenců. Chemické složení typické suroviny je uvedeno v **tabulce 2**. Vápno je páleno malosériově v peci, která je periodická. Teplota výpalu vápna je v rozmezí od 850 do 1200 °C. Hydraulické vlastnosti jsou předurčeny přírodním složením suroviny a hlavní hydraulická složka β-C<sub>2</sub>S (belitu) je zastoupena od 15 % do 40 % (**tabulka 3**). Složení a množství hydraulických složek je ale též výrazně ovlivněno podmínkami výpalu (Válek et al. 2014a).

**TABULKA 2:** Chemické složení použitých surovin z lomu Hvíždalka v hm. %

Označení	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cementační index
DPH I	7,9	0,9	0,3	49,1	1,3	0,0	0,2	0,46 (slabě hydraulický)
DPH II	16,4	3,7	1,4	41,2	1,7	0,15	0,8	1,2 (silně hydraulický)

Technologie výroby a zpracování odpovídá tradičnímu způsobu používanému před průmyslovým rozvojem v polovině 19. století. Pálené kusové vápno je nadrceno v čelistovém drtiči na frakci 0–15 mm s ohledem na lepší zpracovatelnost a homogenizaci vypálené vsázky. Během vybírání z pece a drcení je zajištěno promíchání pojiva. Z jednoho výpalu v periodické peci tak lze obdržet pojivo s jednotnými průměrnými vlastnostmi. Přirozeně hydraulické vápno má svou charakteristickou barvu, která je dána jeho složením a teplotou výpalu (**obr. 135**). Drcené nehašené vápno lze použít přímo pro přípravu malty. Vápno se hasí s pískem během míchání nebo se po smíchání s mokřím pískem nechá krátkodobě uležet.





**OBRAZEK 135:** Srovnání barvy přirozeně hydraulického vápna po výpalu od 850 do 1200 °C. Velikostní frakce 10–15 mm

**TABULKA 3:** Mineralogické složení přirozeně hydraulického vápna (hm. %) vyrobeného z dvorecko-prokopského vápence (chemické složení suroviny uvádí **tab. 2**) páleného v laboratorní a experimentální peci

	DPH I				DPH II	
	laboratoř			exp. pec	laboratoř	exp. pec
Kalcinační teplota (°C)	1000	1050	1100	700–1200	1050	700–1200
křemen (%)	0,7	0,8	0,3	2,0	0,7	-
vápno (%)	51,5	50,9	53,4	34,4	34,8	14,9
spurrít (%)	-	-	-	-	-	8,3
periklas (%)	1,2	1,1	1,3	0,6	1,2	0,9
kalcit (%)	-	-	-	13,5	-	15,6
$\beta$ -C <sub>2</sub> S (belit) (%)	37,7	42,9	40,3	18,2	36,2	15,1
brownmillerit (%)	-	-	-	0,4	2,0	0,6
C <sub>3</sub> A (%)	-	0,6	0,7	-	0,5	0,4
C <sub>4</sub> AF (%)	1,4	2,0	1,7	-	-	-
wollastonit (%)	0,8	0,7	1,4	-	1,7	-
ake-gehl (%)	0,9	0,6	0,9	-	3,1	2,1
amorfní podíl (%)	5,8	0,4	-	30,9	19,7	36



**OBRÁZEK 136:** Příprava horké malty, kdy vrstvy vápna s pískem jsou ponechány několik desítek dní ve venkovním prostředí. Vápno se postupně vyhasí (Foto M. Hřeka)

## Technologie přípravy horké vápenné malty

Vápenná malta připravená hašením vápna přímo ve směsi s pískem a vodou se někdy nazývá horká malta. Přesný historický postup přípravy a aplikace se nedochoval, ale existují nepřímé důkazy o jeho využívání, zejména ve stavbách s masivní zděnou konstrukcí. Během výzkumu tradičních vápenných technologií byly upřesněny zásady přípravy horké malty.

### *Vzorová výroba a příprava horké malty*

Horká vápenná malta je připravena postupem, kdy se nehašené vápenné pojivo smíchá s vlhkým či mokřím pískem. K vyhašení vápna může dojít v různých časových intervalech, podle způsobu zpracování, podstatné je, že k němu dochází v momentě, kdy je vápno ve směsi s pískem. Horká vápenná malta obsahuje v různé míře částice o velikosti až několik centimetrů, které pocházejí ze suroviny, ze které bylo vápenné pojivo vyrobeno, ale které nesplňují běžnou charakteristiku vápenného pojiva, tj. nerozpadly se během hašení na jemné částice velikosti  $\mu\text{m}$  až desítek  $\mu\text{m}$  a které běžně nemají schopnost pojit ostatní pevné látky. V dokumentu se označují jako „technologické částice“.

