



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

**Metodika pro určení rozhodných materiálových charakteristik historických materiálů  
pro plánování restaurátorského zásahu**

Slížková, Zuzana  
2016

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-261490>

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

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

Datum stažení: 11.07.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz) .

## **Průvodní zpráva k metodice**

Metodika pro určení rozhodných materiálových charakteristik historických materiálů pro plánování restaurátorského zásahu

### **I. Cíl metodiky**

Cílem této metodiky je předložit doporučený seznam materiálových vlastností, které mají být zjištěny a hodnoceny v rámci materiálového průzkumu památkových objektů

a předmětů kulturní povahy v souvislosti s připravovaným restaurátorským nebo konzervačním zásahem. Tyto vlastnosti jsou určeny pro anorganické stavební materiály (kámen, malta, zdivo apod.) ve vztahu ke čtyřem nejčastějším konzervačním nebo restaurátorským zásahům: čištění, konsolidace, doplnění chybějícího materiálu umělým kamenem nebo maltou a hydrofobizace povrchu. V dosavadní praxi se provádějí nejčastěji průzkumy složení a struktury materiálu, vlhkosti a zasolení, analýzy vývoje barevnosti, průzkumy druhu biologického napadení materiálů a datace. Fyzikální vlastnosti materiálů nejsou v prozatím dostupných metodikách v oblasti památkové péče ČR více specifikovány, přestože z hlediska návrhu vhodných postupů a technologií obnovy jsou tyto vlastnosti velmi důležité. Cílem metodiky je také upozornit na možnosti i limity jednotlivých metod, které jsou používány pro určení fyzikálních a chemických materiálových vlastností, a doporučit nové postupy analýz či zkoušek. Dále je cílem k metodám umístit odkazy na možnost jejich provedení z norem a doporučení pro objekty kulturního dědictví, příp. upozornit, které z charakteristik lze stanovit in-situ.

Výběr vlastností předkládaný v této metodice byl vytvořen na základě revize odborné české i zahraniční literatury (viz kapitola V.) a laboratorních experimentů provedených autory metodiky. Metodika je určena pro pracovníky památkové péče, restaurátory, architekty, příp. majitele památek pro přesnější a účelné zadávání zkoušek a analýz materiálových vlastností.

### **II. Popis metodiky**

Pro ověření vypovídací hodnoty restaurátorských průzkumů vypracovaných v posledních letech byla provedena analýza několika desítek průzkumů uložených v archivu NPÚ ÚOP HMP. Cílem bylo mimo jiné zjistit, jaké vlastnosti zkoumaného materiálu byly považovány za rozhodující, jaké výstupy poskytly provedené průzkumy a jak jsou tyto výstupy použitelné pro intervenci (restaurování či záchranu památky).

Ukázalo se, že v praxi odevzdávané restaurátorské průzkumy nejsou zcela dostačující. Často není dobře definovaný cíl průzkumu a zejména pak jeho vyhodnocení ve vztahu k restaurátorskému záměru resp. k záměru údržby či obnovy díla. Průzkumy obsahují někdy pouze výsledky vizuálního posouzení materiálu a i výsledky takto provedeného průzkumu jsou často popsány zcela nedostatečně. Část odevzdaných „průzkumů“ obsahovala pouze stručný nástin záměru restaurování. Podrobněji zpracované restaurátorské průzkumy, obsahující vedle dalších podstatných náležitostí i řadu zjištěných materiálových vlastností, se v celkovém množství analyzovaného souboru ukázaly být spíše výjimkami.

Nedostatečná vypovídací schopnost analyzovaného souboru průzkumů potvrdila potřebu vypracování metodiky obsahující přehled materiálových vlastností, jejichž znalost je zásadní pro plánování a hodnocení určitého konzervačního nebo restaurátorského zásahu z hlediska předcházení možných rizik vyplývajících z chybně zvolené technologie ve vztahu k vlastnostem historického materiálu.

### **III. Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, příp. jejich zdůvodnění, a jejich srovnání s postupy v zahraničí**

Nároky na provádění materiálového průzkumu v ČR jsou v různém rozsahu zmiňovány v publikacích architektů, historiků umění, technologů a dalších pracovníků památkové péče [13-18]. Jsou doporučeny metody identifikující složení materiálu (chemické a fázové), mikrostrukturu, velikost a tvar částic (mikroskopická analýza, granulometrická analýza) a dále jsou jmenovány některé metody využívané za účelem zjištění příčin poškození díla (stanovení vlhkosti gravimetrickou metodou nebo exaktními vlhkoměry, stanovení obsahu vodorozpustných solí kapalinovou chromatografií, zjištění biotických škůdců mykologickou mikroskopickou analýzou, strukturální poškození ultrazvukovým, příp. radarovým vyšetřením, rentgenografií, počítačovou tomografií). Je konstatováno, že v praxi se provádějí nejčastěji průzkumy složení, a struktury materiálu, vlhkosti a zasolení, analýzy vývoje barevnosti, průzkumy fyzikálních vlastností materiálů, druhu biologického napadení materiálů a datace. Fyzikální vlastnosti materiálů nejsou v prozatím dostupných metodikách více specifikovány, přestože z hlediska návrhu vhodných postupů a technologií obnovy a návrhu kompatibilních materiálů pro obnovu jsou tyto vlastnosti prioritní. Nová metodika zahrnuje postupy, kterými se stanovují vybrané fyzikální vlastnosti, a vysvětluje účel stanovení těchto fyzikálních vlastností. Vychází ze studia zahraničních odborných publikací [1-12] a vlastního výzkumu provedeného v rámci projektu NAKI DF12P01OVV018.

