

Akademie věd ČR

Ústav teoretické a aplikované mechaniky, v.v.i.

Centrum Excellence Telč

# Funkční vzorek - tradiční vápenná kaše

Autorský tým:

Ing. Jan Válek, PhD.

Ing. Tomáš Matas

Josef Jiroušek

Mgr. Dita Frankeová

Bc. Petra Hauková

Mgr. Eveline van Halem, MA

Funkční vzorek je výsledkem projektu „Tradiční vápenné technologie a jejich využití v současnosti“ ( DF11P01OVV 010) podporovaného Ministerstvem kultury ČR v rámci tematické priority 3.3 Materiály a technologie pro záchranu a zachování kulturního dědictví – zhodnocení tradičních materiálů a technologií pro znovu zavedení do praxe programu NAKI.

V Praze, 15. listopadu 2014

**Obsah:**

1. Úvod
2. Popis funkčního vzorku
  - 2.1. Popis produktu
3. Charakteristiky určující jedinečnost produktu
  - 3.1. Suroviny pro výrobu
  - 3.2. Kalcinace vápence
  - 3.3. Optimální kalcinační teplota
  - 3.4. Proces hašení
  - 3.5. Proces zrání vápenné kaše
4. Vlastnosti a použití
5. Literatura

Příloha 1 Fotodokumentace výroby funkčního vzorku

# Funkční vzorek

## - tradiční vápenná kaše

### 1. Úvod

Hlavním cílem projektu „Tradiční vápenné technologie a jejich využití v současnosti“ je vývoj tradičních vápenných technologií, jenž umožní jejich opětovné využití při opravách stavebních památek. Součástí projektu, který probíhá od roku 2011, je i výzkum a vývoj vápenného pojiva ve formě **tradiční vápenné kaše**, které odpovídá technologickému zpracování vápna před průmyslovým rozvojem vápenictví.

Vápenné pojivo ve formě uleželé vápenné kaše bylo v minulosti jedním z tradičních materiálů s mnohostranným použitím ve stavebnictví. Zpracování páleného kusového vápna na vápennou kaši mělo celou řadu praktických důvodů a výhod, které souhrnně umožňovaly získat velmi jemné a kvalitní pojivo využívající poměrně jednoduché a nenákladné procesy. Tento způsob ale vyžadoval zkušenosti a řemeslnou kvalitu zpracovatele. V současné době se tento způsob zpracování vápna nevyužívá neb byl nahrazen moderními chemicko-technologickými postupy, jejichž aplikací lze v masovém měřítku produkovat vápenná pojiva se specifickými vlastnostmi a s kontrolovanou kvalitou. Tyto technologické postupy jsou z pohledu dnešních stavebních materiálů nenahraditelné. Současné vápenky vyrábějí vápno hned pro několik průmyslových odvětví najednou. Podíl produkce vápna pro stavebnictví a stavební materiály je celosvětově pod 10% a oprava památek je v rámci tohoto sektoru pouze velmi zanedbatelná část. V ČR je podíl vápna pro stavebnictví tradičně vyšší a to okolo 20 % [1]. Ze zpracování vápna na vápennou kaši se stala ojedinělá aktivita, která využívá průmyslově zpracovaná vápna, které jsou na současném trhu k dostání.

Je známo, že způsob výroby vápna a jeho zpracování má technologický vliv na kvalitu produktu. Během projektu byl proto experimentálně vyvinut, popsán a odzkoušen vzorek vápenného pojiva ve formě vápenné kaše, která svou kvalitou odpovídá technologickému zpracování vápna před průmyslovým rozvojem vápenictví, tedy cca do poloviny 19. století. Cílem bylo vytvořit vzorový produkt, který bude odpovídat požadavkům restaurátorů a zároveň bude přínosem pro zachování našeho stavebního kulturního dědictví. Pro zachování autenticity a věrohodnosti stavebních památek je totiž možnost použít vápenné pojivo, které odpovídá po vzhledové i funkční stránce historické předloze, zcela zásadní.

