

# Vliv mrazu a odležení na velikost částic vápenných kaší připravených rozdílnými postupy

Dagmar MICHOLINOVÁ; Radovan NEČAS

**ANOTACE:** Článek přináší vybrané výsledky výzkumu vlastností vápenných kaší připravených různými způsoby ze stejné suroviny s cílem zjistit, zda lze tradičně připravenou kaší nahradit kaší vzniklou alternativním postupem. Součástí výzkumu byl i dílčí experiment, který studoval vliv mrazu na vlastnosti vápenných kaší.

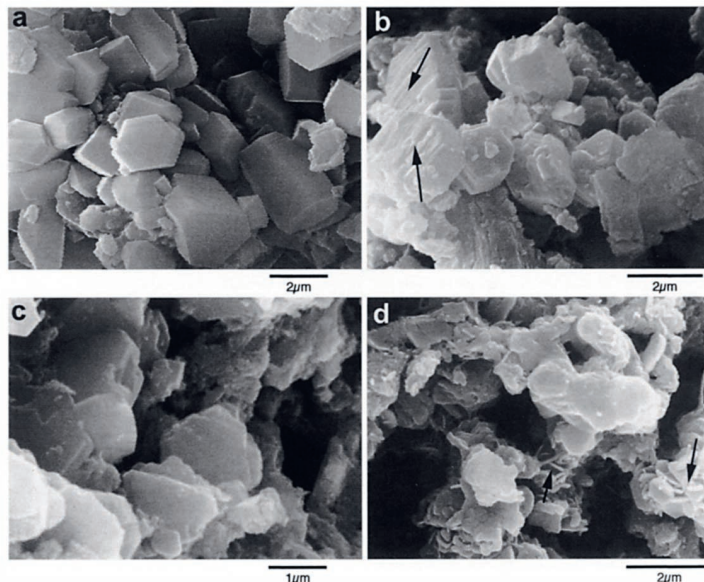
## Úvodem

Rostoucí zájem o využívání tradičních stavebních materiálů při péči o stavební památky i širší historický stavební fond přináší celou řadu badatelských úkolů, které ověřují vlastnosti tradičních materiálů, limity pro jejich přípravu a využití v současnosti a v neposlední řadě i možnost využití alternativních (např. časově méně náročných) postupů přípravy, které by vedly k co nejlepším vlastnostem tradičních materiálů. Není to vůbec úkol snadný, protože často platí, že zatímco exaktní hodnocení uživatelsky příznivých vlastností tradičních stavebních materiálů je poměrně složité, zkušenosti řemeslníků s empirickým hodnocením větší problémy nemívají, jak uvádí pro vápenné materiály např. v monografii o vápnech a vápencích Robert S. Boynton.<sup>1</sup> Dnes bohužel zkušených řemeslníků ubývá a s tím současně rostou nároky právě na exaktní hodnocení tradičních stavebních materiálů.

## Přednosti vápenných kaší pro stavební účely<sup>2</sup>

I když pro vápna, která jsou předmětem tohoto článku, platí, že vykazují velmi různé vlastnosti, mnohdy i velmi netypické, existují jejich určité materiálové charakteristiky, díky kterým se vzdušné vápno jednoznačně odlišuje od ostatních typů stavebních pojiv, jako je cement, sádra nebo jíla.

Vápno, zejména v podobě vápenné kaše, má být hodně vazné – má mít schopnost navázat se na kamenivo (při přípravě malty) i přilnout na podklad, když je vápenná malta použita ke stavění či k omítání. K tomu musí mít pojivo vysokou tzv. retenční schopnost, tj. schopnost vázat na povrch svých částic vodu. Čím větší je retenční schopnost pojiva, tím pomaleji dochází k vysychání vápenného gelu. Prodlužuje se tedy vhodný interval jak pro zpracovatelnost malty, tak i pro karbonataci pojiva.<sup>3</sup> Další charakteristickou vlastností vzdušných vápen obecně a vápenných kaší zvláště je jejich velmi dobrá zpracovatelnost, která je podmíněna plasticitou kaše<sup>4</sup> a vysokou retenční



Obr. 1. Proces strukturního rozpadu částic vápna (portlanditu). Kontaktem s vodou dochází k rozpadu větších sloupkovitých krystalů vápna na ploché destičky. Tím dochází k nárůstu měrného povrchu pojiva. SEM mikrofotografie: a) velké sloupcovité krystaly vápna krátce po vyhašení, b) šipkami je naznačen rozpad sloupcovitých krystalů na destičky po 2 měsících odležení kaše, c) výrazný výskyt destiček vápna po 14 měsících odležení vápenné kaše, d) šipkami jsou vyznačena místa, kde dochází k dalšímu zjemňování struktury vápna po 14 měsících odležení kaše. Převzato z: Elert (pozn. 7), s. 66.

schopností kaší. Zpracovatelnost je vlastnost, která postihuje např. dobu, kdy lze pracovat s vápennou maltou, dotýká se její dobré tvarovatelnosti i po částečném odchodu záměsové vody z pojiva malty a dále schopnosti pojiva či malty udržet se na povrchu zdi či vyplňovat i malé nerovnosti povrchu.