### **IV. Uplatnění Certifikované metodiky**

Metodika je určena pracovníkům památkové péče, restaurátorům, architektům a projektantům pro přesnější zadávání zkoušek a analýz materiálových vlastností. Tyto vlastnosti jsou zjišťovány při předprojektové přípravě nebo restaurátorském průzkumu v rámci obnovy památkových objektů nebo předmětů kulturního dědictví.

### **V. Seznam použité související literatury**

- [1] Tabasso, L. M., Simon, S.: Testing methods and criteria for the selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials. *Reviews in Conservation* (7) 2006.
- [2] Rodrigues, J.D., Grossi, A.: Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 8., Issue 1, 32-43, 2007.
- [3] Sasse, H. R., and Sneathlge, R., Evaluation of stone consolidation treatments, *Science technology for Cultural Heritage* 5 (1) (1996) 85-92.
- [4] Rodrigues J. D.: Assessing compatibility in conservation of masonry structures on archaeological sites. In *Proceedings Safeguarded Cultural Heritage (SAUVEUR)*

Project – M. Drdácý, M. Chapuis (eds.), Vol.1, ISBN 978-80-86246-31-4 (Vol. 1), ISBN 978-80-86246-29-1 all, ITAM 2007, pp. 171-180.

[5] Snethlage, R., Wendler, E.: Moisture cycles and sandstone degradation. In: Baer NS, Snethlage, R.(eds) Saving Our Architectural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures. Report of Dahlem Workshop. Berlin, 3-8 March 1996. Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 7-24.

[6] Drdácý, 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

[7] Siegesmund, S., Snethlage, R.: Stone in Architecture - Properties, Durability; Springer 2011; ISBN 978-3-642-14474-5.

[8] Snethlage, R., Pfanner, M. : Leitfaden Steinkonservierung. Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. Fraunhofer IRB Verlag 2013. ISBN 978-3-8167-8633-7.

[9] Lehrberger, G., Gillhuber, S.: Herkunft, verwendung, verwitterung und Konservierung in der Klosteranlage von Tepl8 in Westböhmen. Původ, použití, zvětrávání a konzervování v areálu Kláštera Teplá v západních Čechách. Münchner geol. Hefte B 22, München 2007, ISBN 978-3-00-021033-4.

[10] Bläuer, Ch.; Franzen, Ch.; Vergès-Belmin, V.: Simple field tests in stone conservation. 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone 2012 [Online]. <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/blauetal.pdf> (accessed Jan 23, 2015).

[11] Sýkorová, I., Havelcová, M., Trejtnarová, H., Matysová, P., Vašíček, M., Kříbek, B., 2009, Characterization of organic matter in dusts and fluvial sediments from exposed areas of downtown Prague, Czech Republic. International Journal of Coal Geology, Nr. 80, pag. 69-86.

[12]. Sýkorová, I., Havelcová, M., Zeman, A., Trejtnarová, H., 2011, Carbon air pollution reflected in deposits on chosen building materials of Prague Castle, Science of Total Environment, Nr.409, pag.4606-4611.

[13] Solař: K otázce restaurování v památkové péči. Obnova památek 2008 – Restaurování. Sborník příspěvků k 8. ročníku konference. Studio Axis, ISBN 978-80-904081-0-4, str. 12-22

[14] M. Tichý: K otázce restaurování v památkové péči. Obnova památek 2008 – Restaurování. Sborník příspěvků k 8. ročníku konference. Studio Axis, ISBN 978-80-904081-0-4, str. 38-43.

[15] V. Razím a P. Macek (edd.): Zkoumání historických staveb. NPÚ-územní pracoviště středních Čech v Praze. Praha 2011. ISBN 978-80-86516-41-7

[16] I. Kopecká, V. Nejedlý: Průzkum historických materiálů analytické metody pro restaurování a památkovou péči. Praha 2005.

[17] J. Holeček, V. Girsá a kol.: Projektování obnovy stavebních památek, Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, Praha 2008, ISBN 978-80-87104-34-7

[18] V. Girsá, D. Michoinová: 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.