Výzkum započal studiem historických postupů výroby vápna a jejich technologických vlivů. Pro výrobu vápna historickými postupy byla postavena vápenná pec umožňující experimentální malo-produkci tradičními metodami. Vápna vyrobená tradičními postupy byla vyhašena v hasnici a uložena ve vápenných jámách, ze kterých byly v půlročních intervalech odebírány vzorky za účelem pospání změn vlivem uležení. Pro výzkumné a srovnávací parametrické studie byla vápna též pálena v laboratorní peci. Vyrobená vápenná pojiva byla detailně zkoumána, jak z materiálového hlediska, tak i z různých technologických a aplikačních postupů. Výsledkem uvedeného výzkumu a vývoje je níže popsán funkční vzorek uleželé vápenné kaše, který slouží jako vzorový prototyp pro potenciální zájemce o komerční výrobu.

## 2. Popis funkčního vzorku

Funkčním vzorkem je nehydraulické vápenné pojivo ve formě vápenné kaše, které má zásadní význam pro restaurování historických uměleckých a řemeslných děl jako jsou nástěnné malby, sgrafitové a štukové výzdoby, nátěry a další speciální aplikace. Jeho předností je soubor vlastností, který je dán kvalitou výchozí suroviny, způsobem výpalu, hašením v nadbytku vody a uležením. Využití vápenné kaše je spojeno s ověřenými tradičními postupy, které zajišťují její kvalitu. Nově byly definovány klíčové vlastnosti a technologické vlivy, které byly laboratorně ověřeny a které umožňují kontrolu kvality tradičně vyráběného produktu. Unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastností tohoto vzorového produktu je právě napodobení historické předlohy.

### 2.1 Popis produktu

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 vápenné mléko má po uložení do vápenných jam velikost částic do 2 mm. Tyto větší částice se časem dále rozpadají anebo sedimentují ke dnu vápenné jámy. Uležením vznikne vápenná kaše. Minimální objemová hmotnost 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.



**Obrázek 1.** Dva roky uleželá vápenná kaše.

Ukázky z výroby funkčního vzorku jsou uvedeny v příloze 1.

## 3. Charakteristiky určující jedinečnost produktu

### 3.1 Suroviny pro výrobu

**Surovina:** Vysokoprocentní vápenec

Obsah  $\text{CaCO}_3$  nad 95 %

#### **Komentář**

K výrobě čistého bílého vápna se používá vysokoprocentní vápenec s obsahem uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) nad 90%. Obecně lze výrobu nehydraulických vápen použít vápence s obsahem  $\text{CaCO}_3$  nad 85 %. Vápence s nižším obsahem  $\text{CaCO}_3$  než 85 % jsou vhodnou surovinou pro výrobu hydraulických vápen. S ohledem na kvalitu vápenné kaše a minimalizaci jiných příměsí než hlavní složky  $\text{CaO}$  lze pro její výrobu doporučit využití vápenců s obsahem  $\text{CaCO}_3$  nad 95 %. Výjimkou jsou vápence, kde vedlejší složka je organického původu, která během procesu výpalu vyhoří a s oxidem vápenatým nereaguje. V České republice je v současné době několik aktivně těžených ložisek vhodné suroviny, např. velkolom Čertovy Schody nebo lom Vitošov. Obě tyto suroviny byly zvoleny pro experimentální a ověřovací zkoušky. Vitošov je jemně krystalický vápenec (0,05 – 0,25 mm) s homogenní strukturou. Koněpruský vápenec je velmi kompaktní obsahující bioklasty a extraklasty s průměrnou velikostí částic je okolo 0,8 mm. Chemické složení použitých surovin je uvedeno v tabulce 1. Oba vápence jsou vhodné pro přípravu kvalitní vápenné kaše.

**Tabulka 1.** Chemické složení vápenců určené pomocí XRF a ztráty žháním (LOI)

	Vápenec	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	LOI	LSFII
VT	Vitošov	54,5	0,2	0,63	0,17	0,17	0,02	40	2626
CS	Koněprusy	55,5	0,33	0,04	0,04	0,03	0,006	42,9	31058

### 3.2 Kalcinace vápence

**Způsob výpalu:** výpal dřevem s odděleným ohništěm a vápencovou vsázkou. Plameny procházejí skrz vápencovou vsázkou. Typ a tvar pece má vliv na rozmístění teplota a efektivitu výpalu.

