

Akademie věd ČR  
Ústav teoretické a aplikované mechaniky, v. v. i.  
Centrum Excellence Telč

## Funkční vzorek: **HORKÁ VÁPENNÁ MALTA**

Autorský tým:

Ing. Jan Válek, PhD, ve spolupráci s:  
Eveline van Halem, MA,  
Mgr. Dita Frankeová,  
Bc. Petra Hauková,  
Mgr. Michal Panáček,  
Ing. Olga Tomanová,  
Josef Jiroušek,  
Ing. Jiří Frankl, Ph.D.

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 2015

## Obsah:

	Strana
1. Úvod	1
2. Popis funkčního vzorku	2
2.1 Popis produktu	2
3. Charakteristiky určující jedinečnost produktu	3
3.1 Charakteristiky páleného vápna	3
3.2 Technologické částice	4
3.3 Charakteristika plniva (písku), příměsí a vody	6
3.4 Poměr míšení a základní ověření vlastností	7
3.5 Staveništní příprava malty	10
4. Použití	11
5. Literatura	11

# Funkční vzorek: **HORKÁ VÁPENNÁ MALTA**

## 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 přirozeně hydraulického vápenného pojiva z místních surovin.

Horká vápenná malta je způsob přípravy malty. Je to specifický způsob přípravy malty z páleného kusového vápna, který byl hojně využíván při stavbě masivních kamenných konstrukcí ve středověké Evropě. Důkazy o využívání této technologie a možnost její konkrétní historické specifikace jsou pouze nepřímé a jsou založeny na odvození z dobových vyobrazení staveb a řemesel [1], nebo z průzkumů dochovaných konstrukcí a materiálů [2, 3].

Označení „horká malta“ (anglicky též „hot mortars“) je velmi obecné, jelikož, jak vyplývá z předchozího odstavce, historická technologie není přesně známa a popsána a navíc název evokuje možnost, že malta má být použita ještě teplá. Nicméně, toto označení se v evropské odborné literatuře v posledních letech běžně používá pro malty vyrobené způsobem, kdy se vápno vyhasí ve směsi pískem. S tímto způsobem hašení a přípravy jsou spojovány určité výsledné materiálové vlastnosti malty.

Určení postupu přípravy a vymezení horké malty jako konkrétního produktu má smysl zejména pro její využití v oblasti péče o stavební památky. Pro zachování autenticity a věrohodnosti stavebních památek je totiž možnost použít materiál, který odpovídá po vzhledové i funkční stránce historické předloze zcela zásadní.

Výzkum, který předcházel specifikaci funkčního vzorku, vyšel ze znalostí historických malt a omítek (průzkumy a materiálové analýzy), znalostí ikonografického vyobrazení stavebních řemesel a technologií [1], experimentální výroby vápna a ověřování technologií jeho zpracování, výzkumných znalostí založených na fyzikálních experimentech, laboratorních analýzách a zkouškách a v neposlední řadě i z odzkoušení výroby malty a její aplikace v praxi. Pro výzkumné a srovnávací parametrické studie byly provedeny laboratorní zkoušky a vápenná pojiva byla pálena v laboratorní peci. Pro studium tradičních technologií výroby a zpracování byla využita vlastní experimentální vápenná pec, která umožňuje napodobovat různé způsoby výpalů vápna využívané v minulosti. Výsledkem uvedeného výzkumu a vývoje je níže popsáný funkční vzorek horké malty, který slouží jako vzorový prototyp.

## 2. Popis funkčního vzorku

Funkčním vzorkem je vápenná malta připravená hašením vápna ve směsi s pískem. Její unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastností je napodobení historické předlohy. Níže jsou popsány charakteristiky malty - produktu (funkčního vzorku) – které jsou podstatné pro zaručení jejich specifických vlastností.

### 2.1 Popis produktu

Horká vápenná malta je malta vyrobená z vápenného pojiva, plniva (písku) a vody. Charakteristické jsou pro ní specifická technologie přípravy a složení.

Horká vápenná malta je připravena postupem, kdy se nehašené vápenné pojivo smíchá s vlhkým či mokrým 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 cm, které pocházejí ze suroviny, ze které bylo vápenné pojivo vyrobeno, ale které nespĺňují 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 pojít ostatní pevné látky. V dokumentu se dále nazývají jako „technologické částice“.