- [19] Croci, G.: General methodology for the structural restoration of historic buildings: the cases of the Tower of Pisa and the Basilica of Assisi. *Journal of Cultural Heritage*, 1, 2000, pp 7-18.
- [20] Livingstone, R. A.: Nondestructive Testing of Historic Structures. *Archives and Museum Informatics*, 13, 1999/2001, pp 249-271.
- [21] Marinoni, N., Pavese, A., Foi, M., Trombino, L.: Characterisation of mortar morphology in thin sections by digital image processing. *Cement and concrete research*, 35, 2005, pp 1613-1619.
- [22] Sass, O., Viles, H. A.: How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls. *Journal of Cultural Heritage*, 7, 2006, pp 257–263.
- [23] Ruedrich, J., Siegesmund, S.: Salt and ice crystallisation in porous sandstones. *Environmental Geology*, 52, 2007, pp. 225-249.
- [24] Faria, P., Henriques, F., Rato, V.: Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 2008, 338-346.
- [25] Matteini, M.: Inorganic treatments for the consolidation and protection of stone artefacts and mural paintings. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 8, 2008, pp 13-27.
- [26] Ferreira Pinto, A. P., Delgado Rodrigues, J.: Stone consolidation: The role of treatment procedures. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 2008, pp 38-53.
- [27] Henry, A. *Stone Conservation: Principles and Practice*. Dorset: Donhead Publishing, 2006. ISBN 978-1873394786.

## **VI. Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (případně výstupy z originální práce)**

- [28] Drdácký, 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.
- [29] Drdácký, M., Slížková, Z.: Enhanced affordable methods for assessing material characteristics and consolidation effects on stone and mortar. *J. Geophys. Eng.* 10 (2013) 064005 (6pp) doi:10.1088/1742-2132/10/6/064005
- [30] Drdácký, 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)
- [31] Slížková, Z., Drdácký, M., Viani, A.: Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide, *Journal of Cultural Heritage* (2014), DOI 10.1016/j.culher.2014.09.003

on line at: <http://authors.elsevier.com/sd/article/S1296207414001150>

- [32] 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.
- [33] Macounová, D., Bayer, K., Ghaffari, E., Navrátilová, M., Slížková, Z., Weber, J.: Consolidation testing of porous limestone using lime nanomaterials: optimization, assessment of stone mechanical and structural characteristics. 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. 184-185. ISBN 978-80-86246-42-0.
- [34] Navrátilová, M., Bayer, K., Ghaffari, E., Macounová, D., Slížková, Z., Weber, J.: Modification of protective lime coating systems for the porous limestone using lime nanomaterials: assessment of mechanical properties and ageing resistance. 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. 210-211. ISBN 978-80-86246-42-0.
- [35] Slížková, Z., Frankeová, D., Drdácký, M.: 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.[Historic mortars conference /3./. Glasgow (GB), 11.09.2013-13.09.2013].
- [36] <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/slizfran.pdf>
- [37] Vavřík, D., Jandejsek, I., Slížková, Z.: Observation of lime nanoparticles distribution during evaporation of transportation media. Tomography of materials and structures. Ghent : University press, 2013, s. 285-287 ISBN 978-9-4619713-0-2.International Conference on Tomography of Materials and Structures /1./. Ghent (BE).
- [38] Drdácký, M., Slížková, Z.: Lime-Water Consolidation Effects on Poor Lime Mortars. APT Bulletin: Journal of Preservation Technology, 43:1, 2012, pp. 31-36.
- [39] Drdácký, M. ; Fratini, F. ; Frankeova, D. ; Slížková, Z. The Roman mortars used in the construction of the Ponte di Augusto (Narni, Italy) – A comprehensive assessment. Construction and Building Materials 38 (2013) s.1117–1128 <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.044>.
- [40] Drdácký, M., Beran, P.: Compatible dilatation Limit of Masonry joint Mortars, Journal of Architectural Heritage, Vol. 4, No. 2, 2010.
- [41] Drdácký, M., Slížková, Z., Valach, J.: Vliv etylsilikátových zpevňovacích prostředků na chování a vlastnosti glaukonitického pískovce použitého na stavbu katedrály sv. Víta v Praze, in “Organokřemičitany v české památkové praxi”, Práce NPÚ, sv.1, ISBN 978-80-87104- - 15-6, NPÚ Praha, str. 49-57, 2008
- [42] Ďoubal, J.: Research into the methods of Cleaning the Silicate Sandstones Used for Historical Monuments. Journal of Architectural Conservation, 20:2, 2014

[43] Ďoubal, J.: Možnosti objektivního hodnocení čištění kamene. Restaurování a obnova uměleckých děl: Čištění uměleckých děl. Kutná Hora: Arte-fakt, ISBN 978-80-905924-0-7, 2014, pp 14-21.

[44] Ďoubal, J.: Srovnání čištění laserem s dalšími metodami čištění na silikátových pískovcích. Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: Sborník z konference. ISBN 978-80-7395-6, Pardubice: Universita Pardubice, 2013, pp 205-214.