#### **Komentář**

Způsob výpalu, tj. např. velikost a uložení vsázky, teplotní distribuce v peci a použité palivo má obecně vliv na kvalitu vápna a jeho vlastností. Jedná se o vlivy, které jsou dány typem vápenné pece a obecně technologickým procesem výroby. Například nestejnomylnost vypálení vápna je způsobena nerovnoměrným rozložením teplot v peci. Typy vápenných pecí a proces výroby se v průběhu historické výroby vápna měnil. Obecně byly od středověku po průmyslovou revoluci u nás využívány vápenné pece, ve kterých se stavěla vápencová klenba, pod kterou se topilo dřevem. Tímto způsobem bylo vápno páleno již v Římské říši [2]. Právě tento typ výpalu je v literatuře uváděn jako jedinečný s ohledem na kvalitu produkovaného vápna [3, 4].

Pokusné výpaly v malé vápenné peci ukázaly, že tento způsob výpalu umožňuje výrobu měkce páleného vápna, které je čisté od popelovin a oproti směsným typům výpalu vápence s palivem u něj nedochází k lokálnímu kontaktnímu přepálení [5]. Výše dosažené teploty je dána použitým palivem, tedy dřevem a tahovými podmínkami. Teploty běžně nedosahují více jak 1200°C a případné dosažení takto vysokých teplot je pouze lokální. Určitým problémem provozu takovéto pece je dosažení rovnoměrnosti výpalu celé vsázky kamene. V peci je teplota prostorově rozmístěna podle tahových cest, kde lze ke konci výpalu dosáhnout teplot okolo 1200°C. Naopak v horní části pece je vsázka ochlazována okolím a u paty klenby se teplo do stran šíří velmi pomalu. V tradičním vápenictví existuje celá řada opatření, které se snaží zajistit rovnoměrnější a co možná nejkompletnější výpal celé vsázky. Obecně jsou poplatné

konkrétnímu typu pece. Základní opatření jsou: zakrývání horní vsázky jílovou mazaninou či kameny a vytváření tahových kanálů do méně prohříváných míst. Dále je potřeba pec plnit takovým způsobem, který předvídá teplotní rozložení a tahové poměry v peci. Např. nahoru se dávají menší kameny, které mají kratší kalcinační dobu, viz obr. 2. [6]



**Obrázek 2.** Horní část pece se skládanými menšími kameny a před zakrytím jílovo-slámovou mazaninou.

Po dokončení výpalu a vychladnutí se odstraní část vsázky, která je pouze částečně vypálena. Obecně je nejkvalitnější vápno z větších kamenů ze středové pozice pece. I mírný nedopal cca 10 % lze na základě zkušeností rozeznat dle váhového odhadu a barevnosti. Pro výrobu kvalitní vápenné kaše je potřeba vybrat kompletně vypálené kusy, ostatní může být použito pro méně náročné aplikace.

### 3.3 Optimální kalcinační teplota

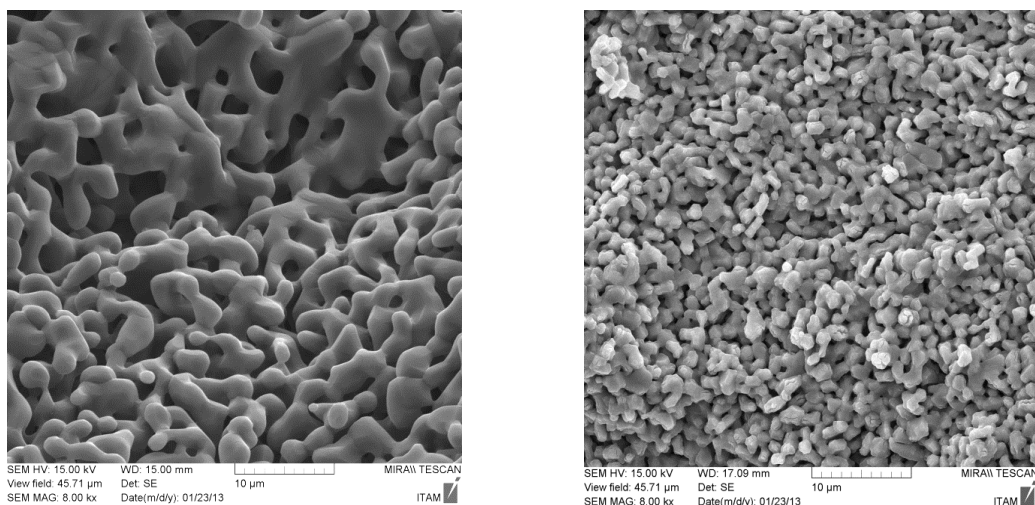
**Kalcinační teplota:** je dána typem pece a palivem. V pecích dochází k rozložení vápence nad 900°C. Doba udržení této teploty je dána velikostí vypalovaných kamenů. Tato závislost je dnes velmi dobře popsána lze ji určit dle tabelovaných hodnot. Menší kameny se vkládají do nižších teplotních zón pece, větší do vyšších teplotních zón pece.

