



národní
úložiště
šedé
literatury

Zpevnění historické vápenné omítky disperzí nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholu

Slížková, Zuzana
2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-200858>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 18.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

č. 5

o uznání uplatněného Památkového postupu
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“

Název Památkového postupu: *Zpevnění historické vápenné omítky disperzí
nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholu*

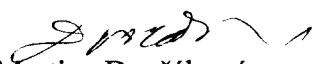
Autorský kolektiv: *Ing. Zuzana Slížková, Ph.D., Mgr. Dita Frankeová*

Příjemce podpory na jejímž základě byl Památkový postup vytvořen:
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR

Dedikace: *Projekt NAKI: „Nové materiály a technologie pro konzervaci povrchů
památkových objektů a preventivní památkovou péči“
Identifikační kód projektu: DF11P01OVV012*

Uživatelé Památkového postupu v praxi: *Uživateli Památkového postupu
budou restaurátoři, technologové a pracovníci památkové péče.*

V Praze dne 14. 10. 2015


Ing. Martina Dvořáková
ředitelka Odboru výzkumu a vývoje MK



Název památkového postupu: Zpevnění historické vápenné omítky disperzí nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholu

Dedikace: NAKI DF11P01OVV012 „Nové materiály a technologie pro konzervaci materiálů památkových objektů a preventivní památkovou péči“

Autoři výsledku: Ing. Zuzana Slížková Ph.D. a Mgr. Dita Frankeová

Oponenti památkového postupu:

Mgr. art. Luboš Machačko, Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
Martin Martan ak. mal. rest., soukromý restaurátor, U hráze 3, 100 00 Praha 10

Název vlastníka výsledku: Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.
Prosecká 76, 190 00 Praha 9, IČ 68378297, DIČ CZ68378297.

Příloha: Protokol o ověření Památkového postupu v praxi

ZPEVNĚNÍ HISTORICKÉ VÁPENNÉ OMÍTKY DISPERZÍ NANOČÁSTIC HYDROXIDU VÁPENATÉHO V ALKOHOLU

Památkový postup

Interní identifikační kód památkového postupu: PP-NAKI12-NVO/2015

1. Úvod

Tento památkový postup je výsledkem výzkumného projektu s názvem „Nové materiály a technologie pro konzervaci materiálů památkových objektů a preventivní památkovou péči“, č. NAKI DF11P01OVV012, podpořeném Ministerstvem kultury ČR. Jedním z úkolů projektu bylo vypracování a ověření postupu konsolidace historických materiálů památkových objektů. Předkládaný postup se týká zpevnění historických vápenných omítek.

2. Cíl památkového postupu

Cílem památkového postupu je záchrana historické vápenné omítky na stavebním objektu, který je kulturním dědictvím, přičemž poškození omítky se vyznačuje dezintegrací (oddělováním zrn nebo shluků zrn). Záchrana omítky spočívá v její impregnaci kapalným vápenným zpevňujícím prostředkem, který prosákne omítku a po vytvrdnutí vrátí omítce potřebnou soudržnost. Cílem postupu je zvýšit soudržnost omítky jen do takové míry, aby omítce zůstaly vlastnosti charakteristické pro omítku s vápenným pojivem.

3. Popis památkového postupu

Vymezená plocha dezintegrované omítky (např. 1 m²) se rovnoměrně zkrápí kapalným zpevňujícím prostředkem, kterým je vápenná disperze obsahující hydroxid vápenatý ve formě částic rozptýlených v etanolu, přičemž vápenné částice mají velikost 50-150 nm. Disperze, nanesená na povrch omítky, penetruje různě rychle (v závislosti na velikosti pórů omítky) z povrchu omítky do její hloubky. Zkrápění povrchu omítky trvá tak dlouho, dokud se vápenná disperze ještě do omítky vsakuje a přeruší se v okamžiku, kdy již jsou póry omítky disperzí naplněné a prostředek do omítky již nepenetruje. Kromě jemného kropení se aplikace disperze na omítku může provádět postřikem nebo pomalým poléváním až do nasycení omítky. Obvyklá dávka nutná pro prosáknutí vrstvy omítky do hloubky 1,5 cm je 2,5 litru prostředku naneseného na 1m² povrchu.

Pro zpevnění vápenných omítek se použije vápenná disperze s koncentrací v rozmezí 10 až 25 g/l (hodnota koncentrace udává obsah hydroxidu vápenatého v disperzi). Na jemnozrnné a jemněji porézní omítky se aplikuje disperze s nižší koncentrací (10 až 15 g/l), zatímco na hrubé omítky s velkými póry (desítky až stovky μm) je možné použít více koncentrovanou disperzi (25 g/l). Při aplikaci méně koncentrované disperze (10g/l) je obvykle potřebné omítku napustit dvakrát až třikrát, při vyšší koncentraci (25 g/l) jedenkrát až dvakrát. Druhá a každá další aplikace (prosycení vrstvy omítky disperzí) se provádí až po vyschnutí zpevňované omítky.

Zpevnění omítky se projeví do několika dní (podle teploty a vlhkosti vzduchu) nárůstem soudržnosti omítky. Po každé aplikaci by měly být zhodnoceny alespoň in-situ měřitelné parametry (soudržnost omítky a rychlost absorpce vody do omítky). Vlastnosti ošetřené omítky by se měly postupně (po dílčích zpevňujících krocích) přibližovat vlastnostem nepoškozené vápenné omítky.

Aplikace vápenné disperze se provádí za vhodného počasí, kdy je omítka vyschlá, obsah vlhkosti v omítce odpovídá rovnovážné vlhkosti, relativní vlhkost vzduchu je do 75% a teplota vzduchu od 10

do 22°C. K postřiku omítky se využívají běžné ruční nebo tlakové postřikovače. Tlak dopadající disperze musí být nízký přiměřeně stavu degradované omítky, aby nanášení kapalného prostředku nezpůsobovalo odpadávání zrn nebo shluků zrn omítky z fasády.

4. Příklady použitelných vápenných disperzí (disperzí nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholu)

Jsou dostupné vápenné disperze od více výrobců. Na základě výsledků provedeného výzkumu má v současné době nejlepší vlastnosti vápenná disperze CaLoSiL E (výrobce IBZ - Salzchemie GmbH & Co.KG). Informace o výrobku jsou dostupné v technickém listu na <http://www.ibz-freiberg.de/>. Koncentrace vápna v prostředku je udána v názvu prostředku, např. CaLoSiL E 25 obsahuje 25g hydroxidu vápenatého v litru prostředku, zatímco CaLoSiL E 15 pouze 15 g hydroxidu vápenatého v litru prostředku. Prostředek se před aplikací nijak neupravuje.

5. Optimální dávkování zpevňující disperze

Objemové množství disperze, které se má nanést na omítku během jedné impregnace a také odhad času, potřebného k prosycení potřebné tloušťky omítky je vhodné optimalizovat na základě zkoušky nasákavosti omítky přímo na objektu. Na malé zkušební ploše (10x10cm nebo 20x20cm podle možností) se zjistí objemové množství vápenné disperze, které je potřebné pro prosycení omítky (např. 250ml). Kontrola hloubky penetrace vápenné disperze se provádí odseknutím malého vzorku napuštěné omítky (plocha 2x2 cm, hloubka 2 či více cm podle tloušťky omítky) a následným natřením nebo pokapáním plochy kolmé k povrchu omítky fenolftaleinem (indikátorem pH). Omítká prosáklá vápennou disperzí se barví fialově, neprosáklá omítká zůstává beze změny barvy. Podle zjištěné spotřeby vápenné disperze na zkušební ploše se zpřesní objem disperze nanesený na 1m² omítky. Nanesené přebytky disperze, které se nevsakují do omítky, se odsávají savým materiálem (např. buničinou).