[45] Janotová, D.; Niedoba, K. ; Gláser, P. ; Šašek, P. ; Fabeš, R. Properties of commercially available, ready-to-use mortars for restoration of historic renders and masonry. In Engineering mechanics 2015. 21st International conference, May 11-14, 2015, Svratka, Czech Republic. Extended abstracts. Prague. Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i., 2015. S. 116-117. ISBN 978-80-86246-42-0. ISSN 1805-8248.

[46] Tišlová, R., Novotná, A.: Repair formulation for fine-grained stone arte-facts. In Engineering mechanics 2015. 21st International conference, May 11-14, 2015, Svratka, Czech Republic. Extended abstracts. Prague. Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i., 2015. S. 116-117. ISBN 978-80-86246-42-0. ISSN 1805-8248.

# **METODIKA URČENÍ ROZHODNÝCH MATERIÁLOVÝCH CHARAKTERISTIK HISTORICKÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ PRO PLÁNOVANÝ RESTAURÁTORSKÝ ZÁSAH**

**Autoři:** Ing. Zuzana Slížková Ph.D., Mgr. Dita Frankeová, Ing. Renata Tišlová Ph.D.

## **Spolupracovali**

Mgr. BcA. Petr Gláser, Ing. Petr Kuneš Ph.D., PhDr. Zdeněk Vácha, Ing. arch. Ladislav Bartoš, Mgr. art. Jakub Ďoubal Ph.D., Bc. Petra Hauková, Mgr. Krzysztof Niedoba.

Metodika je výsledkem výzkumného projektu s názvem „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály“ (DF12P01OVV018), podporovaného v letech 2012-2015 Ministerstvem kultury ČR v rámci výzkumného programu NAKI.

## **Oponenti**

Ing. arch. Miloš Solař

Pracoviště: Generální ředitelství Národního památkového ústavu

Další pracoviště: Slezská univerzita v Opavě

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA

Pracoviště: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě

Další pracoviště: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební

## **Anotace**

Metodika předkládá výčet materiálových vlastností, které je důležité posoudit při navrhování postupu určitého konzervačního nebo restaurátorského zásahu na stavebním památkovém objektu. Jsou popsány materiálové vlastnosti, jejichž zhodnocení by mělo být východiskem pro navržení určitého postupu povrchové úpravy, čištění, konsolidace, doplnění chybějící hmoty nebo hydrofobizace památkového objektu, aby restaurátorský zásah splňoval nároky na kompatibilitu materiálů. Tyto vlastnosti jsou zjišťovány při předprojektové přípravě nebo restaurátorském průzkumu v rámci obnovy památkových objektů nebo předmětů kulturního dědictví. Metodika je určena pracovníkům památkové péče, restaurátorům, architektům a projektantům pro přesnější zadávání zkoušek a analýz materiálových vlastností.

## **Klíčová slova**

průzkum, restaurování, konzervace, materiálové charakteristiky, čištění, konsolidace, doplňování, hydrofobizace

survey, restoration, conservation, material characteristics, cleaning, consolidation, repairing, hydrophobization

**Vydává:** Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i. Prosecká 76, 190 00 Praha 9  
Praha 2015



## I. Úvod

Základním předpokladem pro stanovení potřeb, metod a postupů odborného ošetření (konzervace/restaurování) každého objektu kulturní povahy je jeho poznání, jež dovoluje v první řadě specifikovat předmět ochrany. Předmětem ochrany se pro účely této metodiky rozumí hmotná podstata objektu (materiál), jež je nositelem estetické nebo historické hodnoty díla a dílčích informací různého charakteru.

Podle současného pojetí, vycházejícího z Benátské charty z roku 1964, je cílem restaurování zachovat a odhalit estetické a historické hodnoty památky [13]. Restaurování je založeno na respektu k originálnímu materiálu. Otázky, jaká část nebo povrchová vrstva materiálu má kulturní hodnotu, a tím právo na památkovou ochranu, a co všechno přispívá ke komplexní hodnotě památky a musí být při restaurování zohledněno, nejsou jednoduché a jejich řešení často vyžaduje potřebnou diskuzi odborníků. Konečné rozhodnutí o cílech a rozsahu restaurování/konzervace je v kompetenci odborné organizace státní památkové péče.

Cílem této metodiky je předložit seznam materiálových vlastností, které mají být zjištěny a/nebo hodnoceny v rámci materiálového průzkumu památkových objektů a předmětů kulturní povahy v souvislosti s připravovaným restaurátorským nebo konzervačním zásahem. Tyto vlastnosti jsou zjišťovány při předprojektové přípravě nebo při restaurátorském průzkumu v rámci obnovy památkových objektů nebo předmětů kulturního dědictví. Metodika je určena pracovníkům památkové péče, restaurátorům, architektům a projektantům pro přesnější zadávání požadavků na zkoušky a analýzy materiálových vlastností, aby výsledky průzkumu byly efektivně využitým informačním podkladem pro upřesnění cílů, rozsahu a metod konzervačního/restaurátorského postupu.