#### Komentář

Vliv teploty výpalu na velikost krystalů, pórovitost, specifickou hmotnost a měrný povrch získaného vápna je velmi dobře znám a popsán v odborné literatuře [7, 8]. Vápna vyrobená v malé experimentální peci tradičním výpalem byla laboratorně posouzena [9] a bylo zjištěno následující.

- Vápna je možno klasifikovat jako měkce pálené.
- Kvalita posuzovaných vzorků páleného vápna z experimentální vápenné pece je srovnatelná s kvalitou vápna ze současné průmyslové výroby. Jedná se bodové vzorky a kvalita je posuzována na základě reaktivity, měrné a specifické hmotnosti, obsahu nedopalu, porosity a plochy povrchu. Viz Tabulka 3 a publikovaný výzkum [10]
- V místech, kde je vápenec nejvíce vystaven vyšším teplotám, tedy u tradičního způsobu výpalu v klenbě nad ohništěm, dosahují teploty okolo 1200°C. Lokálně zde může docházet k přepálení vápna. Částice CaO se postupně zvětšují až slinují. Na zkoumaných vzorcích vápna lze tento jev potvrdit, zároveň je ale zřejmé že se může týkat relativně malého objemu v poměru k celkovému objemu kamenů použitých v klenbě. Viz. obrázek 3. Pokud dojde z dalších důvodů

k prodloužení doby výpalu, tak se navyšuje podíl středně až tvrdě vypáleného vápna v této části pece.



**Obrázek 3.** Vzorek kusového vápna z koněpruského vápence. Obr. vlevo ukazuje CaO částice o velikosti 5–10  $\mu\text{m}$  z povrchu páleného vápna. Obr. vpravo je ze stejného úlomku pouze 3 mm pod povrchem. Fotky mají stejné měřítko, velikost zobrazeného pole je 45,7  $\mu\text{m}$ .

Na základě zkušeností z experimentálního provozu malé vápenné pece a znalostí obdobných historických provozů malých periodických pecí, např. skýcovské vápenky [11] lze stanovit přibližnou délku výpalu vsázky kamene okolo 1t na dobu okolo 24 až 30 hodin.

### 3.4 Proces hašení

**Kusové vápno se hasí v nadbytku vody po vydání z vychladlé pece.**

**Pro vápennou kaši nejvyšší kvality musí být kusové vápno vybráno ze středové částice pece. Nesmí obsahovat viditelný nedopal.**

**Reaktivita vápna** – vápno musí být měkce pálené. Rychlost reakce je úměrná pozici vápna v peci.

#### Komentář

Hašení vzdušného vápna v hasnicích probíhá dle obecně známých pravidel [12]. Správně vyhašené vápno se nechá ustát po dobu cca 15 až 30 minut za občasného míchání a před přelitím do jámy se naředí. Vápno se do jámy přelévá přes síto (velikost ok 2 x 2 mm) na kterém se zachytávají nerozhasené zbytky. Vzdušná vápna se mají rozhašovat úplně s minimálním zbytkem. Podle ověřovacích experimentů tvoří zbytek na sítu mající oka 2 x 2 mm cca 8 až 15 %. Tento zbytek se skládá ze součástí nehasitelných a nerozhašených. Nehasitelné součásti je nutno mechanicky odstranit. Větší a těžší nehasitelné částice zůstávají na dně hasnice. Částice nad 2mm jsou zachyceny sítím a menší zůstávají přítomné v řídkém vápenném mléce, kde částečně sedimentují. Nerozhašeným částicím je třeba nechat čas na postupné dohašení uležením vápna.