Základním požadavkem pro výrobu horké malty je rozpad kusového vápna na jemné pojivové částice během procesu hašení, tedy vlivem reakce  $\text{CaO}$  s vodou. Vzdušná vápna by měla být měkce pálená a musí obsahovat dostatek volného vápna, což vyplývá i z normových požadavků na kvalitu (viz ČSN 459-1). Např. kategorie CL70 musí obsahovat nad 55 % hm. volného vápna. U přirozeně hydraulických vápen je situace složitější. Pro vyhašení hydraulického vápna se uvádí (Eckel 1928) jako minimální podíl okolo 10–15 % (hm.) aktivního



**OBRÁZEK 137:** Ukázka čerstvě připravené horké malty



**OBRÁZEK 138:** Čerstvě nahozená horká malta jako zkušební omítkový panel na hřbitovní zdi v Krchlebech u Čáslavi

vápna (tj. měkce páleného, rychle reaktivního CaO). Tuto hranici lze považovat za opravdu minimální a schopnost rozpadu vápna na pojivové částice je třeba ověřit zkouškou reaktivity.

Vápno dle svého charakteru obsahuje *technologické částice*, které jsou nedílnou součástí horkých malt. Jejich odstranění není v plné míře možné a v zásadě ani žádoucí. Důvodem pro jejich částečné odstranění může být jejich případná nadměrná velikost s ohledem na zamýšlenou aplikaci.

Technologické částice v horkých maltách jsou více druhů:

- a) Neúplně (nedostatečně) vypálený vápenc, kde část má stále vlastnosti a strukturu horniny.
- b) Částice, které se nerozpadly hašením kompletně na prachové částice, ale jsou v zásadě svým složením a strukturou podobné pojivu. Řádově mají velikost od 1 mm až po 1 cm.
- c) Částice, které jsou reakčními produkty vzniklými při výpalu suroviny a které se nerozpadají při hašení, popř. je nelze tradičními metodami výroby vápna a přípravy malty jednoznačně využít jako pojivo. Tyto částice ale reagují pod vlivem okolního prostředí. Např. hydraulické fáze  $C_3S$  (alit) nebo  $C_3A$  nelze hašením rozložit, ale tyto částice hydratují a vytvářejí pevné vazby uvnitř své struktury, tzv. hydratují. S ohledem na svou velikost mají omezenou schopnost pojít. Pokud jsou menší než 1 mm, lze je svým způsobem zahrnout do pojivového systému.
- d) Částice, které jsou reakčními produkty vzniklými při výpalu suroviny a které se nerozpadají při hašení, popř. je nelze tradičními metodami výroby vápna a přípravy malty jednoznačně využít jako pojivo. Tyto částice dále nereagují. Příkladem může být wollastonit, který dále nehydratuje ani nekarbonatuje. Do této kategorie lze též zařadit i další minerální fáze původně přítomné v surovině a které i po výpalu dále zůstávají chemicky víceméně inertní. Například zrna křemene.

Horká malta se na staveništi připravuje vrstvením dobře provlhčeného písku (mokrého) a nehašeného vápna rozbitého na drobné kusy o velikosti max. 20–30 mm v průměru. Počet vrstev vápna a písku je většinou okolo tří. První vrstva je písková a na konci musí zůstat písek na zakrytí celé hromady minimálně vrstvou silnou 30–50 mm (**obr. 136**). Další postup závisí na době zpracování, respektive na době odležení. Pokud je krátkodobé v řádu několika hodin,



tak se postupně začne přidávat voda a následně se mícháním připraví malta. Během míchání se vápno vyhasí spolu s pískem a malta je připravena k použití na zdění (**obr. 137**). V případě omítek je ale vhodné po promíchání směs znovu shromáždit na hromadu a nechat několik dní odležet. Doba odležení závisí na charakteru pojiva. U vzdušných vápen lze uvažovat při dobrém přikrytí zamezujícím přístupu vzduchu a odpařování vlhkosti v řádu i desítek dní. U hydraulických vápen je tato doba od jednoho do deseti dnů v závislosti na míře jejich hydraulicity. V rámci experimentálního posouzení technologie horké malty byla malta použita na omítky (**obr. 138**). Kromě ověření zpracovatelnosti a aplikace bylo možné posoudit i její vlastnosti během ročního cyklu zrání a fungování na zdivu.

## Poděkování

Výzkumy byly realizovány v rámci projektu *Tradiční vápenné technologie historických staveb a jejich využití v současnosti*<sup>1</sup> (DF11P01OVV010) financovaného Ministerstvem kultury ČR v letech 2011–2015.