Ukázky z výroby funkčního vzorku jsou uvedeny v příloze 1.



**Obr. 1.** Čerstvě zpracovaná horká malta a čerstvě nahozená jako zkušební omítkový panel na hřbitovní zdi v Krchlebech u Čáslavi.

### 3. Charakteristiky určující jedinečnost produktu (malty)

#### 3.1 Charakteristika páleného vápna

**Vápno** - pro přípravu horké malty mohou být použity jak vzdušná tak přirozeně hydraulická vápna. Požadavek na jejich složení a kvalitu je dán ČSN EN 459-1.

**Forma pojiva:** nehašené kusové vápno

**Vápno se při hašení musí rozpadat na jemné částice.**

#### Komentář

V minulosti byly využívány suroviny v závislosti na lokální dostupnosti, a tudíž jejich výběr byl do jisté míry závislý na regionálních geologických podmínkách. Nepochybně byly upřednostňovány čisté vápence pro výrobu vzdušného vápna, ale v mnoha případech byly využívány i méně čisté vápence, které po výpalu poskytovaly přirozeně hydraulická vápna. Pro výrobu horké malty, které má napodobovat historickou, je podstatné, do jaké míry má nově použité vápno odpovídat předloze.

Tabulka 1 uvádí složení některých surovin, které byly použity při výzkumu. Z těchto surovin bylo vyrobeno vápno, které bylo dále použito pro popis kvality, mineralogického složení včetně posouzení jeho vlastností jako pojiva malty. Vápno bylo páleno jak v „ideálních podmínkách“ v laboratorní muflové peci tak v experimentální vápenné peci napodobující tradiční způsob výroby vápna. Vápence uvedené v tabulce 1 jsou známé suroviny, které byly dostupné i v minulosti. Z tabulky je patrná rozmanitost a stupeň znečištění, který je zde vyjádřen cementačním indexem [4], který u surovin vyjadřuje míru potenciální hydraulicity vypálených vápen. Ta kromě chemického složení závisí na mineralogické formě, vazbách a rozmístění jednotlivých prvků. Podmínky výpalu (teplota, doba výpalu, rozložení tepla atd.) pak ovlivňují reakce jednotlivých prvků za vysokých teplot a tím formování nově vzniklých sloučenin – hydraulických fází.

**Tab. 1.** Složení surovin pro výrobu vápna na základě XRF a ztráty žiháním (L.O.I) v hm. %.

	Čertovy schody	Vitošov	Špička	Hvízdálka	Špička	Hvízdálka	Kutná hora
	koněpruské v.	vitošovské v.	řeporyjské v.	zlíchov. v.	dvorecko-prokopské v.	dvorecko-prokopské v.	kutnohorské křídové v.
SiO <sub>2</sub> [%]	0,1	0,7	5,0	8,6	8,2	14,2	21,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	0	0,4	1,2	0	1,3	0,8	1,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	0	0	0,7	0	0,5	0	0
CaO [%]	56,3	55,7	52,3	50,4	50,5	47,5	43,1
MgO [%]	0	0	0,2	0,6	0,3	0,6	0
L.O.I. [%]	43,6	43,2	40,5	40,4	39,1	37,0	34,2
Celkem [%]	100,0	99,9	99,9	100,0	99,9	100,1	99,9
Cement. Index	0,00	0,04	0,3	0,5	0,5	0,8	1,4

Vzdušná vápna se v současné době v ČR vyrábějí a lze je získat v kusové, nehašené podobě. Pro výrobu horké malty lze též využít drcená nehašená vápna. Mletá nehašená vápna nelze využít, jelikož se ztrácí technologické částice, které jsou typické pro horké malty.

Základním požadavkem pro výrobu horké malty je rozpad kusového vápna na jemné pojivové částice během procesu hašení, tedy vlivem reakce CaO s vodou. Vzdušná vápna by měla být měkce pálená (požadavky jsou obecně známy z literatury, např. [5]) 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 jako minimální okolo 10 – 15 % (hm.) aktivního vápna (tj. měkce páleného, rychle reaktivního CaO) [4]. Tuto hranici lze považovat za opravdu minimální a schopnost rozpadu vápna na pojivové částice je třeba ověřit zkouškou reaktivity.