Hašením neúplně rozloženého vápence, tedy vápna se zbytkovým  $\text{CO}_2$  se navyšuje počet drobného nehasitelného podílu. Příčinou vzniku nerozhašených částic může být lokální snížení reaktivity z důvodu složení nebo teploty. Další příčinou tvoření shluků je též lokální nedostatek vody při hašení, to se děje zejména u vápen s velmi rychlou počáteční reaktivitou.

Zkouška reaktivity se provádí dle EN 459-2. Reaktivita vápna z tradiční pece vyjádřená charakteristikou  $t_{60}$  se pohybuje okolo 2 minut pro průměrný vzorek a okolo 3 až 3,5 minut pro vzorek z klenby, kde je

vápenec vystaven největšímu teplu. Výjimečně byla naměřena reaktivita  $t_{60}$  ze vzorků spodní části klenby okolo 5 až 6 minut. V tabulce 3 jsou uvedeny vlastnosti páleného kusového vápna z koněpruského vápence a jeho reaktivita ve srovnání se současně vyráběným vápnem z moderní šachtové pece typu Maerz ze suroviny pocházející ze stejného clonového odstřelu.

**Tabulka 3.** Vlastnosti vybraných vzorků vápna z koněpruského vápence

	MIP	BET	GP	Reaktivita		
	porozita	plocha povrchu	měrná hm.	objem. hm.	$t_{60^{\circ}\text{C}}$	$T'_{\text{max}}$
	[%]	[m <sup>2</sup> /g]	[g/cc]	[g/cc]	[min]	[°C]
Vápenka Čertovy schody, vápno má mít rychlou reaktivitu a nízký obsah CO <sub>2</sub>	54,5	2,08	3,30	1,50	0,4	79,1
Experimentální výpal I – klenba	49,2	1,55	3,23	1,64	2,4	79,5
Experimentální výpal I – průměr	49,9	1,36	3,18	1,59	2,5	78,9
Experimentální výpal II – klenba	52,2	1,41	3,20	1,53	3,0	78,7

Zkouškou dle EN 459-2 byla stanovena vydatnost 36 - 40 l na 10 kg u různých vzorků nehašeného vápna z koněpruského vápence páleného v laboratorní peci při 1050°C.

### 3.5 Proces zrání vápenné kaše

**Uležením vápenné kaše dochází ke zlepšení jejích funkčních vlastností, jako je objemová stálost, jemnost, vaznost a vydatnost.**

**Délka uležení je závislá na požadavcích plynoucí ze zamýšleného použití vápenné kaše.**

**Vliv uležení vápna na zlepšení jeho kvality je závislý na předcházejících technologických postupech.**

**Správné uležení vápna též umožňuje separovat jemné pojivo sedimentací.**

**Konzistence uležené vápenné kaše je taková, že vápenná kaše sama neteče a drží tvar.**

**Minimální objemová hmotnost je 1400 kg/m<sup>3</sup>**

#### **Komentář**

##### *Dohašení částic*

Prvotním přínosem pro zlepšení funkčních vlastností vápenného pojiva hašeného v nadbytku vody je poskytnutí vhodných podmínek pro dohašení a tím i dokončení rozpadu všech součástí, které se nerozpadly (nerozhasily) během samotného hašení. Tento proces se odehrává v řádu hodin až dní. Ve stavební praxi z první poloviny 20. stol. se doporučuje min. 14 dní pro omítky a bílení. Nerozhašené, respektive pomaleji se hasící součásti se nacházejí i ve velmi čistém vápně. Jako příklad lze uvést laboratorně pálené vápno (při teplotě 1050°C) z vápence Vitošov, které obsahuje 98 % CaO a kontrolní termickou analýzou nebylo detekováno CO<sub>2</sub>. Po třech hodinách hašení a mechanickém míchání činil zbytek na sítu 0,063 mm 12,5 %. Samotným uležením po celkovou dobu 24h se zbytek redukoval na 9%.

Uležení vápenné kaše umožňuje určitou kompenzaci drobných rozdílů způsobených ať již přirozenou variabilitou přírodního materiálu nebo použitými technologiemi, které nutně podléhají nepřesnostem způsobeným lidským faktorem. Míra vlivu uležení vápna na zlepšení jeho kvality je tak závislá na předcházejících technologických postupech a jejich dokonalosti.