V případě tradičních vápenných kaší, které jsou předmětem tohoto článku, bylo vždy cílem upravovat postupy přípravy vápna tak, aby vý-

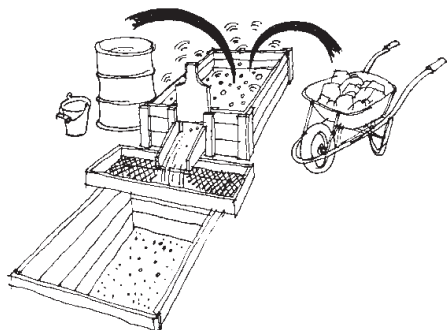
## ■ Poznámky

<sup>1</sup> Robert S. Boynton, *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, New York 1980, s. 215.

<sup>2</sup> Uživatelské vlastnosti vápna prezentované v této části textu jsou převzaty z: Stafford Holmes – Michael Wingate, *Building with lime: A practical Introduction*, 3rd ed., London 2002, s. 1–6.

<sup>3</sup> Boynton (pozn. 1), s. 184. – Holmes – Wingate (pozn. 2), s. 63.

<sup>4</sup> Plasticitou se rozumí zvláštní vlastnost kvalitní vápenné kaše, která se v klidu chová jako tuhá látka (po vyklopení z nádoby se neroztéká), ale po působení vnějších sil se změní na kapalinu (teče). Tato vlastnost umožňuje např. to, že po nahození omítky na zeď malta nestече z povrchu zdi.



2



3



4



5



6



7

**Obr. 2.** Schéma tradičního mokrého hašení neboli hašení vápna v nadbytku vody. V nádobě, které se říká hasnice nebo také karb, za kontrolovaných podmínek reaguje kusové vápno (na obrázku přidávané ze stavebního kolečka) s vodou (na obrázku je zásoba vody v sudu). Po prudké reakci vápna s vodou dochází k rozpadu kusového vápna na suspenzi vápna ve vodě. Suspenze se vypouští, zde přes síto, do vápenné jámy. V ten okamžik začíná proces odležení vápenné kaše. Převzato z: Michoinová (pozn. 12).

**Obr. 3.** Ukázka procesu tradičního hašení vápna na státním hradu Švihov, fotografie zachycuje vypouštění suspenze vápna ve vodě z hasnice (karbu) do vápenné jámy, 2013. Převzato z: Michoinová (pozn. 12).

**Obr. 4.** Míchačka použita při promíchávání vápenného hydrátu s vodou. Foto: Dagmar Michoinová, 2013.

**Obr. 5.** Postup přípravy kaše z hydrátu. Foto: Dagmar Michoinová, 2013.

**Obr. 6.** Nádoby na uložení kaše v zemi v areálu Výzkumného ústavu stavebních hmot. Foto: Dagmar Michoinová, 2013.

**Obr. 7.** Umístění datalogeru pro monitoring vnitřního klimatu v nádobě pro odležení kaše po dobu první zimy. Foto: Dagmar Michoinová, 2013.

sledný produkt vykazoval co nejlepší uživatelské vlastnosti a současně aby měl co nejjemnější strukturu, která má zpravidla za následek právě zlepšování uživatelských vlastností kaší a následně i vlastnosti vápenných malt. Tohoto cíle lze dosáhnout výběrem optimální suroviny pro přípravu vápna, režimem jeho pálení, postupem hašení, velmi důležitý vliv pak má také odležení vápna v podobě vápenné kaše.

#### Motivace a cíle experimentu

Prezentovaná práce se zaměřuje zejména na srovnání postupu zjemňování struktury vápenných kaší při procesu tzv. odležení vápenných kaší, které vznikly různou cestou – cestou tradiční a alternativní. Tradičním postupem přípravy vápenné kaše je hašení kusového vápna v nadbytku vody a odležení vápenné kaše ve vápenné jámě neboli vápenici, tak jak je zachycuje např. obr. 2. Vedle toho existuje i alternativní postup přípravy kaše, kdy dochází ke smíchání komerčně snadno dostupného za sucha hašeného vápenného hydrátu s vodou a odležení probíhá např. v plastových barelech. Tento alternativní postup se zdá být pro mnoho stavebních firem, ale i vlastníků, kteří své stavby udržují svépomocí, dostupnější, finančně méně náročný a hlavně nezahrnuje rizika nezdaru při nedostatečné zkušenosti s hašením ani velká bezpečnostní rizika, která tradiční hašení vápna provázejí.

Otázkou, která byla i motivací k provedení popisovaných experimentů, zůstává, zda jsou vlastnosti kaší připravených oběma postupy srovnatelné. Tento článek se soustředí především na to, jaký vliv má odležení vápenných kaší připravených různými postupy na velikost částic vápenných kaší a jak se velikost částic kaší s časem mění.

#### Význam odležení vápenné kaše pro její vlastnosti<sup>5</sup>

Před popisem vlastního experimentálního programu je vhodné věnovat pozornost tomu, co to je odležení vápenné kaše, co je cílem této etapy

a co se v průběhu tohoto procesu s vápenným pojivem, přesněji s vápennou kaší, děje.