### 3.2 Technologické částice

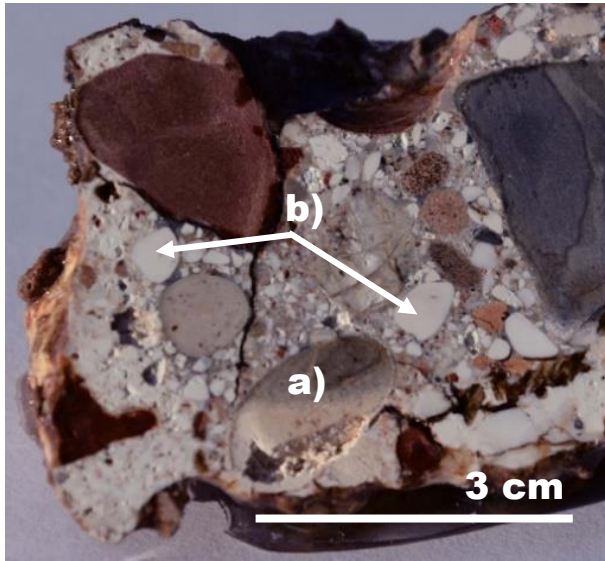
Vápno dle svého charakteru obsahuje *technologické vápenné částice*, které jsou nedílnou součástí horkých malt. Jejich odstranění není v plné míře možné a zásadě ani žádoucí. Důvodem pro jejich částečné odstranění je jejich případná nadměrná velikost s ohledem na zamýšlenou aplikaci.

#### Komentář

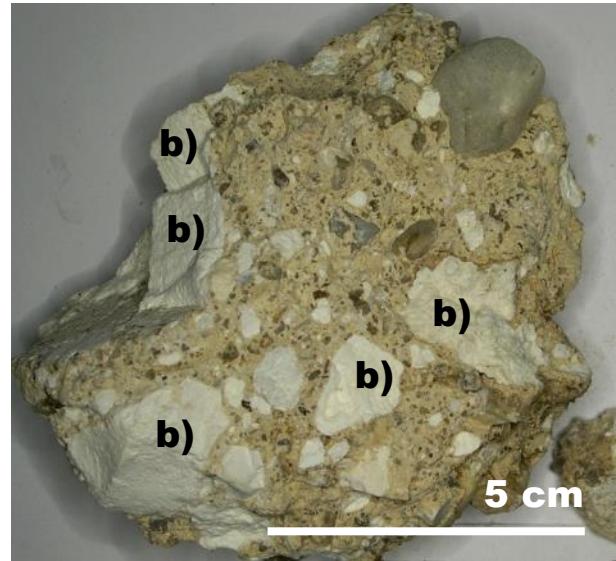
Technologické částice v horkých maltách jsou vícero druhů:

- a)** neúplně (nedostatečně) vypálený vápenec, kde část má stále vlastnosti a struktury 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 mm až po 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 C3S (alit), nebo C3A nelze hašením rozložit, ale tyto částice hydratují a vytváří pevné vazby uvnitř své struktury, tzv. hydratují. S ohledem na svou velikost mají omezenou schopnost pojít. Pokud mají velikost pod 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.

Obrázky 2 a 3 ukazují některé z typů těchto technologických částic přítomných v historických maltách. Částice typu **a)** a **b)** mohou být rozpoznatelné na základě makroskopického popisu. Částice typu **c)** a **d)** lze určit pouze pomocí pokročilejších analytických metod. Na obrázcích 2 a 3 jsou pro názornost vybrány ukázky technologických částic větších velikostí.



**Obr. 2.** Historická vápenná malta z jádra kamenného zdiva obsahuje několik typů technologických částic. Oválný kus částečně vypáleného vápence, který si ve své horní části zachoval vzhled i strukturu původní horniny – částice typu **a**. Částice, které se nerozpadly hašením a které mají složení a strukturu podobnou pojivu – částice typu **b**.



**Obr. 3.** Historická románská vápenná malta z jádra kamenného zdiva obsahuje technologické částice, které se nerozpadly hašením a které mají složení a strukturu podobnou pojivu – částice typu **b**. Ostatní typy technologických částic nejsou určeny, ale jejich přítomnost v maltě nelze potvrdit pouze na základě makroskopického průřezu.