##### *Sedimentace a odvodnění*

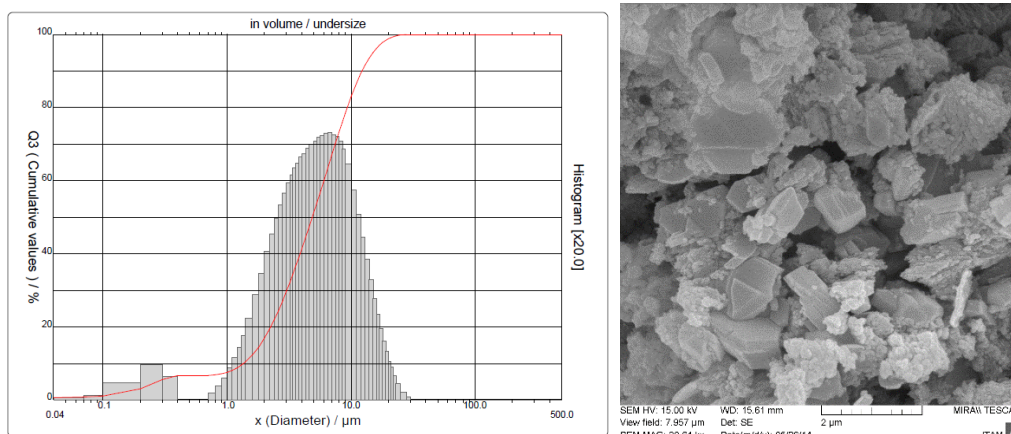
Tradiční způsob výroby vápenného pojiva ve formě uležené vápenné kaše umožňuje do jisté míry rozdělit vápenné pojivo dle míry jemnosti částic a tím tak poskytnout materiál odpovídající požadavkům

na jeho funkční vlastnosti. Pro získání nejjemnějšího vápna je potřeba hasit kompletně vypálený vápenec. Ideálně větší kusy ze středu pece. Pracovníci provádějící hašení musí mít dostatečné zkušenosti, které zajistí, že bude provedeno správně a odpovídajícím způsobem. Jáma, ve které vápno zraje, se zaplní postupným vyhašením kusového vápna. V první fázi po přelití vápna do jámy dochází k sedimentaci těžších částic, které prošly sítím (pod 2 mm). Čím jsou částice menší, tím pomaleji klesají. Zároveň se sedimentací částic dochází k pozvolnému odvodňování vápna, protože přebytečné voda prosakuje stěnami do okolní půdy. Tím se stává kaše hustší a klesající částice neklesnou až ke dnu. Nejjemnější vápno je v horní části vápenné jámy a používá se na štuky a jakostní aplikace. Zcela horní vrstvu je nutno odstranit, jelikož je karbonatována, znečištěna a částečně může být degradována mrazem atd. Vápno ze spodní části jámy lze použít na méně náročné aplikace.

#### *Dlouhodobé uležení*

V praxi se traduje, že ideální doba uležení vápna je tři roky. Podle Římských nařízení muselo být vápno uloženo pod vodou minimálně 3 roky, než mohlo být použito [13]. Současná materiálová věda však neumí přesně stanovit kvalitativní parametr, kterým by popsala míru přeměny vápna vlivem zrání a neexistuje ani jasná představa o změnách funkčních vlastností během zrání. Probíhající změny se běžně popisují jako morfologické změny krystalů hydroxidu vápenatého a jejich rozpadu na ploché hexagonální krystalky za přítomnosti molekul vody, které je spojují a vytváří společně hydrogel [14, 15]. V rámci projektu jsou průběžně posuzovány vlastnosti vyrobených vápenných kaší uložených v jamách a srovnány s 12 referenčními vzorky hašenými kontrolovaným způsobem a uloženými v kontrolovaných laboratorních podmínkách [16]. Výzkum změn reologických vlastností v čase je založen na laserovém měření velikosti částic, ploše povrchu a kvalitativním popsání morfologických změn mikrostruktury.

Velikost částic vzorku vápenné kaše z vápence Vitošov po necelých dvou letech zrání je od 1 do 20  $\mu\text{m}$ , viz. obrázek 4.



**Obrázek 4.** Velikost a morfologie částic  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  vápenné kaše z vápence Vitošov po necelých dvou letech zrání ve vápenné jámě.