6. Barva ošetřené omítky

Jako při každém zásahu, kterým se sytí omítká hydroxidem vápenatým s následnou tvorbou uhličitanu vápenatého, který má bílou barvu, může dojít ke změně barvy omítky (zbělání povrchu). Tato případná změna nevyžaduje žádnou další úpravu u omítek, které mají být následně opatřeny vápenným nátěrem nebo přeomítnuty.

U pohledových (nenatíraných) omítek a zejména v případech, kdy se jedná o umělecká a umělecko-řemeslná díla, je nutno respektovat požadavek NPÚ, aby po zpevnění nedošlo ke změně optických vlastností povrchu zpevňované omítky, tedy ke vzniku nežádoucího bělavého zákalu. Riziko zbělání se technologicky vždy sníží pečlivým dodržováním památkového postupu, volbou spíše nižší koncentrace disperze s nanášením ve více dílčích aplikacích, dodržováním vhodných aplikačních podmínek a odstraňováním nevsáklých přebytků disperze z povrchu omítky, aby nedošlo k jejich zasychání na povrchu. Dalším preventivním opatřením je provedení vzorků zpevnění na omítkách v konkrétních situacích s následným vyhodnocením barvy povrchu omítky pracovníkem NPÚ a stanovením přijatelné intenzity konsolidace pro danou situaci, tedy stanovením přijatelného množství aplikované vápenné disperze.

7. Meze využitelnosti

Památkový postup není vhodný pro zpevňování omítek, které neobsahují póry nebo praskliny větší než 1 µm z důvodu nedostatečné penetrace disperzního prostředku. Může se stát, že póry omítky jsou na povrchu zúženy v důsledku zasolení omítky síranem vápenatým nebo v důsledku přítomnosti jiných depozitů či zbytků kompaktní povrchové úpravy. Strukturu povrchové vrstvy zpevňované omítky

(velikost a četnost pórů) je proto vhodné před zásahem posoudit (nejlépe mikroskopickým vyšetřením příčného řezu odebraným vzorkem omítky).

8. Přínos památkového postupu

Přínos památkového postupu spočívá ve vyšší efektivnosti zpevňujícího procesu oproti dosavadním řešením. Podstata řešení je ve využití nového vápenného prostředku, který díky optimální koncentraci vápna (10-25g/l), velikosti vápenných částic 50-250 nm a absenci vody umožňuje efektivní, kompatibilní a šetrný zpevňující zásah během relativně krátké doby (1 až 3 týdny). Památkový postup je možné aplikovat i na vápenné omítky chudé na pojivo (s obsahem pojiva pod 10 hm%), které není vhodné zpevňovat vápennou vodou. Tím dochází k rozšíření aplikační sféry vápenných zpevňujících prostředků pro historické vápenné omítky.

9. Závěr

Laboratorní výzkum potvrdil účinnost vápenné disperze s velikostí částic 50-150 nm v etanolu pro zpevnění dezintegrované vápenné omítky. Dezintegrovaná vápenná omítka dosáhla po zpevnění standardních hodnot mechanických vlastností vápenné omítky, aniž by došlo k nežádoucím změnám dalších fyzikálních vlastností. Přílohou památkového postupu je protokol o ověření postupu v praxi, při zpevňování historické omítky na hradě Karlštejn s obrazovou dokumentací.

10. Návrh konkrétních uživatelů

Památkový postup je určen pro restaurátory, technology a pracovníky památkové péče.

11. Způsob využití výsledku

Památkový postup je určen pro využití bez omezení.

Byla projednána možnost uzavření smlouvy o využití výsledku mezi vlastníkem výsledku, kterým je ÚTAM AV ČR, v. v. i. se sídlem Prosecká 76, 190 00 Praha 9, IČ:68378297, DIČ:CZ68378297 a uživatelem výsledku, kterým je společnost GEMA ART GROUP a. s. se sídlem Haštalská 760/27, 110 00 Praha 1, IČO:26437741, DIČ:CZ2643774.

Seznam použité související literatury

1. Rathouský, J.: Nanovápno pro konsolidaci poréznych materiálů-principy, mechanismy. Nanomateriály v památkové péči, Sborník přednášek z odborného semináře STOP, Praha, str. 23-31, (2012).
2. Hansen, E., Doehne, E., Fidler, J., Larson, J., Martin, B., Matteini, M., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian Pardo, E., Price, C., de Tagle, A., Teutonico, J. M., Weiss, N.: A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials. *Studies in Conservation* 48, 2003, pp. 13 – 25.
3. Drdáký, M., Slížková, Z., Ziegenbalg, G.: A Nano Approach to Consolidation of degraded Historic Lime Mortars, *Journal of Nano Research*, Vol.8, (2009), pp.13-22
4. Bayer, K., Macounová, D., Machačko, L.: Nanosuspense hydroxidu vápenatého jako konsolidanty poréznych vápenců a vápenných omítek – od laboratorních testů k praktické aplikaci. In: *Acta Artis Academica 2012: Znalost a praxe ve výtvarném umění; Sborník 4. mezioborové konference ALMA*. Praha: Akademie výtvarných umění v Praze, 2012, s. 325-346. ISBN 978-80-87108-33-8.
5. Daehne, A., Herm, Ch.: Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE, *Heritage Science* 2013, 1:11. (<http://www.heritagesciencejournal.com/content/1/1/11>)
6. IBZ-Salzchemie GmbH & Co.KG. Technical Leaflet. CaLoSil®. Freiberg. Dostupné z: http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf

7. Drdáký, M. et al.: "Testing of CaLoSiL treatment effects on historic rendering at Rosa Coeli Monastery in Dolní Kounice", Institute of Theoretical and Applied mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i. – ARCCCHIP Centre of Excellence, *Stonecore report*, Praha, November 2010.
8. Machačko, L., Dunajská, J., Macounová, D.: „Use of CaLoSiL® lime-nanosuspension for conservation of historic rendering of the former convent Rosa Coeli in Dolní Kounice in South Moravia– an example on a reference object“, *Stonecore*, Litomyšl, August 2011.
9. Building limes in Conservation, edited by Ian Brocklebank, The Building Limes Forum, Donhead 2012, ISBN 978 1 873394 95 3. Section 3: Rediscovering Methods and Techniques, Subchapter 19: Paul D'Armada and Elizabeth Hirst, Nanolime for Consolidation of Plaster and Stone (pages 321-337).
10. Girsá, V., Michoinová, D.: Historické omítky-záchrana, konzervace, obnova. Metodika přístupu k historickým omítkám a k jejich záchraně. České vysoké učení technické v Praze. Vydání: 1. ISBN 978-80-01-05229-7.