Rozlišení jednotlivých technologických částic na typy **a** až **d** je zde uvedeno pro dokumentaci faktu, že se obecně nejedná pouze o nedokonale vypálené vápno, popř. nedokonale zpracované vápno, ale že v horkých maltách je přítomné širší spektrum částic, které se primárně nechovají jako vápenné pojivo, ale které mají původ v technologii výroby vápna a použitých surovinách. Zde použitá terminologie a navržené rozdělení lze prozatím označit za pracovní a bude jí nutno dále rozvinout a potvrdit výzkumem. V tabulce 2 jsou ukázány výsledky z experimentálního výzkumu vápen z výše uvedených surovin (tab. 1). Je zřejmé, že i v takřka ideálních podmínkách výroby vápna a jeho hašení v nadbytku vody dochází i u velmi čistých vápen ke zbytku po hašení, který nemá parametry pojiva. Se zvýšeným znečištěním vápencových surovin se zvyšuje i zbytek po hašení, který v praxi u přirozeně hydraulických vápen může činit i 50 % (hm.) Ve spodní části tabulky je uveden mineralogické složení zbytku po hašení. Ten víceméně odpovídá znalostem o formování mineralogických fází během výpalu [6]. Na kutnohorském vápenci lze dokumentovat, že kromě chemického složení suroviny je potřeba znát i minerální formu. Křemen ( $\text{SiO}_2$ ) ve zbytku po hašení ve vápně z kutnohorského vápence nepřispěl k výrobě vysoce hydraulického vápna, jak by naznačoval cementační index.

**Tab. 2.** Zbytek po hašení a jeho mineralogické složení různých druhů vápen vypálených v laboratorních podmínkách při 1050 °C. Hodnoty mineralogických fází byly určeny z XRD a jsou uvedeny v hm. %

	Čertovy schody	Vitošov	Špička	Hvízdálka	Špička	Hvízdálka	Kutná hora
	koněpruské v.	vitošovské v.	řeporyjské v.	zlíchovské v.	dvorecko-prokopské v.	dvorecko-prokopské v.	kutnohorské vápence
<b>Cement. Index</b>	0,00	0,04	0,3	0,5	0,5	0,8	1,4
<b>Zbytek za 24h po vyhašení [%]</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
Quartz	-	-	0,5	<b>6,8</b>	0,5	0,8	<b>18,7</b>
<b>C2S beta</b>	<b>0,2</b>	-	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>6,6</b>	<b>12,5</b>	-
Wollastonite	0,1	-	0,8	0,4	2,3	2,6	-
Akermanite	0,1	0,1	2,4	0,1	3,4	3,4	-
Portlandite	<b>4,0</b>	5,9	0,8	2,1	1,0	1,8	4,5
Calcite	0,2	0,4	0,3	0,1	-	-	0,5
Amorphous	1,4	2,5	7,2	5,9	9,5	12,7	9,1

### 3.3 Charakteristika plniva (písku), příměsí a vody

**Plnivo a příměsí musí odpovídat pánované aplikaci. Voda musí být čistá.**

#### Komentář

Na plnivo horkých malt nejsou výjimečné nároky oproti běžně známým z literatury (např. Základy stavitelství [7]). Velikost zrn je závislá na druhu použité malty a v minulosti se používal písek či kamenino i o velikosti zrn nad 8 mm. Běžně se používal jak říční tak kopaný písek s určitým podílem jílových částic. Při návrhu plniva pro výrobu horké malty je vhodné zvážit zrnitostní zastoupení podle historické předlohy (je-li známa). Obecně platí, že v pojivu mají být zastoupeny všechny velikosti zrn, kde mezery mezi většími zrny jsou vyplněny jemnější frakcí. Příliš jemný písek vyžaduje vyšší množství pojiva pro jeho obalení s ohledem na zpracovatelnost. Větší zrna bez jemné frakce mají vyšší procento mezerovitosti.

Obdobně je to s případnými dalšími anorganickými příměsemi. Obecně se předpokládá, že horká mata se navrhuje pro opravu staveb, kde byla v minulosti použita. Využití příměsí vychází z analýz historického materiálu.