Odležením vápenné kaše označujeme proces, kdy jsou částice vápenného hydrátu dlouhodobě v kontaktu s vodou. Odležení následuje např. po přepuštění vápenné suspenze do vápenice po tradičním vyhašení vápna přes roztok. O odležení lze hovořit také po uložení práškového, suchou cestou vyhašeného vápenného hydrátu do nadbytku vody.<sup>6</sup>

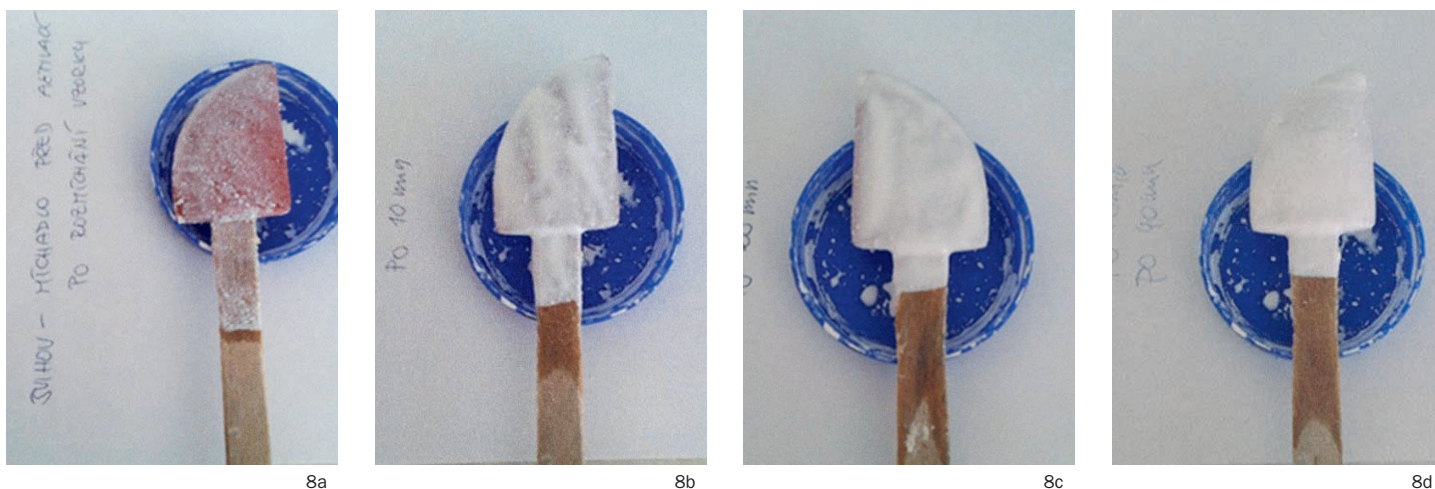
Účelem odležení je, aby ploché částice vápenné kaše získaly co nejjemnější strukturu. Tím, že se struktura (velikost částic kaší) zjemňuje, roste měrný povrch pojiva. To má za

#### ■ Poznámky

**5** Souhrnně je rešerše k vlastnostem vlivu odležení vápenných kaší na jejich vlastnosti uvedena v: Dagmar Michoinová, *Studium historických postupů přípravy vápenných malt pro péči o architektonický památkový fond* (disertační práce), Fakulta stavební, Ústav chemie, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2007.

**6** Jan Hlaváč, *Základy technologie silikátů*, 2. vyd., Praha 1988, s. 412. – Boynton (pozn. 1), s. XX. – Cecil C. Handisye, *Building Materials Science and Practice*, 6th ed., London 1967, s. 82. – E. F. Hansen et al., Effects of ageing on lime putty. In: P. Bartos – C. Groot – J. J. Hughes (edd.), *International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests*, Cachan 1999, s. 197–206. – Cirillo Atzeni – Alessio Farci – Deborah Floris – Meloni Paola, Effect of Aging on Rheological Properties of Lime Putty, *Journal of the American Ceramic Society*, 2004, no. 87, s. 1764–1766.





8a

8b

8c

8d

následek zlepšování výše uvedených uživatelských vlastností kaší pro jejich využití ve stavebnictví, dnes zejména pro opravy historického stavebního fondu.

Pro názornou představu o dějích souvisejících se zjemňováním struktury (tedy se snižováním velikosti) částic pojiva při odležení je velmi ilustrativní obr. 1, který je převzat od autorů anglicky publikované studie o vápenných maltách a jejich užití v památkové péči.<sup>7</sup> K podobným výsledkům ale dospěli i mnozí další badatelé. Na obrázku je patrné, že při odležení kaší postupem času dochází k rozpadu větších sloupečkovitých krystalů vzdušného vápna (portlanditu) na ploché destičky.

Čím více plochých destiček vznikne z původního sloupečku, tím je větší i povrch pojiva. Modelově to lze vysvětlit na příkladu s kartami. Jsou-li uspořádány ve sloupečku (v balíčku), je povrch balíčku podstatně menší, než když jsou karty jednotlivě rozprostřeny po stole.

Doba odležení vápenné kaše se stanoví především na základě zkušenosti. Vzhledem k tomu, že kvalita vápenného pojiva je ve fázi odležení determinována již předchozími technologickými postupy výroby a uložení vápenného pojiva (kvalitou suroviny, podmínkami výpalu, hašení, případně mletí, délkou a podmínkami uložení pojiva a podobně), nelze dobu odležení stanovit univerzálně pro všechny typy vzdušného vápna. V praxi se často uvádí jako minimální doba odležení kaše 2 roky.

Odležení kaše je však proces, který si zasluhuje velkou pozornost, a to jak badatelů, tak i těch, kteří s vápnem v podobě vápenné kaše pracují.

#### Výběr surovin a příprava kaší pro experimentální program

Cílem experimentu bylo porovnat v dlouhém časovém intervalu vlastnosti vápenných kaší připravených různými postupy. Aby byl co nejvíce omezen nežádoucí vliv suroviny a režimu

výpalu vápna na sledované vlastnosti kaší, byly použity vstupní suroviny od stejného výrobce vápen. Vápna byla vyrobena ve Vápence Čertovy schody, a. s. – jednalo se o kusové vápno (pro přípravu tradiční kaše) a o vápenný hydrát (pro alternativní postup). Pro přípravu obou typů vápenných kaší byly cíleně voleny postupy, které se co nejvíce blíží přípravě vápenné kaše v běžné stavební praxi.