Seznam publikací, které předcházely památkovému postupu

11. Drdáký, M. ; Slížková, Z. Nanomateriály v péči o památky. Akademický bulletin, 2012, č.10, s. 10-11. ISSN 1210-9525.
12. Drdáký, M. ; Lesák, J. ; Rescic, S. ; Slížková, Z. ; Tiano, P. ; Valach, J. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. *Materials and Structures*, 2012, Roč. 45, č. 4, s. 505-520. ISSN 1359-5997.
13. Slížková, Z. ; Frankeová, D. Strukturální zpevnění vápenné omítky a vápence nanodisperzí CaLoSiL. *Zpravodaj STOP, Nanomateriály v památkové péči*. Sv.14, č.3 (2012), s.47-52. ISSN 1212-4168.
14. Slížková, Zuzana - Frankeová, Dita - Drdáký, Miloš: Strengthening of poor lime mortar with consolidation agents. The 3rd Historic mortars conference. Glasgow : University of the West of Scotland, 2013 - (Hughes, J.) ISBN 978-1-903978-44-3.
15. Slížková, Z., Drdáký, M., Viani, A. Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide. *Journal of Cultural Heritage*. 2015, 16(4), s. 452-460. ISSN 1296-2074.
16. Drdáký, M., Slížková, Z.: In situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces. *Studies in Conservation*, Volume 60, Number 2, p.121-130 (2015).
17. Slížková, Z., Frankeová, D.: Strengthening of Weak Historic Renders with Traditional and Innovated Consolidation Treatment. In: Náprstek, Jiří a Cyril Fischer, *Engineering mechanics 2015. 21st International conference, May 11-14, 2015, Svratka, Czech Republic. Extended abstracts*. 1. vyd. Prague : Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i, 2015, s.282-283. ISBN 978-80-86246-42-0.
18. Drdáký, M.: Non-Standard Testing of Mechanical Characteristics of Historic Mortars, Int. *Journal of Architectural Heritage*, Vol. 5, No. 4-5, ISSN 1558-3058 (print) / 1558-3066 (online), 2011, pp.383-394.

V Praze 16. 6. 2015

Za Ústav teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd České republiky, v. v. i.

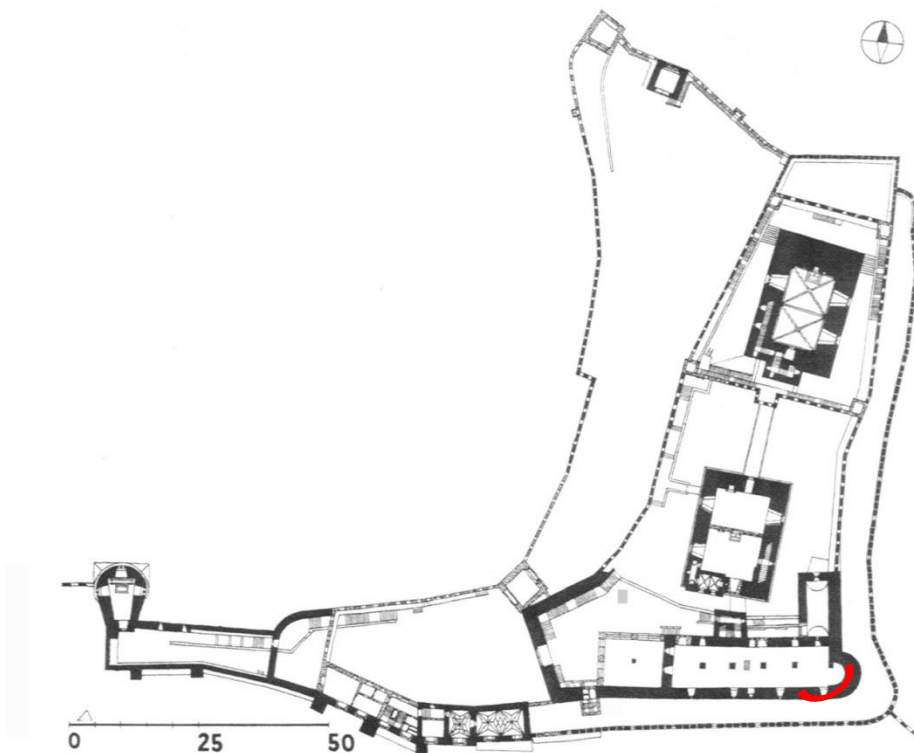
Ing. Zuzana Slížková, Ph.D. a Mgr. Dita Frankeová

PROTOKOL O OVĚŘENÍ PAMÁTKOVÉHO POSTUPU V PRAXI

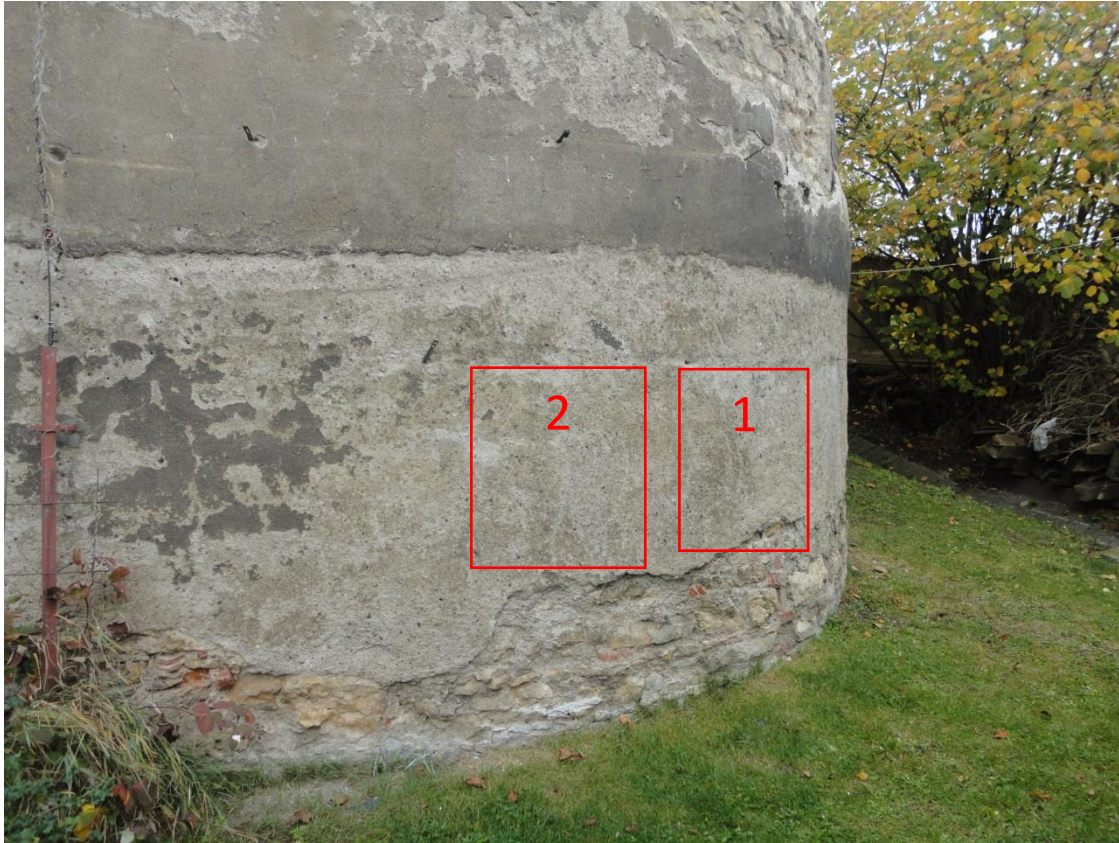
Památkový postup Zpevnění historické vápenné omítky disperzí nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholu byl ověřen Ing. Petrem Justou, restaurátorem a technologem firmy GEMA ART GROUP a. s. (Haštalská 760/27, 110 00 Praha 1, IČO:26437741, DIČ:CZ2643774 e-mail: restaurovani@gemaart.cz).