## II. Potřebnost metodiky

Pro zjištění rozsahu restaurátorských průzkumů vypracovaných v posledních letech byla provedena analýza několika desítek průzkumů uložených v archivu NPÚ ÚOP HMP. Analýza odpověděla na otázky: jaké materiálové vlastnosti se v praxi nejčastěji zjišťují, jaké výstupy poskytly provedené průzkumy, jak jsou tyto výstupy použitelné pro restaurování či záchranu památky.

Nedostatečná kvalita analyzovaného souboru průzkumů potvrdila potřebu vypracování metodiky obsahující přehled materiálových vlastností, jejichž znalost je zásadní pro navržení technického provedení určitého konzervačního nebo restaurátorského zásahu.

## III. Výběr materiálových vlastností na základě experimentálních studií

Vzhledem k rozsahu tématu se metodika soustředila na stanovení rozhodných materiálových charakteristik pro čtyři základní restaurátorské zásahy, prováděné na anorganických stavebních materiálech, jmenovitě na tyto zásahy:

- konsolidaci
- čištění
- doplnění vybraných typů hornin umělým kamenem (tvárnými směsmi)
- hydrofobizaci.

Při aplikaci metodiky je třeba věnovat zvláštní pozornost objektům s nehomogenní materiálovou skladbou, např. vícevrstevným omítkám, povrchům se zbytky polychromie apod., které mohou ovlivnit rozsah restaurátorského zásahu a tím i rozsah a skladbu průzkumu.

### III.1. Čištění

Záměrem čistícího zásahu je odstranění sekundárně deponovaného materiálu podle požadavků památkové péče. Jedná se obvykle o materiál, který mění barvu, strukturu,

složení a další vlastnosti původního materiálu památky. Ke změně dochází u porézních materiálů postupně ve směru od povrchu do hloubky, u kompaktních materiálů skokem s ostrou hranicí mezi původním materiálem a sekundárním (krustou).

Důležité jsou strukturní vlastnosti posuzovaného materiálu v blízkosti povrchu a je výhodné je vyšetřit mikroskopicky, na leštěném výbrusu příčného řezu povrchovou vrstvou zkoumaného materiálu. Tentýž výbrus může posloužit k určení mineralogického složení materiálu (hlavní a vedlejší složky) pomocí optické polarizační mikroskopie a dále k určení prvkového chemického složení materiálu pomocí skenovacího elektronového mikroskopu s EDX analyzátozem. Pokud je potřeba provést detailnější studium některých složek (stanovení uhlíkatých povrchových nečistot [11,12], zbytky nežádoucích povrchových úprav, podezření na přítomnost objemově nestabilních jílových minerálů), používají se analytické instrumentální metody: (pyrolýzní) plynová chromatografie s hmotnostní detekcí (GC/MS), infračervená (FTIR) a/nebo Ramanova spektrometrie, rentgenová difrakce (XRD), termická analýza. Výše uvedené metody se použijí i pro vyšetření povrchových úprav a konzervačních látek, které mají zůstat zachovány (zbytky polychromie, hodnotné povrchové úpravy). Zejména při použití chemických látek pro čištění je nutno znát a posoudit chemické a mineralogické složení čištěného materiálu včetně vedlejších složek, tmelů a povrchových úprav. Před použitím vody pro čištění povrchu je nutné zvážit rozpustnost složek materiálu ve vodě a smáčivost povrchu pro vodu [10]. Pokud formy poškození materiálu ukazují na přítomnost vodorozpustných solí, je na místě vyšetřit, kvantifikovat a monitorovat obsah solí.

Také při použití čisticích metod využívajících chemické látky (např. uhličitán a hydrogenuhličitán amonný, fluorid amonný, slabé organické kyseliny) je možné zkontrolovat obsah zbylých chemikálií v materiálu po čištění (např. amonné, fluoridové ionty).

Po selektivním odstranění nečistot by mělo následovat hodnocení změny materiálových vlastností. Z fyzikálních vlastností jsou to především rychlost vsakování vody do materiálu (koeficient kapilární absorpce) a rychlost vysychání, které referují o návratu k původním transportním vlastnostem materiálu pro vodu. Pokud šlo v procesu čištění o redukci nebo odstranění vrstvy, která omezovala prostupnost vodní páry (např. některé historické konzervační prostředky, syntetické pryskyřice nebo kompaktní krusta), je možné zkontrolovat také faktor difuzního odporu. Orientační míru paropropustnosti lze také pouze odvodit z četnosti, velikosti a propojenosti pórů v hloubkovém profilu vzorku zjištěných při mikroskopickém vyšetření strukturních vlastností. Pro posouzení změny povrchové soudržnosti materiálu před a po čištění je v případě potřeby možné využít metodu odtržení lepicí pásky, tzv. peeling test [19]. Hodnocení změn strukturních vlastností a složení ve směru od povrchu do hloubky materiálu po čisticím zásahu se provede opět mikroskopickým vyšetřením výbrusu příčného řezu (OM, OPM a SEM-EDX). Barvu lze hodnotit makroskopicky, subjektivně okem nebo instrumentálně s využitím spektrometru. Mikroskopické vyšetření nábrusu nebo výbrusu příčného řezu v odraženém světle poskytne informaci o barvě, příp. odlišnostech barvy materiálu v hloubkovém profilu.