Voda má jak chemický (hašení vápna) tak mechanický vliv (vazné kapilární síly a zpracovatelnost). Kvalita vody je důležitá a voda by neměla obsahovat nadměrné množství rozpuštěných minerálních látek (neměla by být tvrdá) a organické nečistoty. Bezproblémové je použití pitné vody.

### 3.4 Poměr míšení a základní ověření vlastností

Dávkování složek pro výrobu horké malty bylo v minulosti řízeno zkušenostmi přípravaře malt a bylo založeno na jeho odhadu druhu a kvality vápna. Pro dodržení kvality vyrobené horké malty je v dnešní době nutné při dávkování vycházet z vlastností pojiva a během staveništní přípravy je nutné dodržovat předepsané dávkování. Poměr míšení pojiva a plniv lze navrhnout na základě hodnot určených v tabulce 3.

#### **Komentář**

Přesný poměr míšení pojiva a plniva horkých malt je obtížné určit jelikož, již z podstaty způsobu přípravy se jedná o velmi nepřesný proces. Různá vápna nabývají různě na objemu a mohou obsahovat rozdílné množství podílu, který se nerozpadne na prachové částice – technologické částice.

Dnešní doba umožňuje kvantitativní posouzení zvětšení objemu vápna, změření objemových hmotností (vydatnosti) a i vyjádření zbytku, který nelze vyhasit. Za tím účelem je možné využít normované zkoušky EN ČSN 459-2<sup>1</sup>, popř. pro zbytek po hašení ASTM C110<sup>2</sup>.

Potřeba vápna na 1 m<sup>3</sup> vápenné malty je známa z literatury a pro většinu písků s mezerovitostí okolo 33% platí objemové dávkování 1:3, tedy na 3 díly písku je potřeba 1 díl vápenné kaše. Nebo-li, pro výrobu 1 m<sup>3</sup> vápenné malty je potřeba 1,07 m<sup>3</sup> písku a 0,357 m<sup>3</sup> vápenné kaše o objemové hmotnosti cca 1400 kg/m<sup>3</sup> [8]. Z tohoto orientační poměru lze vyházet i při určování poměru míšení horké malty.

V tabulce 3, jsou uvedeny hodnoty pro vápna vyrobená v laboratorní peci. Na základě znalostí o objemovém navýšení vlivem hašení lze vypočítat kolik je potřeba nehašeného kusového vápna k získání potřebného objemu. Tento objem je dále kompenzován s ohledem na znalost množství zbytku po hašení, tedy materiálu obsaženém v pojivu, který se ale jako vápenné pojivo nechová. Poměrově je ještě korigován objem s ohledem na rozdílné objemové hmotnosti mezi odleženou vápennou kaší a čerstvě vyhašeným vápnem ve zmáčeném stavu. Pro výpočet potřeby vápna na 1m<sup>3</sup> malty tak lze využít vzorec (1).

$$Vq = \frac{0,357}{(Vr \times (1 - Zb))} \times \frac{1400}{vk} \quad (1)$$

Kde,

Vq ... je potřeba páleného vápna na 1 m<sup>3</sup> malty [m<sup>3</sup>];

Vr ... je poměrové objemové zvětšení při hašení v nadbytku vody, dle ČSN EN 459-2;

Zb ... je zbytek na síť 0,12 mm za 24 po hašení vyjádřen jako objemové % z celku;

<sup>1</sup> EN ČSN 459-2 Stavební vápno - Část 2: Zkušební metody

<sup>2</sup> (Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone)

Vk ... je objemová hmotnost zmáčeného hašeného vápna při zkoušce nabývání na objemu dle ČSN EN 459-2.

**Tab. 3.** Hodnoty určené ze zkoušek popisující nabývání na objemu při hašení v nadbytku vody a podílu zbytku po hašení pro různé druhy vápen vypálených v laboratorních podmínkách při 1050 °C