Postup byl ověřen při zpevňování vnější historické vápenné omítky objektu Císařský palác na hradě Karlštejn (obr. 1) v letech 2013-2014. Ověření proběhlo na základě aplikace popsáno památkového postupu (v září roku 2013) a zjištění výsledků zpevnění omítky (v říjnu 2013 a listopadu 2014).

Vymezená plocha dezintegrované omítky (plocha č. 2 na obr. 2) byla konsolidována rovnoměrným zkrápěním vápennou disperzí, obsahující hydroxid vápenatý ve formě částic velikosti 50-150 nm. Koncentrace disperze byla 10 g/l, disperzním prostředím byl etanol. Během jedné aplikace bylo nanášeno na 1m² omítky 2,5 litru disperze. Po vyschnutí omítky byl s časovým odstupem cca 1 měsíce zjištěn efekt prvního konsolidačního kroku na mechanické vlastnosti omítky, její pórovitost a nasákavost. Bylo zjištěno, že po jedné aplikaci vápenné disperze došlo k prokazatelnému zvýšení soudržnosti omítky (72 % úbytek odtrženého materiálu lepicí páskou), zvýšení tlakové pevnosti o 68 %, zvýšení ohybové pevnosti o 64 %. Otevřená pórovitost klesla o 11 % a přiměřeně se snížila také rychlost absorpce vody do omítky. Absolutní hodnoty pevnosti ošetřené omítky po jednom zásahu (pevnost v tlaku 0,4 MPa, pevnost v tahu za ohybu 0,2 MPa) byly nadále nižší oproti pevnosti standardní vápenné omítky. Zjištěné fyzikální vlastnosti zpevněné historické omítky byly vyhodnoceny jako vyhovující a zpevňování omítky bylo po jedné aplikaci vápenné disperze ukončeno.



Obr. 1. Půdorys hradu Karlštejn s červeně vyznačeným místem aplikace památkového postupu: vnější omítky jižní strany Císařského paláce



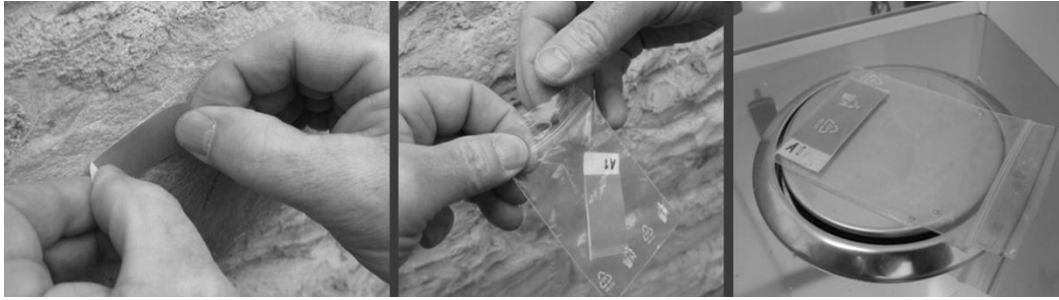
Obr. 2. Pohled na plochu referenční (1) a plochu ošetřenou vápennou disperzí (2)

Metodika ověření

Odběr vzorků referenční (neošetřené) i ošetřené omítky a in-situ měření soudržnosti a nasákavosti omítky proběhlo dne 25. října 2013, asi jeden měsíc po aplikaci památkového postupu. Soudržnost omítky byla hodnocena pomocí tzv. peeling testu a rychlost absorpce vody do omítky pomocí mikrotrubice a Karstenovy trubice. Odebrané vzorky omítky byly v laboratoři upraveny do potřebných rozměrů a následně byla zjištěna jejich pórovitost a pevnost v tlaku a v tahu za ohybu. Hodnoty vlastností zjištěné na ošetřené omítce byly porovnány s hodnotami neošetřené (referenční) omítky.

Dokumentace výsledků: peeling test

Metodika: Peeling test hodnotí povrchovou soudržnost materiálu a lze jej využít pro posouzení zpevňující účinnosti konsolidačního prostředku aplikovaného na degradovaný materiál. Během testu je na hodnocený povrch posuzovaného materiálu aplikován proužek lepicí pásky, vždy stejným tlakem prstu připevněn lepicí stranou k omítce a následně vždy stejným tlakem od omítky odtržen. Hodnotí se hmotnost omítky uvolněná z povrchu v důsledku odtržení lepicí pásky. Hmotnost se zjistí vážením (gravimetricky). Použitá metodika vychází z hodnocení uvolněného množství omítky po postupném nalepení a odtržení deseti různých adhezních proužků vždy na stejné místo [12]. Ilustračně je celý postup patrný na obr. 3. Při matematickém vyhodnocení testu je nalezena asymptotická hodnota A [g], k níž se blíží křivka (exponenciální funkce) proložená všemi deseti po sobě jdoucími hodnotami, zjištěnými při jednotlivých měřeních, a která představuje množství uvolněného materiálu. Při odtrhu na omítce může dojít k uvolnění větších zrn písku a data zkusmá tímto způsobem jsou při vyhodnocení vyloučena z aproximace. Na grafu 7 jsou tyto vyloučené hodnoty přeškrtnuty.

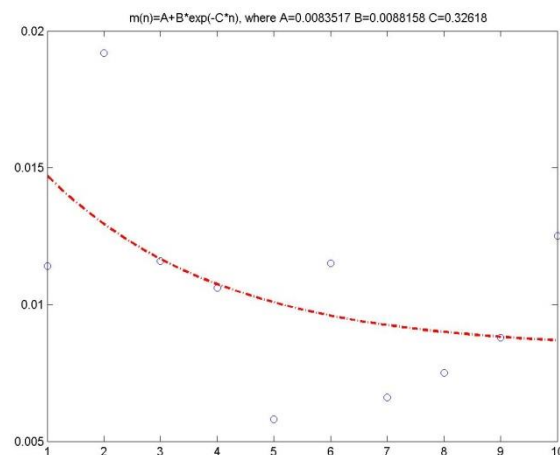


Obr. 3. Hlavní kroky postupu měření – aplikace předem zvážené lepicí pásky, bezpečný transport proužku s odtrženým materiálem k váze a opětovné vážení

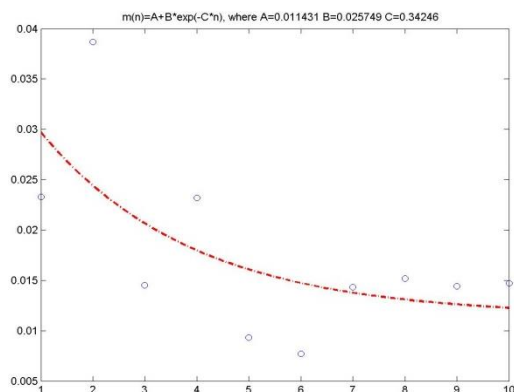
Peeling test byl proveden na dvou různých místech v případě referenční neošetřené omítky (REF 1, REF 2) a na jednom místě v případě omítky ošetřené vápennou disperzí (VD). Na sledovaných površích byla vybrána místa dostatečně homogenní a soudržná tak, aby na nich bylo měření uskutečnitelné, viz obr. 4. V tabulce 1 jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty, graficky znázorněné v obr. 5-7.