### III.2. Konsolidace

Cílem konsolidačního zásahu je zlepšení soudržnosti degradovaného materiálu. Proto se nejprve zjišťuje profil vlastností materiálu ve směru od povrchu do hloubky a podle výsledku se určí, do jaké hloubky je třeba materiál impregnovat konsolidačním prostředkem. Může se jednat o stovky  $\mu\text{m}$  (fixace degradované povrchové vrstvy) až po jednotky cm. Hloubkový profil vlastností materiálu je možné zjistit více způsoby. V některých případech lze soudržnost materiálu do hloubky posoudit orientačně přímo na objektu škrabáním pomocí skalpelu. V laboratoři je možné stanovit hloubkový profil vlastností přesněji, ale na odebraném vzorku. Na základě mikroskopického vyšetření (SEM, OM) nábrusu nebo výbrusu příčného řezu vzorkem se zjistí strukturní vlastnosti i spojení jednotlivých zrn materiálu směrem od povrchu do hloubky. Mechanické vlastnosti lze odvodit z hloubkového profilu rychlosti šíření ultrazvukového signálu. Jednotlivé rychlosti se měří ve směru paralelně s povrchem na odebraném tělísku ve tvaru válce nebo kvádra. Vzorek je postupně proměřován v různých vzdálenostech od povrchu tělíska a pevnostní profil je odvozen

z hodnot rychlosti šíření UZ signálu zjištěných v různých vzdálenostech od povrchu. Pokud je odebraný vzorek natolik soudržný, že jej lze dále rozřezat na dílčí plátky paralelní s povrchem, je možné změřit pevnost v ohybu u jednotlivých plátků, lišících se vzdáleností od povrchu. Mezi částečně destruktivní způsoby patří zkouška odporového vrtání, jejíž smysluplné užití je však limitováno na materiály jemnozrnné a homogenní z hlediska tvrdosti jednotlivých složek (problémem je např. vápenná malta s relativně tvrdým křemenným pískem a měkkým vápenným pojivem).

Z hlediska výběru vhodného konzervačního prostředku pro konsolidační zásah je důležitá znalost chemického a mineralogického složení materiálu (výhodou je, pokud má konsolidant stejné nebo podobné složení, jako má pojivo nebo tmel degradovaného materiálu). Z hlediska penetrační schopnosti prostředku je důležité posoudit velikost pórů materiálu, protože některé konsolidační produkty nemusí vyhovovat z hlediska velikosti částic (experimentálně bylo zjištěno, že velikost póru materiálu musí být 100x větší než je velikost částic konsolidačního prostředku, aby prostředek dosáhl potřebné penetrační hloubky). Např. disperzní produkty (koloidní roztoky) obsahující částice s velikostí v řádu stovek nanometrů penetrují dostatečně hluboko pouze do materiálů s velikostí pórů nad 10 mikrometrů. Velikost pórů degradovaného materiálu je možné stanovit rtuťovou porozimetrií, v tom případě však získáme jednu celkovou hodnotu pro objem vzorku cca 1 cm<sup>3</sup> bez zohlednění případných odlišností materiálu v hloubkovém profilu. Je proto vhodné tuto zkoušku doplnit mikroskopickým vyšetřením nábrusu nebo výbrusu příčného řezu potřebnou vrstvou materiálu, které poskytne informace o struktuře pórů v hloubkovém profilu a odhalí případné tenké kompaktní vrstvy na povrchu materiálu, které by mohly bránit penetraci konsolidačního prostředku. Studium mikrostruktury s využitím SEM-EDX, ev. OPM může být zacíleno vedle strukturních vlastností také na chemické a mineralogické složení materiálu.

Před konsolidací by měl být degradovaný materiál odsolený a neměl by mít vysoký obsah vlhkosti. Obsah ev. přítomných solí v materiálu a obsah vlhkosti musí být před konsolidací známý a uvažovaný před výběrem konsolidační technologie. Dále je žádoucí vyhodnotit smáčivost materiálu vodou nebo organickým rozpouštědlem (ethanol, isopropylalkohol) a zjistit, zda povrch materiálu má hydrofilní nebo hydrofobní vlastnosti [10].