	koněpruské v.	vitošovské v.	řeporyjské v.	zlíchov. v.	dvorecko-prokopské v.	dvorecko-prokopské v.	kutnohorské vápence	
objemová hm. páleného vápna velikosti F4-18 mm [kg.m <sup>-3</sup> ]	840	870	789	775	750	727	842	
objemová hm. páleného vápna velikosti F0-4mm [kg.m <sup>-3</sup> ]	930	1140	900	1000	1000	1000	1053	
objem zmáčeného hašeného vápna z 1 l páleného vápna F0-4mm po 24 h Vr [l]	3,6	3,6	2,7	3	2,3	2,2	2,7	
zbytek za 24h po vyhašení na sítu 0,125 mm Zb [obj. %]	6	9	15	17	25	36	36	
objemová hmotnost zmáčeného hašeného vápna Vk [kg.m <sup>-3</sup> ]	1200	1170	1225	1220	1300	1330	1080	1080
potřeba páleného vápna F0-4 mm na 1m <sup>3</sup> malty Vq [m <sup>3</sup> ]	0,123	0,130	0,178	0,165	0,223	0,267	0,268	
potřeba páleného vápna F4-18 mm na 1m <sup>3</sup> malty Mq [kg]	103	113	140	128	167	194	225	

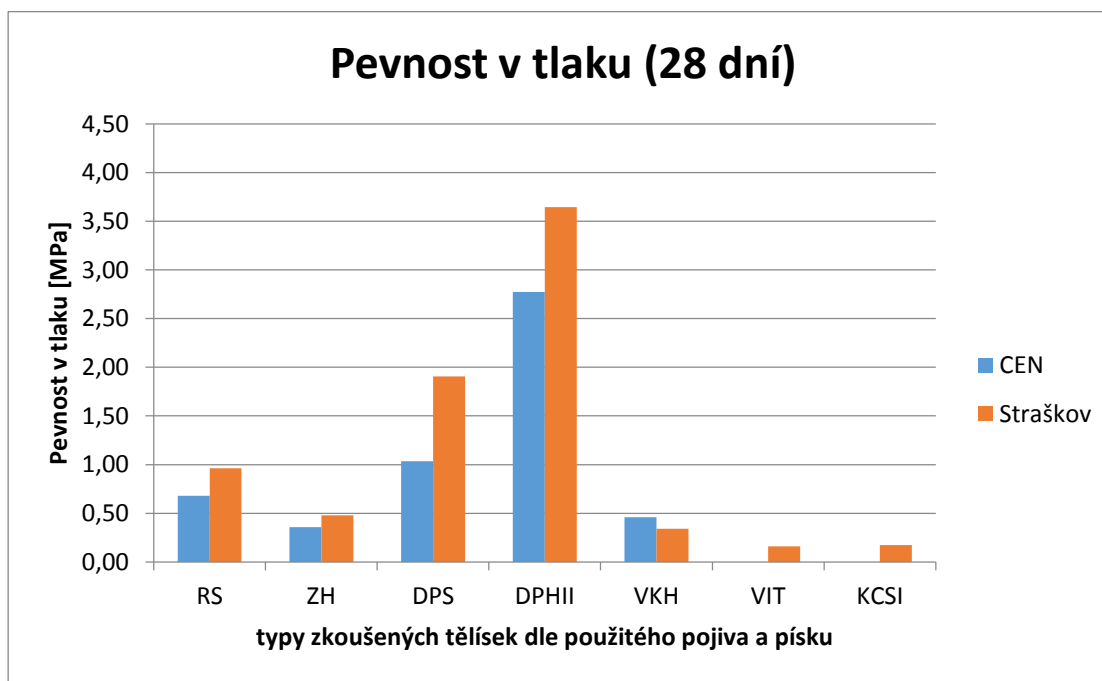
Pro určování poměru míšení je důležité správně započítat i technologické částice. V tabulce 4 je pro návrh horké malty o zbytek po hašení sníženo objemové dávkování písku. Porovnáme-li vypočtené údaje navržené pro dávkování horkých malt z tabulky 3 s údaji od výrobce vzdušných a hydraulických vápen ze začátku 20. století z Berouna [8], zjistíme, že údaje nejsou shodné, nicméně se ani principiálně neliší. Přesnost dávkování dle objemu je vždy do jisté míry nepřesná a to platí i o přepočtech na základě objemových hmotností sypaných granulárních pojiv. Obdobně je tomu i u zkoušek určující objemový nárůst vlivem hašení ve zmáčeném stavu popř. určování objemového procenta nedopalu.