#### Příprava tradiční vápenné kaše

Tradiční kaše byla připravena tradičním mokřým hašením kusového páleného vápna v nadbytku vody. Při tom bylo použito kusové vápno z Vápenky Čertovy schody, a. s. Jednalo se o kusové vápno 15/50–60 mm, ze kterého po vyhašení v průmyslových hydrátorech a po mletí ve vápence vzniká vápenný hydrát Čerták CL 90. Toto kusové vápno bylo vyhašeno pod vedením zkušeného zednického mistra na hradě Švihov (obr. 3). Vzniklá kaše byla dále uložena v historické zděné a hydraulickou maltou omítnuté vápenné jámě na hradě Švihov, kde probíhalo (a dosud probíhá) její odležení. Takto vzniklá kaše je dále v textu označována jako *tradiční kaše*.<sup>8</sup>

#### Alternativní postup přípravy vápenné kaše

Alternativním postupem pro přípravu druhé experimentální vápenné kaše bylo smíchání za sucha hašeného vápenného hydrátu s vodou (dodavatel hydrátu Vápenka Čertovy schody, vápno Čerták hašené CL 90). Hydrát byl smíchán s vodou ve hmotnostním poměru 1 díl hydrátu a 4 díly vody, vzniklá suspenze byla posléze přepuštěna k odležení do plastové nádoby. Ta byla zakopána do země, jak je patrné na obr. 6, a byla provedena další drobná opatření (např. překrytí termoizolačními deskami) tak, aby obsah nádob v zimě nepromrzal. Tato kaše je dále v textu označována jako *kaše z hydrátu*.

Tento alternativní postup přípravy vápenné kaše byl realizován ve Výzkumném ústavu sta-

**Obr. 8.** Empirické srovnání konzistence a vaznosti tradiční kaše. Zleva: a) konzistence a vaznost kaše měsíc po rozmrazení, b) konzistence a vaznost po 10 minutách intenzivního míchání – reaktivace, c) konzistence a vaznost po 20 minutách reaktivace, d) konzistence a vaznost po cca 40 minutách reaktivace. Foto: Dagmar Michonová, 2014–2016.

vebních hmot, a. s. (viz obr. 4 a 5), nádoby na odležení kaše jsou zachyceny na obr. 6.

Po dobu první zimy bylo v plastových nádobách sledováno klima (teplota a vlhkost) se záznamem do datalogeru (jeho umístění na obr. 7).<sup>9</sup>

#### Zkušební postupy a metody

Změny vlastností vápenných kaší při odležení probíhají zpravidla v časovém rozpětí několika let, proto byly v rámci experimentu hodnoceny vlastnosti v delším časovém horizontu (zatím nejdéle po dvou, resp. po dvou a půl letech odležení).<sup>10</sup> Hodnocení vlastností kaší<sup>11</sup>

#### ■ Poznámky

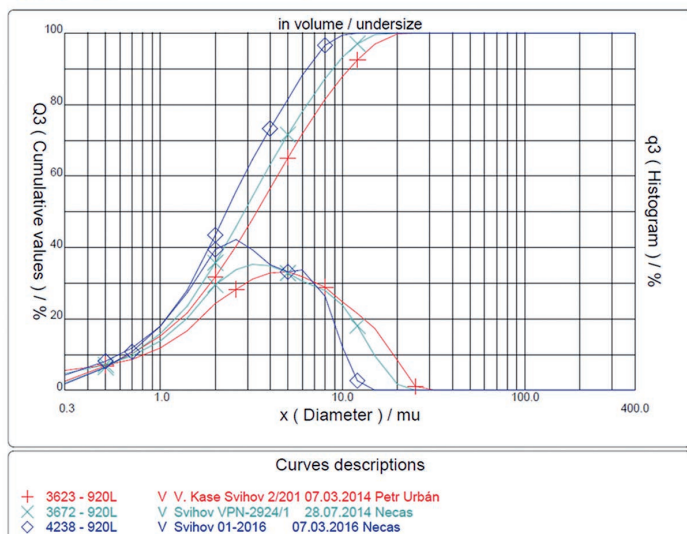
**7** Kerstin Elert et al., Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings, *Studies in Conservation* 47, 2000, No. 1, s. 66.

**8** Hašení vápna na Švihově probíhalo na konci října roku 2013. Akce byla spojena s workshopem pro nejširší veřejnost, kde postup, i za mediálního zájmu, představovala autorka v rámci popularizačního a experimentálního projektu Technologické laboratoře NPÚ s názvem (Ne)tušené souvislosti. Více o projektu na webu <https://netusene-souvislosti.npu.cz/cs>, vyhledáno 4. 10. 2019.