## Použitá literatura

- Ebel, M. Vápno a jeho výroba do poloviny 19. století. *Svorník*. 2014, 12, 57-66. ISBN 978-80-260-6784-9.
- Eckel, E. C. *Cements, limes and plasters*. New York: Wiley; London: Chapman and Hall, 1928.
- Helan, B a K. Klement. *Vápno: výroba a použití*. Praha: SNTL, 1960.
- Hošek, J. a J. Muk. *Omítky historických staveb*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. ISBN 80-04-23349-X.
- Kuna, M. a D. Křivánková. *Archív 3.0. Systém Archeologické databáze Čech*. (Uživatelská příručka). Praha: Archeologický ústav AV ČR, 2006.
- Mascolo, G., M. C. Mascolo, A. Vitale a O. Marino. Microstructure evolution of lime putty upon aging. *Journal of Crystal Growth*. 2010, 312(16-17), 2363-2368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2010.05.020>
- Matas, T., J. Válek, D. Machová, V. Petráňová a R. Fabeš. Characterisation of lime putties made of quicklime calcined under different conditions. In: Hughes, J. (ed.). *The 3rd Historic mortars conference*. Glasgow: University of the West of Scotland, 2013. ISBN 978-1-903978-44-3.
- Suchý, M. Vápno, katedrála sv. Víta a pražští vápeníci v pozdním středověku: výpověď písemných pramenů. *Archaeologia historica*. 2014, 39(1), 349-363.
- Vachtl et al. *Soupis lomů ČSR*. 55 individuálních svazků vydaných v letech 1932-1961 různými autory a nakladateli, přehled svazků na: <http://www.geology.cz/extranet/sluzby/knihovna>

<sup>1</sup> Na výzkumu spolupracovali Ing. Jan Válek, Ph.D., Ing. Tomáš Matas, Eveline van Halem, MA, Mgr. Michal Panáček, Ing. Eva Stuchlíková, Ing. Olga Tomanová, Mgr. Dita Frankeová, Bc. Petra Hauková, Josef Jiroušek, Ing. Jan Bryscejn, Ing. Jiří Frankl, Ph.D., a RNDr. Antonín Zeman, CSc., z Ústavu teoretické a aplikované mechaniky, AV ČR, v. v. i., Mgr. Jana Maříková-Kubková, Ph.D., RNDr. Iva Herichová, Ph.D., Mgr. Marek Suchý, Ph.D., z Archeologického ústavu AV ČR, v. v. i., Praha a PhDr. Martin Ebel, Ph.D., a Mgr. Pavel Kodera, Ph.D., z Národního technického muzea. Poděkování patří i všem jmenovaným a dalším nejménovaným spolupracovníkům, kteří přispěli k řešení a výsledkům projektu.

- Válek, J., E. van Halem, A. Viani, M. Pérez-Estébanez, R. Ševčík a P. Šašek (a). Determination of optimal burning temperature ranges for production of natural hydraulic limes. *Construction and Building Materials*. 2014, 66, 771-780.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.015>
- Válek, J., J. Jiroušek, T. Matas, E. van Halem a J. Frankl. (b). Základní aspekty tradiční výroby vápna – výběr surovin a výpal. *Svorník*. 2014, 12, 67-76. ISBN 978-80-260-6784-9.
- Válek, J., M. Ebel, J. Maříková-Kubková, I. Herichová, M. Suchý, P. Kodera, P. Kozlovcev, J. Řihošek, M. Panáček a J. Bryscejn. *Vápenné technologie historických staveb*. Odborný katalog k výstavě „Calcarius čili vápeník“. Praha: NTM, 2015. ISBN 978-80-7037-256-2.
- Válek, J., T. Matas a J. Jiroušek. Experimentální vápenná pec pro malovýrobu vápenných pojiv. In: *Vápenický seminář 2012*. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, 2012, 49-55.
- Válek, J., T. Matas a J. Jiroušek. Design and development of a small scale lime kiln for production of custom-made lime binder. In: Hughes, J. (ed.). *The 3rd Historic mortars conference*. Glasgow: University of the West of Scotland, 2013. ISBN 978-1-903978-44-3.
- Válek, J., T. Matas, J. Jiroušek, J., D. Machová, V. Petrářová a D. Frankeová. Posouzení vlastností kusového vápna páleného v „tradiční“ vápenné peci. *Keramický zpravodaj*. 2013, 29(6), 6-10.
- Wingate, M. *Small-scale lime-burning: a practical introduction*. London: Intermediate Technology Publications, 1985.