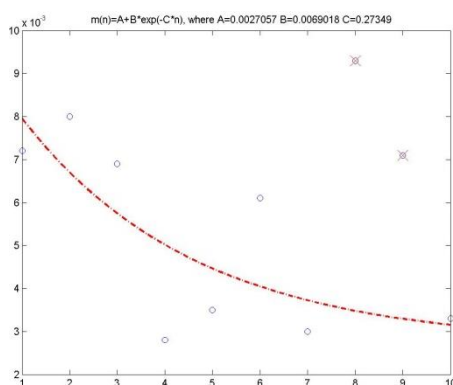
Obr. 4. Aplikace adhezního proužku během in-situ měření na Karlštejně



Obr. 5. Vyhodnocení prvního peeling testu REF 1 pro referenční omítku



Obr. 6. Vyhodnocení druhého peeling testu REF 2 pro referenční omítku



Obr. 7. Vyhodnocení peeling testu pro omítku ošetřenou vápennou disperzí

Tab. 1. Výsledky peeling testu na referenčních neošetřených plochách omítky (REF 1, REF 2) a na ploše omítky ošetřené vápennou disperzí (VD)

odtrh č.	REF 1	REF 2	VD
1	0,0114	0,0233	0,0072
2	0,0192	0,0387	0,008
3	0,0116	0,0145	0,0069
4	0,0106	0,0232	0,0028
5	0,0058	0,0093	0,0035
6	0,0115	0,0077	0,0061
7	0,0066	0,0143	0,003
8	0,0075	0,0152	0,0093
9	0,0088	0,0144	0,0071
10	0,0125	0,0147	0,0033
konst. A	0,0083	0,0114	0,0027

Stanovení absorpce vody omítkou pomocí Karstenovy trubice

Metodika: Karstenova trubice byla upevněna tmelem na omítku a naplněna vodou po rysku, viz obr. 8. Sledoval se úbytek vody penetrující z trubice do omítky plochou 25 mm v závislosti na čase.



Obr. 8. Průběh měření nasákavosti pomocí Karstenovy trubice

Tab.2. Hodnoty koeficientu absorpce vody vycházející z měření absorpce pomocí Karstenovy trubice.

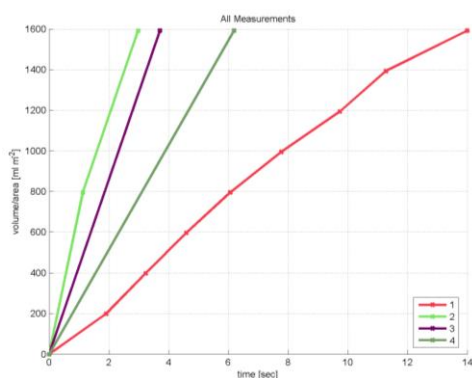
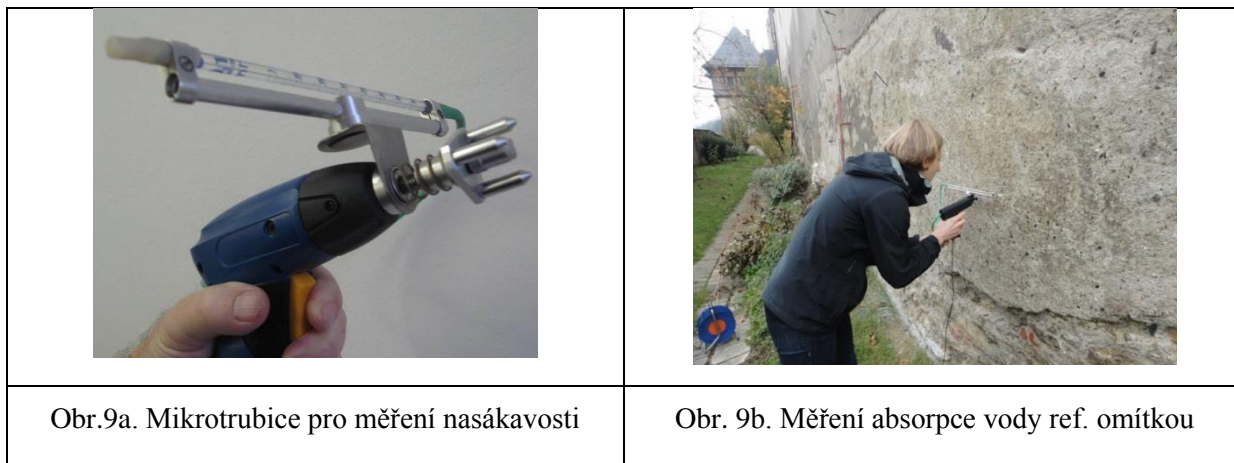
	Čas t [s]	60	120	180	240	byreta		wac [kg.m ⁻² .s ^{-0.5}]	Pokles wac kons./ref.
	Čas t [min]	1	2	3	4	d [mm]	A [m ²]		
	Čas t ^{0,5} [s ^{0,5}]	7,75	10,95	13,42	15,49				
REF	Objem vody [ml]	1,40	2,30	3,10	3,80	25,12	4,96E-04	0,50	
	m/A [kg/m ²]	2,8	4,6	6,3	7,7				
	m/A [ml/m ²]	2824,9	4640,9	6255,1	7667,5				
VD	Objem vody [ml]	1,2	2,0	2,7	3,3	25,12	4,96E-04	0,43	14%
	m/A [kg/m ²]	2,4	4,0	5,4	6,7				
	m/A [ml/m ²]	2421,3	4035,5	5448,0	6658,6				

Stanovení absorpce vody omítkou pomocí mikrotrubice

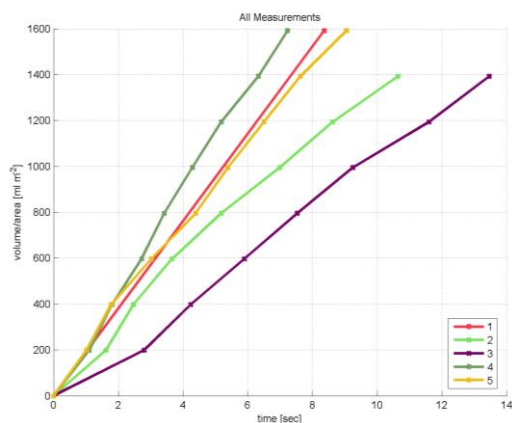
Metodika: Rychlost penetrace vody do omítky byla zjišťována na základě sledování rychlosti posunu vodního sloupce ve skleněné tenké trubici o objemu 0,1 ml, obr. 9. Trubice je uchycena k „pistoli“, která je přiložena na povrch měřeného materiálu středovou výtakovou hubicí, což je kovová trubička vyplněná papírovým filtrem. Voda penetruje do omítky přes papírový filtr, který je měněn po každém měření. Operátor, který drží „pistoli“ přiloženou ke zkoumanému povrchu, zmáčkne spoušť pistole (modifikovanou na spínač) pokaždé, kdy zadní hladina vodního sloupce v mikrotrubici míjí rysku objemového dílu na stupnici trubice (celkem 8x, po 0,01 ml). Příslušný časový údaj zaznamenává paměť, která je součástí zařízení, a grafické vyhodnocení měření (objemové množství vody odcházející z trubice přes definovanou plochu v závislosti na čase) následně provede software.