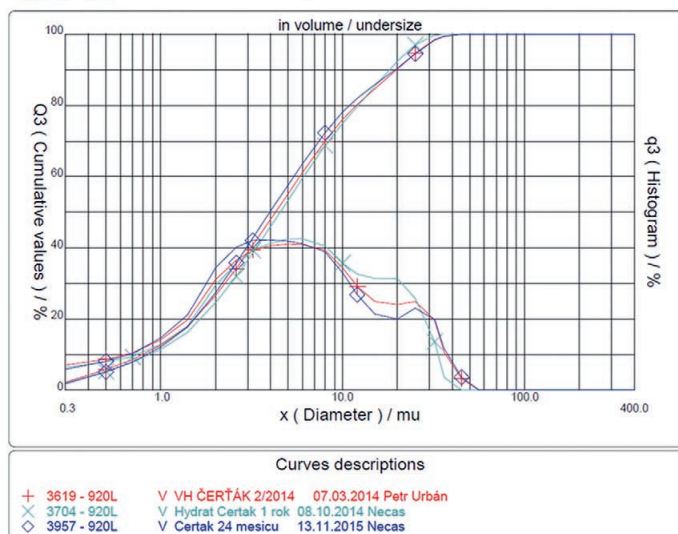
**9** Měřením v nádobě bylo zjištěno, že teplota klesala pod bod mrazu v období od 25. 1. 2014 do 17. 2. 2014, nejníž naměřená hodnota byla –1,7 °C. Přitom nedošlo k vizuální ani měřitelné změně vlastností kaší.

**10** Po dvou a půl letech bylo hodnoceno vápno pro experiment týkající se vlivu mrazu. Vybrané výsledky jsou též uvedeny v tomto článku.

**11** Vedle výsledků publikovaných v tomto článku byly



Graf 1



Graf 2

**Graf 1.** Srovnání distribuce velikosti částic tradičně hašené kaše (tradiční kaše). Červená křivka reprezentuje stav po 6měsíčním odležení tradičně vyhašené kaše, zelená křivka stav po roce a modrá křivka po 2 letech odležení kaše. Zpracovali: Dagmar Michoinová a Radovan Nečas, 2019.

**Graf 2.** Srovnání distribuce velikosti částic kaše připravené z vápenného hydrátu (kaše z hydrátu). Červená křivka reprezentuje stav po 6měsíčním odležení tradičně vyhašené kaše, zelená křivka stav po roce a modrá křivka po 2 letech odležení kaše. Zpracovali: Dagmar Michoinová a Radovan Nečas, 2019.

probíhalo komparací výsledků získaných za shodných podmínek, aby se vyloučil vliv postupu měření na výsledky. Pro porovnání změn byly v počátečních fázích odležení kaší testy realizovány po 6 měsících, dále pak po roce a po dvou letech odležení, což je v praxi obvykle uváděný interval pro minimální dobu odležení.

Pro sledování změn velikosti částic, což je parametr jednak dobře měřitelný a současně pro vlastnosti kaší velmi důležitý, bylo použito měření velikosti částic metodou laserové granulometrie přístrojem CILAS 920L v prostředí bezvodého isopropanolu s rozsahem měření 0,3–400 μm. Aby nedošlo k ucpání měřicí cely, byly hrubší částice odstraněny prolitím přes síto 0,315 mm. Voda byla z vápenné kaše před měřením odstraněna několikanásobnou dekantací (proplachem) isopropanolem. Ultrazvuk pro rozrušení shluků částic před měřením a v jeho průběhu nebyl použit. Popsaný postup byl shodný pro měření všech vzorků po celou dobu experimentu, aby srovnání výsledků bylo zatíženo co nejmenší chybou generovanou me-

todikou měření. Stejná metodika měření byla využita pro hodnocení velikosti částic vápenných kaší po zmrznutí a po následné reaktivaci. Výsledky tohoto experimentu jsou uvedeny dále.

**Výsledky měření distribuce velikosti částic v průběhu odležení kaší a jejich interpretace**

Měření distribuce velikosti částic, které je za popsaných podmínek dobře reprodukovatelné, bylo provedeno na jednotlivých vzorcích, které byly ze zásobníků kaší odebírány s časovým odstupem 6 měsíců, jednoho roku a dvou let po přípravě kaše. Naměřené velikosti a distribuce částic vápenných kaší v průběhu odležení jsou souhrnně uvedeny v grafech 1 a 2.

Z pozice a průběhu křivek je patrné, že odležením docházelo k měřitelným změnám ve srovnatelném rozsahu velikosti částic. Z výsledků je rovněž patrné, že s rostoucím časem odležení se vlastnosti obou kaší mění. Dle předpokladu v průběhu odležení postupně ubývá větších částic, které se rozpadají, a proto přibývá jemnějších částic. Tradiční kaše má při srovnání grafů 1 a 2 mírně odlišné vlastnosti od kaše z hydrátu připravené alternativním postupem. Lze shrnout, že u alternativně připravené kaše (kaše z hydrátu) dochází ke zjemňování struktury částic pomaleji ve srovnání s tradičně hašenou kaší (tradiční kaše).

Uvedené závěry platí právě pro zkoumaný typ vápen a kaší. Aby bylo možné naměřené výsledky zobecnit i pro další u nás dostupné druhy vápen, bylo by potřeba shodný experiment provést i pro ně. Z praktických zkuše-

ností s alternativní přípravou vápenných kaší je již na základě senzorického porovnání zjevné, že rozdíly pro různé druhy u nás dostupných vápen existují a nejsou zanedbatelné.

**Rozšíření výzkumu o vliv mrazu na vápenné kaše**

Program výzkumu byl ve druhém roce experimentu rozšířen o zkoumání vlivu mrazu na vlastnosti vápenných kaší. V této otázce jsou názory odborníků nejednoznačné – dodavatelé vápen zpravidla doporučují kaše po zmrznutí likvidovat, zatímco někteří řemeslníci takový názor nesdílí a kaše dále používají.<sup>12</sup> Tento dodatečný experiment probíhající na kaších popsaných výše, které byly odleženy po dobu 30 měsíců, přinesl navíc i další zajímavé výsledky pro srovnání vlastností kaše hašené tradičně a připravené alternativním postupem.