Pro návrh horkých malt lze brát hodnoty v tabulce 3 jako výchozí podklad pro známá vápna obdobného typu. Pro vápna vyrobená tradičním způsobem a vápna, u kterých nejsou jejich výše zmiňované vlastnosti dodatečně známi, je třeba tyto vlastnosti určit laboratorními zkouškami. Pro dávkování je nezbytné znát sypané objemové hmotnosti, vydatnosti a zbytek po hašení. Kromě samotného návrhu na základě výsledků zkoušek je nutné realizovat zkušební přípravu horké malty. Ta slouží k praktickému ověření vypočteného dávkování, zpracovatelnosti malty a ověření specifických vlastností podle nároků na její aplikaci (např. objemová stálost). Pro posouzení těchto specifických vlastností slouží normové zkoušky ČSN EN 1015<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo

**Tab. 4.** Porovnání doporučeného dávkování z katalogu berounského výrobce a dodavatele vápna [8] a výpočtu dávkování navrženého pro přípravu horké malty. V obou případech je dávkování vypočteno pro přípravu 1 m<sup>3</sup> vápenné malty.

	katalog		návrh pro horké malty	
	koněpruské bílé vápno 1a	damilské hydraulické vápno	vzdušné vápno z koněpruské ho vápence	hydraulické vápno z dvorecko-prokopských vápenců
pálené vápno				
objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	847	911	840	750
objem vápna [m <sup>3</sup> ]	0,1668	0,2127	0,123	0,223
hmotnost vápna [kg]	141,3	181,7	104	167
voda k uhašení [l]	565	509	-	-
objem zmáčeného vápna [m <sup>3</sup> ]	0,357	0,3508	-	-
objem říčního písku [m <sup>3</sup> ]	1,071	1,0526	1,007	0,803



**Obr. 4.** Pevnosti v tlaku určené dle normové zkoušky EN1015 po 28 dnech zrání. Zkušební tělíska „horké malty“ byla vyrobena z páleného vápna (RS – řeporyjské vápence, ZH – zlíčovské vápence, DPS – dvorecko-prokopské v. z lomu Špička, DPH – dvorecko-prokopské v. z lomu Hvíždalka, VIT – vitošovské vápence, KCS – koněpruské vápence) a dvou druhů písku (CEN – normalizovaný písek z pískovny Straškov).

Z laboratorně vypálených vápen byla zkušebně připravena horká malta v laboratorních podmínkách. Dávkování pojiva a plniva bylo dle tabulky 3. Jako plnivo byl použit normovaný písek CEN a písek frakce f0-4 mm z pískovny Straškov. Malta byla připravena v laboratorní míchačce v několika krocích, kdy během míchání došlo k vyhašení vápna. Celková doba přípravy trvala 30 minut a skládala se z 10 minut míchání, 15 minut odležení a 5 minut míchání. Voda byla dávkována průběžně dle potřeby během míchání. Před použitím byla ověřena zpracovatelnost na setřásacím stole. Z připravené malty byly vydusány zkušební tělíška o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, která byla následně uložena do prostředí odpovídající charakteru pojiva. Po 28 zrání byly provedeny mechanické zkoušky pevností v tahu za ohybu a tlaku. Obr. 4 ukazuje výsledky tlakových zkoušek. Kromě ověření kvality vyrobených malt lze u zkušebních tělíšek vyrobených z přirozeně hydraulických vápen porovnávat hodnoty pevností v tlaku s hodnotami určující kategorie těchto vápen, tedy zda se jedná o NHL2, 3,5 popř. 5.

### 3.5 Staveništní příprava malty

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 3. První vrstva je písková a na konci musí zůstat písek na zakrytí celé hromady minimálně vrstvou okolo 30-50 mm. Další postup závisí na době zpracování respektive době odležení.

#### **Komentář**

Přesný a jednotný způsob na přípravu horké malty, který by napodoboval historickou předlohu, pravděpodobně není znám. V praxi je nejčastěji využíván způsob, kdy se na sebe vrství písek, nehašené vápno, písek atd. Velikost kopy a její délka je dána potřebou malty, viz. obr. 5.

Podstatným krokem je uležení takto připravené směsi, které je buď krátkodobé v řádu několika hodin, kdy 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. V případě omítek je nutno celou 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 přístup vzduchu a opařování vlhkosti v řádu desítek dní. U hydraulických vápen je tato doba od jednoho do deseti dnů v závislosti na míře jejich hydraulicity.