## 4. Vlastnosti a použití

Výše jsou popsány procesy, které charakterizují tradiční způsob výroby tradiční uležené vápenné kaše. Z popisu je zřejmé, že výsledný produkt, vápenná kaše má vlastnosti dané výše zmiňovaným technologickým postupem, který je tudíž v základních parametrech nutné dodržet, aby se jednalo o

tradiční produkt s požadovanými vlastnostmi. Vápenná kaše takto vyrobené má vícero možností využití, jelikož tradiční způsob výroby a zpracování umožňuje separaci kvality během celého procesu. Z dnešního pohledu se jeví jako nejdůležitější zaměření na výrobu velmi jemné uleželé vápenné kaše, která se používá na štuky a jakostní aplikace a je vyžadována restaurátory. Obdobná vápenná kaše je do ČR dovážena z Francie nebo Itálie a je ceněným restaurátorským materiálem.

## 5. Literatura

- [1] Svaz výrobců vápna v ČR, ročenka 2013, <http://www.svvpapno.cz> (navštíveno 14. 11. 2014)
- [2] Adam, J.P.: Roman Buildings – Materials and Techniques, Routledge, 1994
- [3] Wingate, M., (1985), Small-Scale Lime-Burning, A practical introduction, Intermediate technology publications, 1985
- [4] Eckel, C. E.: Cements, Limes and Plasters, John Wiley & Sons, New York and Chapman & Hall, London, 1928.
- [5] Válek J., Matas T., Jiroušek J.: Experimentální vápenná pec pro malovýrobu vápenných pojiv. Sborník VI. Vápenický seminář 2012, 14.-15. Listopadu 2012, Frýdek-Místek, ISBN 978-80-8739712-1, pp. 49-55, 2012
- [6] Válek, J., Matas, T., Jiroušek, J.: Design and development of a small scale lime kiln for production of custom-made lime binder. In Hughes, J. J. (ed.). *The 3rd Historic mortars conference*. Glasgow : University of the West of Scotland, 2013.
- [7] Helan, B., Klement, K.: Vápno. Výroba a použití. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1960
- [8] Oates, J.A.H.: Lime and Limestone, Chemistry and Technology, Production and Uses, Wiley-VCH, Weinheim 1998.
- [9] Válek, J., Matas, T., Jiroušek, J., Machová, D., Petráňová, V., Frankeová, D.: Posouzení vlastností kusového vápna páleného v “tradiční” vápenné peci, *Keramický zpravodaj* 29 (6), 2013
- [10] Válek, J., Matas, T., Machová, D., Petráňová V., Frankeová, D. and Zeman, A.: Assessment of properties of lump lime produced in a ‘traditional’ flare kiln, . In Hughes, J. J. (ed.). *The 3rd Historic mortars conference*. Glasgow : University of the West of Scotland, 2013.
- [11] Jiroušek J., zpráva z návštěvy Skýcova 2012, viz <http://www.calcarius.cz/archiv-blogu-skycov.php>
- [12] Janč, L., Kudrlička, V., Kytýr, J.: Základy stavitelství. Práce, Praha 1953.
- [13] Cowper, A.D., Lime and Lime Mortars, Donhead, 1998 (přetisk původního vydání z r. 1928)
- [14] Elert, K., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian Pardo, E., Hansen, E., Cazalla, O.: Lime Mortars for Conservation of Historic Buildings, *Studies in Conservation* 47, 2002, pp. 62-75.
- [15] Mascolo, G., Mascolo, M.C., Vitale, A., Marino, O.: Microstructure evolution of lime putty upon aging, *J. Cryst. Growth*, 312, 2010 pp. 2363–2368.
- [16] Matas, T., Válek, J., Machová, D., Petráňová, V., Fabeš, R.: Characterisation of lime putties made of quicklime calcined under different conditions. *Proceedings of The 3rd Historic mortars conference*. Glasgow: University of the West of Scotland, 2013

## Příloha 1. Fotodokumentace výroby funkčního vzorku – vápenné kaše



Obrázek 1 – 1. Plnění pece - stavba klenby – vytvoření prostoru topeniště.



Obrázek 1 – 2. Provoz pece.



Obrázek 1 – 3. Kusové vápno v hasnici.



Obrázek 1– 4. Vápenný mléko (pačok) po vyhašení.



Obrázek 1 – 5. Přepuštění vápenného mléka do jámy.



Obrázek 1 – 6. Vyzrálá vápenná kaše (2 roky) drží svůj tvar, neteče.