**Metodika výzkumu**

Výzkum probíhal na tradiční kaši i na kaši z hydrátu, jejichž příprava je popsána výše. Kaše o objemu cca 2 litry (kaše hydrát a tradiční kaše) byly v uzavřených plastových nádobách

#### ■ Poznámky

měřeny tokové vlastnosti kaší a mikrostruktura kaší metodou SEM. Další výsledky jsou uvedeny v pracích: [13] Dagmar Michoinová – Radovan Nečas, Výzkum vlastností vápenných kaší připravených za rozdílných podmínek, in: *Vápenický seminář 2018: odborný seminář Výzkumného ústavu stavebních hmot, a. s., Brno 2018, s. 19–35.*

<sup>12</sup> Dagmar Michoinová, *Příprava vápenných malt v péči o stavební památky*, 2. vyd., Praha 2014, s. 19–20.



zmrazeny v 5 cyklech vždy z teploty 20 °C na teplotu -10 °C a zpět. Kaše v průběhu zmrazení nevyschly. Ihned po posledním rozmrazení byly kaše testovány, dále pak byly testovány po 1 měsíci od rozmrazení. Poté následovalo intenzivní míchání kaší – tzv. reaktivace kaší. Proces míchání probíhal v nádobách, ve kterých byly kaše zmrazovány, v laboratorních podmínkách bylo použito spirální míchadlo s rychlostí 450 ot./min. Po každém intervalu míchání po 10, 20, 30 a 40 minutách míchání byl z nádoby odebrán vzorek, který byl výše popsaným postupem testován na distribuci velikosti částic, empiricky byla hodnocena a dokumentována změna plasticity kaší v průběhu reaktivace, jak ukazuje obr. 8.

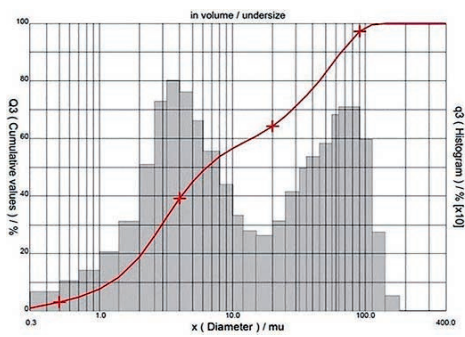
#### *Vybrané výsledky měření vlivu mrazu na vlastnosti vápenných kaší<sup>13</sup> – sledování změny konzistence a vaznosti vápenných kaší*

Na základě zkušeností s nejednoznačnou interpretací tokových vlastností vápenných kaší získaných v předchozích etapách výzkumu bylo v experimentu sledujícím vliv mrazu na vlastnosti vápenných kaší přistoupeno k empirickému zhodnocení konzistence a vaznosti kaše. Tento empirický test spočíval ve vizuálním hodnocení množství kaše, která ulpěla na míchadle po zamíchání kaše po různých intervalech její reaktivace (intenzivního míchání). Výsledky jsou pro představu uvedeny pro tradiční kaši (obr. 8).

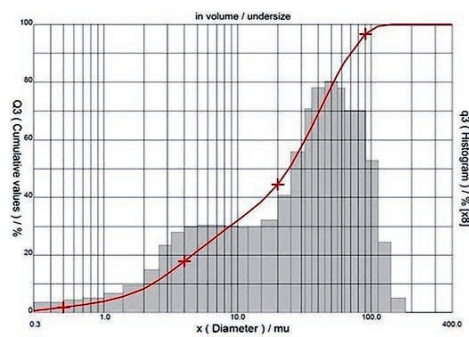
Při tomto empirickém testu nebyly rozdíly mezi tradiční kaší (tradiční kaše) a alternativním postupem připravenou kaší (kaše hydrát) výrazné. Směs hrudek vápna ve vápenné vodě se reaktivací navrací (rozmíchává) zpět do konzistence kaše, s rostoucím časem míchání se výrazně zlepšuje vaznost kaše – tj. roste množství kaše ulpělé na míchadle.

#### *Sledování změny distribuce velikosti částic vápenných kaší*

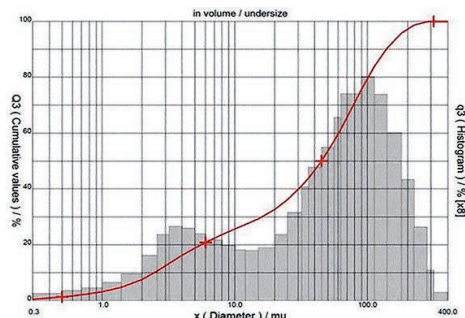
Distribuce velikosti částic vápenného pojiva pro obě kaše byla měřena před zmrazením kaše po 30 měsících odležení, po rozmrznutí, měsíc po rozmrznutí kaší a dále po každém intervalu intenzivního míchání, tj. po 10, 20, 30 a 40 minutách míchání. V textu jsou uvedeny výsledky kaší před zmrazením, po rozmrznutí kaší, měsíc po rozmrznutí a až po 40 minutách míchání. Srovnání distribuce velikosti