Měření bylo provedeno na referenční ploše (4krát) a na ploše ošetřené vápennou disperzí (5x), na různých místech. Na obr. 10-11 jsou uvedeny grafické výsledky závislosti objemu vody absorbované definovanou plochou omítky na čase. Grafické vyhodnocení absorpce vody omítkou v hodnocených

zkušebních plochách je v Tab. 3 doplněno číselnou hodnotou koeficientu nasákavosti (w_{ac} , water absorption coefficient) v $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-0.5}]$ pro snazší vzájemné porovnání.



Obr. 10. Rychlost absorpce vody referenční omítkou. 4 měření na různých místech ref. omítky.



Obr. 11. Rychlost absorpce vody omítkou ošetřenou vápennou disperzí.

Tab. 3. Hodnoty koeficientu absorpce vody vycházející z měření absorpce pomocí mikrotrubice.

typ konsolidantu	w_{ac} $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-0.5}]$	Pořadí rychlosti absorpce	Pokles w_{ac} kons./ref.
referenční	0,70	1	
VD	0,50	4	29%

Zkouška pevnosti v tlaku

Metodika: Zkouška byla provedena na plochých hranolech o přibližných rozměrech $30 \times 35 \times 40$ mm, které vznikly vyříznutím z odebraného bloku materiálu, viz. obr.12. Rozměry hranolů byly změřeny s přesností 0,1 mm. Bylo zajištěno, aby tlak působil kolmo na horní plochu vzorku. Rychlost zatěžování byla zvolena v režimu 0,45 mm/min.

Pevnost v tlaku se stanovila výpočtem z mezního zatížení, které odpovídá okamžiku porušení vzorku.

Pro zatěžování se použil elektromechanický zatěžovací stroj TESTATRON o kapacitě 100 kN. Zatěžovací síla byla měřena siloměrem MTS o rozsahu 10 kN a deformace zkušební vzorku ve směru působící síly byla měřena potenciometrem fy Megatron.



Obr. 12. Odběr vzorků pro pevnostní zkoušky a zjištění pórovitosti omítky



Obr. 13. Zkušební těleso před začátkem zkoušky pevnosti v tlaku

Výsledné hodnoty odečtené při měření byly přepočítány podle vztahu:

$$R_e = \frac{F}{S}$$

kde R_e je experimentálně měřená pevnost omítky v tlaku v MPa,

F je maximální působící síla do porušení v N,

S je plocha tlačného průřezu v mm².

Naměřené hodnoty byly opraveny o vliv štihlosti podle metodiky druhého autora zprávy tak, aby se získaly hodnoty ekvivalentní krychlené pevnosti R_c [7,8].

Tab. 4. Hodnoty tlakových pevností omítek.

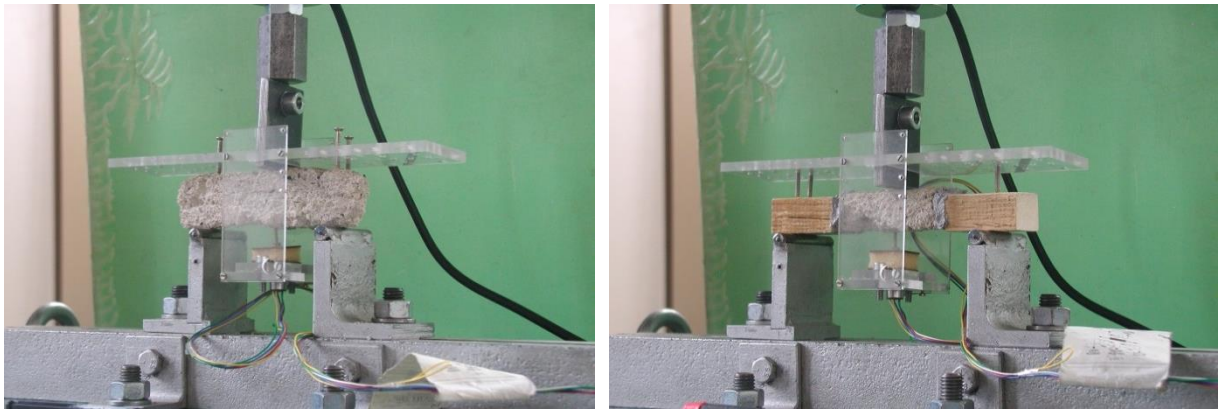
Vzorek č.	hloubka a [mm]	šířka b [mm]	výška h [mm]	maximální síla F [N]	tlaková pevnost R_e [MPa]	ekvivalentní průměrná krychlená pevnost R_c [MPa]	nárůst pevnosti kons./ref.
K_VD_t1	28.6	36.0	40.4	939.99	0.65	0,43	68 %
K_VD_t2	27.0	29.0	33.8	495.07	0.51		
K_VD_t3	30.9	34.3	39.3	702.58	0.52		
K_ref_t1	30.6	40.0	44.2	750.10	0.42	0,26	
K_ref_t2	27.0	38.2	41.3	781.36	0.50		

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu

Metodika: Zkouška byla provedena na nestandardních trámečcích o rozměrech shrnutých v Tab. 5. Trámečky byly vyřezány z většího bloku odebraného na místě. Jejich rozměry byly změřeny s přesností 0,1 mm. Některé trámečky byly příliš krátké pro ohybovou zkoušku a výsledek by byl ovlivněn smykovým namáháním. Proto byly vzorky prodlouženy přilepenými dřevěnými protézami podle ověřené metodiky [18]. Ohybový moment je vyvozován jednou silou, umístěnou uprostřed trámečku (třibodový ohyb).

Pevnost v tahu za ohybu se stanovuje výpočtem mezního napětí v tahu za ohybu pomocí měření maximálního ohybového momentu při porušení nestandardního trámečku.

Pro zatěžování se použil elektromechanický zatěžovací stroj TESTATRON o kapacitě 100 kN. Zatěžovací síla byla měřena siloměrem fy LUKAS se jmenovitým rozsahem do 500 N. Průhyb uprostřed trámečku byl měřen snímačem LVDT zavěšeným na přípravku eliminujícím zatlačování podpor do povrchu vzorku. Citlivost snímače byla lepší než 0,00015 mm a rozsah ± 1 mm. Signál ze snímače byl měřen ústřednou DAM a registrován pomocí PC. Při zkoušce se zatěžovalo rychlostí posunu příčnicku 0,15 mm/min.



Obr. 14. Zkušební tělesa, bez protéz a protézovaná, před začátkem zkoušky pevnosti v tahu za ohybu

Výsledné hodnoty odečtené při měření byly přepočítány podle vztahu:

$$R_t = \frac{1.5Fl}{bh^2}$$

kde R_t je pevnost malty v tahu za ohybu v MPa,

F je maximální působící síla do porušení v N,

l je vzdálenost mezi podporami v mm,

b, h jsou šířka a výška průřezu v místě lomu v mm.