Alternativou je ponechání vrstvených hromad směsi delší dobu (doba je opět závislá na charakteru pojiva, viz výše) na venkovním prostředí, kdy dojde k postupnému vyhašení vápna vlhkostí přirozeně dodávanou dešťovými srážkami a klimatickými podmínkami. Po odležení lze zpracovat na maltu s případným přidáním vody. Vápno by mělo být vyhašeno.

Celý proces přípravy horké malty včetně dávkování byl po laboratorním ověření použit při rekonstrukci památkově chráněného haltýře v obci Salajna, viz obr. 6.



**Obr. 5.** Příprava horké malty, kdy vrstvy vápna s pískem jsou ponechány několik desítek dní ve venkovním prostředí. Vápno se postupně vyhasí. (Foto Michal Hrčka).



**Obr. 6.** Omítka z horké malty a vápna vyrobeného v experimentální peci v Solvayových lomech byla použita při rekonstrukci památkově chráněného haltýře v obci Salajna (Foto Daniel Šufana).

## 4. Použití

Výše jsou popsány procesy, které charakterizují způsob přípravy horké malty, který využívají tradiční postupy. Z popisu je zřejmé, že výsledný produkt, horká vápenná malta, má vlastnosti dané výše zmiňovaným technologickým postupem, který je tudíž v základních parametrech nutné dodržet, aby se jednalo o tradiční produkt s požadovanými vlastnostmi. Ze své podstaty se jedná o produkt velmi variabilní. Jeho charakteristickou vlastností je vliv technologického postupu přípravy na výsledné vlastnosti a charakter malty. Podstatnou složkou horké malty jsou tzv. technologické částice. Ty jsou nedílnou součástí způsobu využití pojiva a stávají se tak i součástí zatvrdlé malty.

Způsob přípravy horké malty má určité výhody při použití na stavbách. Při ručním zpracování vápna se jedná o relativně bezpečný proces hašení. Použitím této technologie se tak vynechává hašení samotného vápna a tím se celý proces výroby zefektivňuje. Z literatury a vědeckých studií jsou známy i další výhody, například narušení zrn plniva vlivem hašení a společného zrání, které má následně kladný vliv na vazbu mezi plnivem a pojivem. Tyto, ale i další známé teorie jsou předmětem základního výzkumu a na základě jeho výsledků bude v budoucnu možné navržené postupy upřesnit.

## 5. Literatura

- [1] Binding, G.: Medieval Building Techniques, Tempus, 2001.
- [2] Malinovski, E.S., Hansen, T. S.: Hot Lime Mortar in Conservation – Repair and Replastering of the Facades of Lacko Castle, Journal of Architectural Conservation, Vol. 17., 95-118, 2011.
- [3] Válek, J., Zeman, A.: Properties of historic mortars in relation to technology of their production. sborník z „11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone“, 15-20, září 2008,

Torun, Poland, eds. J. Lukaszewicz, P. Niemcewicz, Volume I, Nicolaus Copernicus University Press, Toruń 2008, s. 775-783.

[4] Eckel, C. E.: Cements, Limes and Plasters, John Wiley & Sons, New York and Chapman & Hall, London, 1928.

[5] Oates, J.A.H.: Lime and Limestone, Chemistry and Technology, Production and Uses, Wiley-VCH, Weinheim 1998.

[6] Taylor HFW. Cement chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford Publishing; 1997.

[7] Janč, L., Kudrlička, V., Kytýr, J.: Základy stávitelství. Práce, Praha 1953.

[8] Hošek, J., Muk, J.: Omítky historických staveb, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1989).

## Příloha 1. Fotodokumentace staveništní přípravy horké vápenné malty



Obrázek 1 – 1. První písková vrstva



Obrázek 1 – 2. Postupně se na sebe vrství mokrý písek a pálené, nehašené vápno.



Obrázek 1 – 3. Druhá písková vrstva.



Obrázek 1 – 4. Poslední vrstva je písková. Takto předpřipravenou směs je možné zpracovat, nebo nechat postupně hasit a odležet.



Obrázek 1 – 5. Ručně zpracovaná horká vápenná malta.



Obrázek 1 – 6. Omítka z horké vápenné malty. Haltýř, Salajna. Realizace 2015.