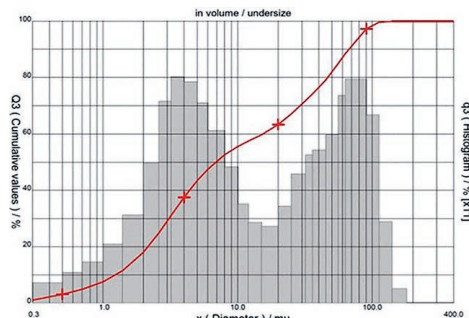
Graf 3



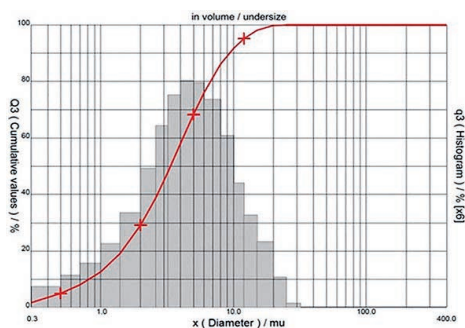
Graf 4



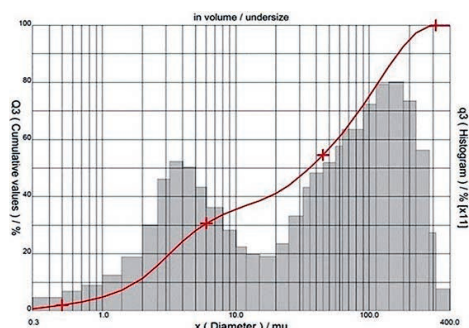
Graf 5



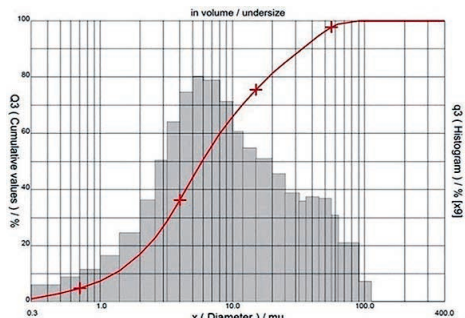
Graf 6



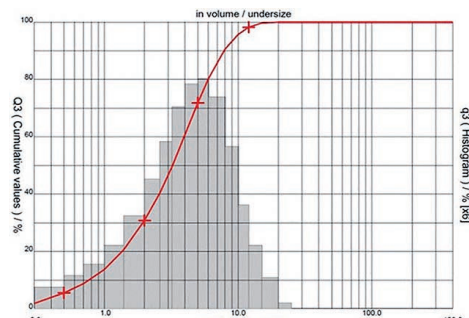
Graf 7



Graf 8



Graf 9



Graf 10

**Graf 3–6.** Srovnání distribuce velikosti částic získaných v průběhu experimentu pro kaši z hydrátu: 3) před zmrazením, stáří 30 měsíců, 4) po zmrazení a rozmrznutí, 5) 1 měsíc po zmrazení a rozmrznutí, 6) po 40 minutách míchání (reaktivace). Zpracovali: Dagmar Michoinová a Radovan Nečas, 2019.

**Graf 7–10.** Srovnání distribuce velikosti částic získaných v průběhu experimentu pro tradičně hašenou kaši: a) před zmrazením, stáří 30 měsíců, b) po zmrazení a rozmrznutí, c) po 1 měsíci po zmrazení a rozmrznutí, d) po 40 minutách míchání (reaktivace). Zpracovali: Dagmar Michoinová a Radovan Nečas, 2019.

#### ■ Poznámky

**13** Byly měřeny distribuce velikostí částic a tokové vlastnosti kaší. Ty nejsou v tomto článku zařazeny, dostupné jsou v práci Michoinová (pozn. 12).

částic získaných v průběhu experimentu je pro kaši z hydrátu uvedeno v grafech 3–6, srovnání distribuce velikosti částic tradičně hašené kaše je v grafech 7–10.

#### *Interpretace výsledků měření vlivu mrazu na vlastnosti vápenných kaší*

Na základě výsledků pokusu, který hodnotil vliv mrazu na vlastnosti vápenných kaší připravených odlišnými postupy, lze konstatovat, že obě kaše po zmrazení a rozmrazení ztrácejí charakteristické vlastnosti kaší, zejména plasticitu, vaznost a konzistenci. Z kaše o konzistenci změkklého másla se zmrazením a rozmrazením stává směs hrudek vápna ve vápenné vodě. Směs hrudek vápna ve vápenné vodě se intenzivním mícháním (reaktivací) postupně navrácí zpět do charakteristické konzistence kaše, s rostoucím časem míchání se výrazně zlepšuje i vaznost kaše – roste množství kaše ulpělé na míchadle.

Vliv mrazu a následné reaktivace na změny distribuce velikostí částic vápna (granulometrie) obou kaší byl dobře měřitelný pro zkoumané vzorky.

Distribuce velikosti částic vápna v kaši se po zmrazení a rozmrazení rapidně posouvá směrem k hrubším částicím. To je dobře patrné srovnáním distribuce velikostí částic na grafech 3 a 4 pro tradiční kaši a na grafech 7 a 8 pro kaši z hydrátu připravenou alternativním postupem. Srovnáním grafů 3 a 7 (obě kaše ve stáří 30 měsíců) je pak patrná výrazně jemnější struktura tradiční kaše ve srovnání s kaší z hydrátu.