Získané výsledky jsou shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5. Hodnoty pevností omítek v tahu za ohybu.

Vzorek č.	výška h [mm]	šířka b [mm]	podpory l [mm]	maximální síla F [N]	tahová pevnost R_t [MPa]	nárůst pevnosti kons./ref.
K_VD_1	22.8	33.2	80	40.41	0.28	64 %
K_VD_3	20.1	26.6	120	9.80	0.16	
K_ref_1	32.1	28.6	120	43.70	0.27	
K_ref_2	24.6	20.0	120	4.01	0.06	
K_ref_3	27.5	29.2	120	9.88	0.08	

Objemová hmotnost, pórovitost přístupná vodě, nasákavost

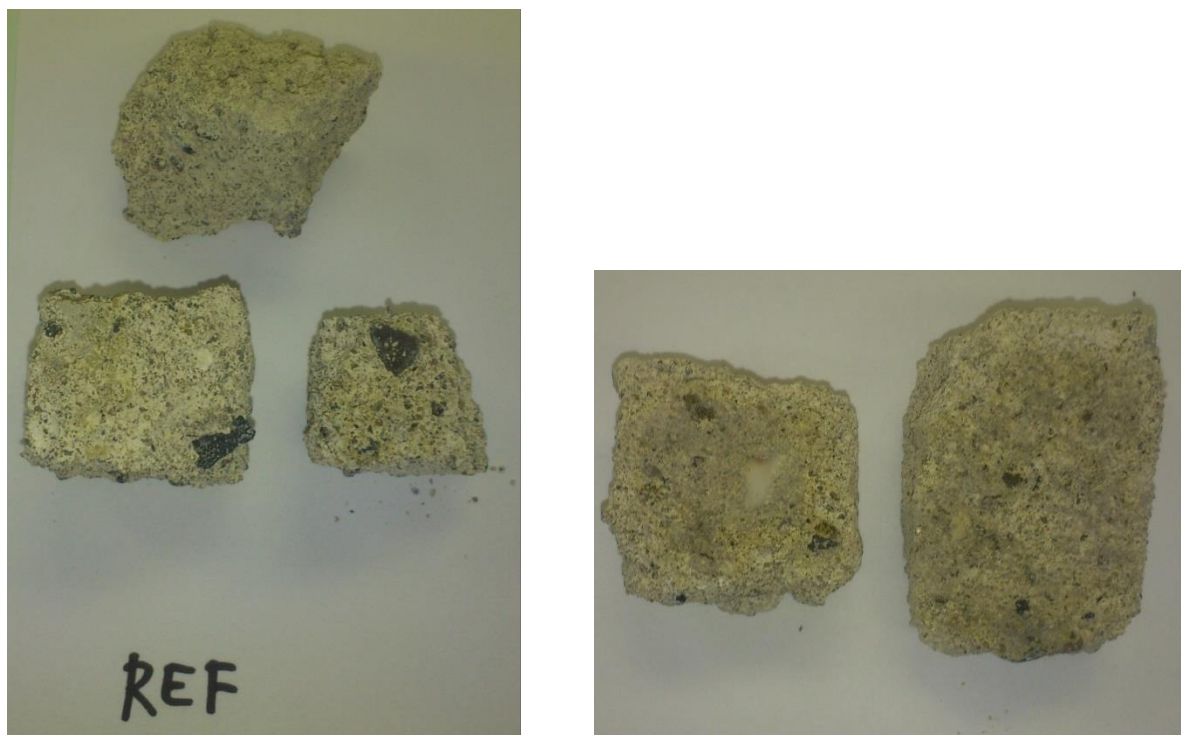
Objemová hmotnost, pórovitost přístupná vodě a nasákavost neošetřeného i ošetřených vzorků omítky byly stanoveny dle normy ČSN EN 1015-10 (Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty). Vzorky byly vystaveny nasakování vodou po dobu 70 h za normálního atmosférického tlaku. Nasákavost je poměr hmotnosti vody přijaté vzorkem ($m_s - m_d$) k hmotnosti vysušeného vzorku m_d .

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100$$

Fotodokumentace vzorků použitých při zkoušce je na obr. 15, výsledky zkoušek jsou shrnuty v Tab. 6.

Tab. 6. Hodnoty objemové hmotnosti, otevřené pórovitosti a nasákavosti.

Vzorek		objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	otevřená pórovitost [%]	Pokles kons./ref.	nasákavost [%]
REF	průměr	1622	30,1		18,6
	stdv	29	0,9		0,9
VD	průměr	1661	26,8	11 % rel.	16,1
	stdv	30	0,6		0,6



Obr. 15. Vzorky pro otevřenou pórovitost – referenční omítka (obrázek vlevo) a omítka ošetřená vápennou disperzí (obrázek vpravo)

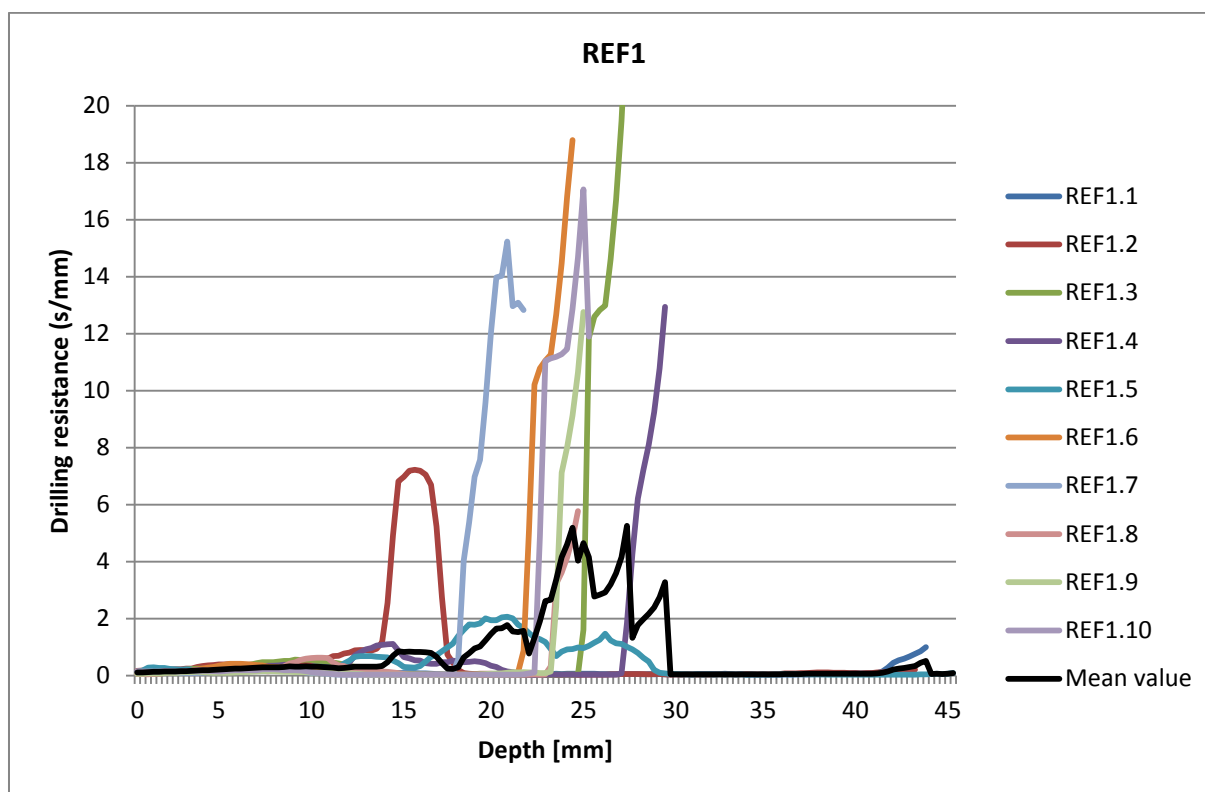
Měření pevnostního profilu odporovým vrtáním