Rychlost vsakování vody do materiálu se zjistí Karstenovou trubicí nebo mikrotrubicí [20]. Tento parametr rovněž vypovídá o hydrofilním nebo hydrofobním chování povrchu a navíc z něho lze odvodit časové nároky na konsolidační ošetření: materiály s nízkým koeficientem absorpce potřebují delší čas pro ošetřování (sprejování, natírání, polévání, obklad), zatímco pro materiály s vysokým koeficientem absorpce stačí pro dosažení určité hloubky penetrace výrazně kratší čas smáčení povrchu konsolidačním prostředkem. Protože konsolidační ošetření degradovaného materiálu by nemělo výrazně měnit transportní vlastnosti materiálu pro vodu, tato vlastnost materiálu se kontroluje s různým časovým odstupem také po provedeném zásahu a hodnotí s přihlédnutím ke konkrétním požadavkům a vlhkostním podmínkám objektu.

Hodnota otevřené (efektivní) pórovitosti materiálu umožňuje odhad potřebného množství konsolidačního prostředku při zvolené penetrační hloubce. Materiály s vyšší pórovitostí absorbují více konsolidantu a naopak. Otevřená pórovitost se zjišťuje nasáknutím vzorku vodou a jeho vážením na vzduchu a ve vodě (hydrostatické vážení) nebo pomocí rtuťové porozimetrie (v tomto případě získáme pórovitost pouze pro rozsah pórů 3 nm až 300 μm). Otevřenou pórovitost je možné stanovit také obrazovou analýzou mikroskopických snímků nábrusů připravených z odebraných vzorků materiálu.

Konsolidační zásah je založen na dodání nového pojiva do degradovaného materiálu. Toto pojivo by mělo být rovnoměrně rozptýleno v ošetřené vrstvě materiálu. Obvykle dochází v důsledku konsolidace k zúžení pórů materiálu (snížení velikosti pórů, ve kterých se prostředek ukládá), a také ke snížení otevřené pórovitosti. Míra těchto změn se po zásahu kontroluje zkoušením sledované vlastnosti na vrstvě konsolidovaného materiálu a hodnotí se ve vztahu k parametrům stejného materiálu v dobrém stavu nebo v požadovaném stavu. Velikost pórů a pórovitost ovlivňuje transportní vlastnosti vody materiálem, proto by se nové hodnoty po konsolidaci neměly výrazně odchýlit od hodnot charakteristických pro daný materiál a od hodnot, který má daný materiál pod ošetřenou zónou. Rizikem vysokého

zaplnění pórů a výrazného snížení pórovitosti materiálu v povrchové ošetřené vrstvě je např. zdržování vody pod ošetřenou vrstvou v důsledku zpomalení vysychání vody zevnitř materiálu přes ošetřený povrch, což může vést k poškození materiálu mrazovými cykly nebo solemi.

Konsolidace by měla vést k nárůstu pevnosti degradovaného materiálu, i nárůst pevnosti však musí mít určité limity. Kontrola nového pevnostního profilu se provádí stejným způsobem jako před konsolidačním zásahem. Vedle rychlosti absorpce a vysychání vody (ev. i vodní páry), mechanických vlastností (pevnosti v ohybu, rychlosti šíření UZ signálu, modulu pružnosti [27]), je nutno kontrolovat také vliv konsolidace na vlhkostní a teplotní roztažnost materiálu. Tyto vlastnosti lze měřit na malých vzorcích s využitím komerčních nebo speciálně vyvinutých dilatometrů [31, 32].

Limitujícím faktorem pro zkoušení vlastností ošetřené vrstvy po zásahu je tloušťka a lokalizace této vrstvy: v případě tenké vrstvy je stanovení některých vlastností obtížné vzhledem k malému objemu posuzovaného materiálu, zejména in situ. Jednodušší disciplínou je zkoušení vlastností ošetřené vrstvy na modelových laboratorních vzorcích, které napodobují „zdravý a degradovaný“ materiál. V případě hodnocení zásahu na objektu se přednostně využívají nedestruktivní nebo semi-destruktivní metody zkoušení: hodnocení soudržnosti materiálu tzv. peeling testem, hodnocení pevnosti a modulu pružnosti ultrazvukovým vyšetřením, pevnostního profilu odporovým vrtáním (tloušťka vrtáku 3 mm), sorpčních vlastností kapkovou zkouškou nebo využitím trubic nebo mokrých houbiček), mikroskopické vyšetření odebraného vzorku upraveného do nábrusu nebo výbrusu příčného řezu.

Pořadí důležitosti jednotlivých zkoušek se může lišit podle konkrétní situace.