Již po měsíci od zmrazení a rozmrazení lze pozorovat tendenci kaší k samovolnému zjemňování své struktury. To je dobře patrné srovnáním granulometrické plochy na grafech 4 a 5 pro kaši z hydrátu s plochami na grafech 8 a 9 pro tradiční kaši. Přitom je patrné, že samovolný rozpad částic je výraznější u tradiční kaše ve srovnání s kaší připravenou alternativním postupem.

Intenzivním mícháním (mechanickou reaktivací) dochází postupně k návratu distribuce velikostí částic kaší před zmrazením, což je zjevné při srovnání grafů 3 a 6, resp. 7 a 10. Navíc výsledky, které zde nebyly prezentovány, demonstrovaly, že tradiční kaše vykazuje ve srovnání s kaší z hydrátu rychlejší průběh zjemňování struktury částic.

#### *Shrnutí poznatků*

V rámci zde prezentovaného průzkumu byly připraveny vápenné kaše tradičním hašením kusového vápna (tradiční kaše) a smícháním za sucha hašeného vápenného hydrátu s vodou (kaše z hydrátu). Suroviny pro přípravu kaší pocházely od téhož výrobce (Vápenka Čertovy schody, a. s.). Tím se v experimentu snížil vliv kvality suroviny a režimu výpalu na hodnotené parametry kaší. Hodnocení vlastností kaší bylo prováděno po 6 měsících, 1 roce a 2 letech.<sup>14</sup> Prováděno bylo komparací dat, která byla měřena za shodných podmínek. Tím se omezila chyba v důsledku podmínek měření.

Po dobu první zimy bylo v plastových nádobách, kde docházelo k odlezení vápenné kaše, sledováno klima (teplota a vlhkost) se záznamem do datalogeru; při tom bylo vizuálně a následně testy prověřeno, že krátkodobý mírný pokles teploty pod bod mrazu pod víkem nádoby nevedl k poškození kaší mrazem.

Pro obě kaše připravené odlišnou cestou představuje odlezení, tj. dlouhodobý kontakt vápna s vodou bez přístupu vzduchu, proces, který vede ke zjemňování částic pojiva, což lze interpretovat jako zlepšování vlastností kaší, které jsou signifikantní pro stavební účely, dnes zejména pro obnovu historického stavebního fondu.

Tradiční kaše, připravená mokřým hašením (v nadbytku vody), vykazovala v procesu zjemňování částic při odlezení ve srovnání s kaší z hydrátu, která vznikla smícháním suchého vápenného hydrátu, nepatrně lepší vlastnosti. Tento proces zjemňování tradiční kaše probíhal intenzivněji zejména po prvním roce odlezení a spontánně i po zmrazení a při intenzivním míchání rozmrzlé tradiční kaše. Tyto výsledky byly získány při rozšíření experimentu o hodnocení vlastností kaší vystavených účinku mrazu. Po zmrazení a rozmrazení kaše ztrácejí svoje charakteristické vlastnosti (vaznost, konzistenci, plasticitu). Distribuce velikosti částic vápna se po zmrazení a rozmrazení kaší posouvá směrem k hrubším částicím, což lze vysvětlit vznikem shluků (aglomerátů) krystalů portlanditu ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) v kaších. Již po měsíci po rozmrazení kaší byla patrná tendence obou kaší ke spontánnímu zjemňování struktury. Ta byla výraznější u tradiční kaše než u kaše z hydrátu, jak již bylo uvedeno. Intenzivním mícháním (mechanickou reaktivací) kaší vystavených účinkům mrazu dochází u obou kaší postupně k návratu distribuce velikosti částic, jakou měly před zmrazením. Pravděpodobná příčina této skutečnosti je rozbití částic (aglomerátů

krystalů portlanditu) mechanickým působením při míchání. Tradiční kaše vykazovala také v tomto experimentu intenzivnější zjemňování struktury než kaše z hydrátu.

Je důležité upozornit na fakt, že uvedené závěry platí právě pro zkoumaný typ vápen. Aby bylo možné naměřené výsledky zobecnit i pro další druhy vápen, bylo by potřeba shodný experiment provést i pro ně.

I když se v případě distribuce částic jedná o exaktně hodnotitelnou materiálovou vlastnost, zatím neexistují rozsahy hodnot, které by určily, jaká velikost či distribuce velikostí částic vypovídá jednoznačně o vhodnosti kaše pro stavební účely. Lze však zobecnit, že s rostoucí jemností destičkovitých částic se uživatelské vlastnosti kaší zpravidla zlepšují. Protože ke zjemňování velikosti částic vápna dochází intenzivně při odlezení vápenných kaší, použití vzdušného vápna ve formě odležené vápenné kaše lze upřednostnit před přímým použitím vápenného hydrátu pro přípravu a následné použití malt pro péči o stavební památky.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky realizovaného a zde prezentovaného výzkumu prokázaly, že vlastnosti stavebních materiálů připravených tradičními postupy vykazují zatím nepřekonatelné, empirii k dokonalosti dovedené vlastnosti. Je tak nenahraditelnou kulturní ztrátou, když tradiční stavební, ale i umělecká řemesla zanikají. Se ztrátou řemesel ztrácíme víc, než si v současnosti uvědomujeme.

*Článek vznikl v rámci výzkumného cíle Materiály a technologie financovaného z institucionální podpory Ministerstva kultury ČR na dlouhodobý koncepční rozvoj (DKRVO).*

#### ■ Poznámky

**14** Vliv mrazu na kaše byl studován po 30 měsících odlezení kaší.