Metodika: Zkouška byla provedena pomocí odporové vrtačky TERSIS T2 od firmy Geotron Elektronik (DE). Pro měření byly použity vrtáky PROFI LINE do betonu a kamene od firmy Vrbovský, o průměru 4 mm, vrták byl vyměňován po 3 vrtech. Stálý tlak pro vrtání byl zajištěn kompresorem Nardi Esprit 3T (tlak pro vrtání je možno nastavit v rozmezí 60 – 397mBar podle odolnosti a tvrdosti zkoušeného materiálu, na Karlštejně byl tlak nastaven na 150 mBar). Vrtání bylo provedeno za podmínek, že přístroj nebyl uchycen ve stativu, ale v rukách technika. Výsledkem měření je graf, který ukazuje čas nutný pro posun vrtáku o 1 mm v sekundách, v určité hloubce pod povrchem omítky (v milimetrech) při stálém přítlaku (150mBar). Vyšší hodnoty času posunu vrtáku odpovídají vyššímu odporu materiálu vůči vrtání. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 7 a grafické záznamy na obr. 16 a 17.

Tab. 7. Hodnoty času posunu vrtáku v omítce v různých hloubkách pro různé zkušební plochy (průměrné hodnoty z 10 vrtů do každé zkušební plochy)

Čas nutný pro posun vrtáku (s/mm) v určité hloubce pod povrchem omítky			
Hloubka pod povrchem	0-0,5 cm	0,5-1,5 cm	1,5-3 cm
REF 1 (za zkušebním polem ZFB)	0,2	0,2	0,05
VD	0,5	0,7	0,9

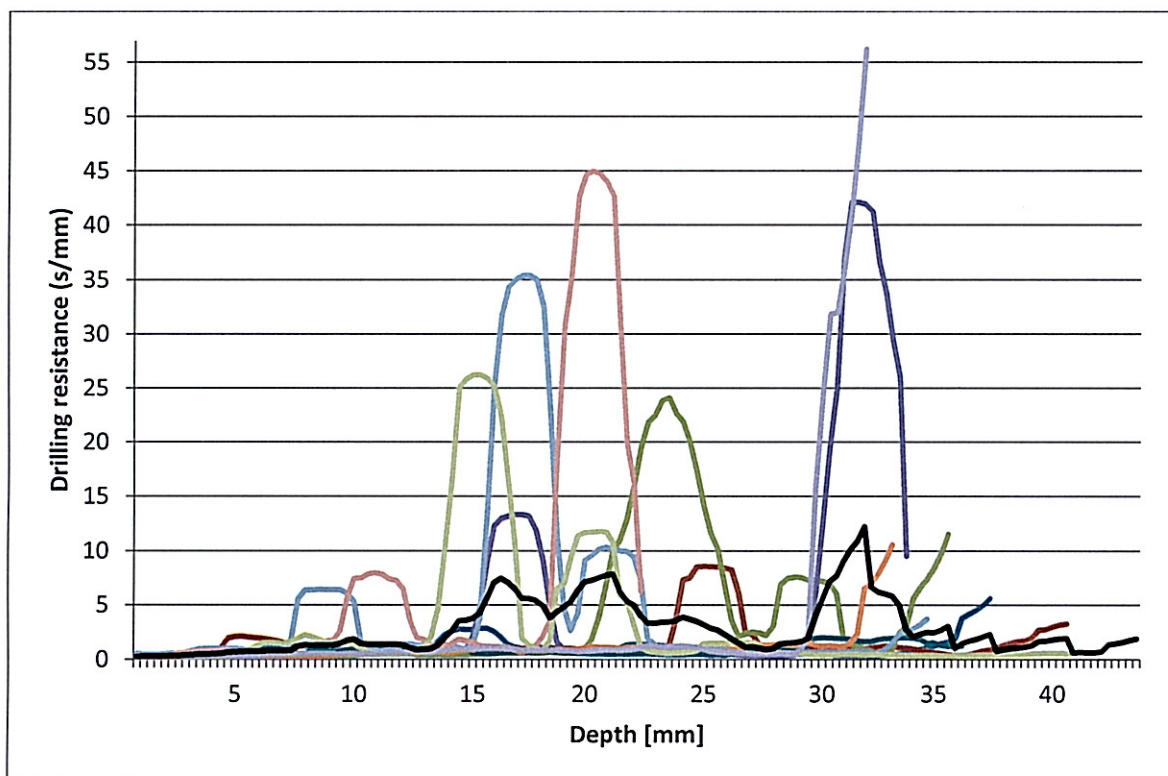
Ošetřená omítka je odolnější vůči vrtání ve srovnání s referenční plochou. Zkouška odporovým vrtáním není vhodná pro materiály, kde je vysoký rozdíl v tvrdosti a pevnosti jednotlivých složek, jako je tomu v případě omítky na Karlštejně. Velký rozdíl v odporu vůči vrtání mezi pojivem a zrny písku znesnadňuje vyhodnocení zkoušky. Ani opakování zkoušky 10x na stejném materiálu situaci příliš nezlepšilo. Výsledky zkoušky jsou proto v tomto případě orientační.



Obr. 16 a. Výsledky odporového vrtání na referenční (neošetřené) ploše



Obr. 16 b. Detail omítky na zkušební ploše REF 1 po 10 vrtech



Obr. 17. Výsledky vrtání na ploše omítky zpevněné vápennou disperzí

Závěr

Tlaková pevnost omítky ošetřené vápennou disperzí je vyšší o 68 % ve srovnání s pevností referenční omítky.

Hodnocení **ohybové pevnosti** je komplikováno velkým rozptylem naměřených hodnot u referenční omítky. Při respektování všech tří zjištěných hodnot u referenčních vzorků omítky a jejich průměrné hodnoty je pevnost omítky ošetřené vápennou disperzí vyšší o 64 % ve srovnání s průměrem referenční omítky.

Výsledky peeling testu, který vypovídá o **soudržnosti povrchu** hodnocených omítek, jsou ve shodě se zjištěnými pevnostmi omítek. Na ošetřené omítce byl zjištěn pokles odloučeného množství materiálu (zlepšení soudržnosti) o 72% ve srovnání s referenční omítkou.

Otevřená pórovitost ošetřené omítky poklesla relativně o 11 %, přiměřeně se snížila také rychlost **absorpce vody do omítky**.

V Praze 16. 6. 2015

Ověřil: Ing. Petr Justa

podpis a razítko

GEMA ART GROUP a.s. ©
 Haštalská 760/27
 110 00 Praha 1
 IČO: 26437741
 DIČ: C226437741
 Zapsaná v obchodním rejstříku, vedeného
 Městským soudem v Praze oddíl B, vložka 7114