### **III.3. Doplnování (tmelení, náhrada poškozeného materiálu novým)**

Při návrhu složení doplňků bychom měli vycházet ze základního požadavku, který uvádí i Benátská charta (Mezinárodní charta o konzervaci a restaurování památek a sídel), tj. že ideální opravná malta pro doplňování přírodního kamene by měla být dostatečně trvanlivá, avšak měla by časem podléhat přirozenému stárnutí, a to rychleji než stárne originál. O rychlosti stárnutí rozhodují vlastnosti porézních materiálů, a je zřejmé, že některé z nich jsou pro rychlost degradace a živostnost porézních materiálů zásadní, tj. kritické.

Z literatury i ověřovacích studií je však zřejmé, že na vlastnosti tvárné směsi má určující vliv typ pojiva; je známo, že malty ze vzdušného vápna jsou méně pevné oproti hydraulickým pojivům, avšak vyznačují se vyšší propustností pro vodu, vodní páru i elasticitu malt. Při doplňování historických omítek je složení pojiva opravné malty zřejmé; problém nastává při optimalizaci složení pojiva malty pro opravu hornin, které se svými vlastnostmi od omítkových substrátů značně odlišuje. Plnivová složka ovlivňuje kvalitu a do určité míry i vlastnosti malt zvoleným mineralogickým složením, distribucí a tvarem částic. Parametry plniva významně ovlivňují strukturu malty a její vizuální podobu. Při výběru plniva v případě doplňků na kámen jsou však tyto parametry dány strukturou doplňované horniny a zpracovatelskými vlastnostmi. Běžnou praxí při volbě kameniva je využívání drcené horniny, která požadavky na shodu ve struktuře i zpracovatelské vlastnosti nejčastěji nejlépe splňuje. Vlastnosti opravných malt lze také řídit nastavením poměru jednotlivých složek, tj. pojiva a plniva a dále množstvím záměsové vody. Navýšením obsahu pojiva i množstvím záměsové vody se zvyšuje porozita malty a s ní související ostatní vlastnosti. Nadbytek vody nebo pojiva v maltě je na druhou stranu příčinou smrštění malt a vzniku prasklin a trhlin. Také podmínky přípravy malty a jejich expozice mohou zásadně ovlivnit trvanlivost opravy.

Při provádění oprav na porézní podklad je zřejmé, že složení doplňovacího materiálu na kámen musí vycházet z poznání tmelené horniny, tj. jejího mineralogického složení a její mikrostruktury. Její charakterizaci lze provádět nejlépe pomocí mikroskopických technik, zejména optické mikroskopie v polarizovaném a nepolarizovaném světle a dále pak skenovací elektronové mikroskopie s EDX mikrosondou (SEM-EDX). Další možností je využití rentgenové difrakce nebo tzv. termické analýzy. Mikroskopické techniky využívají pro charakterizaci vzorek upravený do formy nábrusu nebo výbrusu, který se pozoruje

v procházejícím a odraženém světelném režimu. Kromě informace o mineralogickém složení poskytuje informaci o stavu materiálu, korozních fenoménech, příp. chování konzervačních látek v porézním systému. Může dále poskytnout informaci k mikrostruktuře a porézním systému a tak doplnit informaci o mikrostruktuře.

Mikrostrukturní vlastnosti materiálu (celková pórovitost, velikost pórů a jejich distribuce, spojitost pórů) ovlivňují transport vody a vodní páry materiálem (rychlost absorpce a vysychání vody z materiálu). Nejčastěji se stanovuje rtuťovou porozimetrií a přináší zásadní informaci ke skladbě pórů, jejich velikosti a zastoupení. Z hlediska interakce materiálu s vodou jsou nejzásadnější tzv. kapilární póry, které se podílejí na transportu vody v porézním systému. Naopak příliš malé póry 'mikropóry' nebo naopak póry veliké, tzv. makropóry, vzniklé např. zvětráváním materiálu, průchod vody porézním systémem zpomalují. Se skladbou pórů a jejich přístupností souvisí další rozhodný parametr, tj. kapilární absorpce, která se měří jako množství vody, které je schopné daný materiál pojmout v rámci časového intervalu. Tato nasákavost tedy zjednodušeně souvisí s kapilární aktivitou materiálu a její poznání je zásadní pro hodnocení chování materiálu při jejich zavlhčení a naopak vysychání. Mezi rozhodné charakteristiky patří i vlastnosti související s pevností materiálu a jeho pružností, tj. pevnost v tlaku, tahu za ohybu a dynamický modul pružnosti. Z ověřovacích studií i dat z literatury však jednoznačně vyplývá, že pevnostní charakteristiky jsou rozhodně pouze v případech doplňků omítek nebo malt opravnými maltami, nikoliv však při doplňování hornin, které představují substrát se zcela odlišnými mechanickými vlastnostmi.

#### III.4. Hydrofobizace

Hydrofobizace (hydrofobní úprava nebo vodoodpudivá úprava povrchu) je postup, při kterém je na porézní materiál aplikován hydrofobní prostředek, který má výrazně zvětšit úhel smáčení materiálu pro vodu a tím snížit nasákavost tohoto materiálu. Hydrofobizace se obvykle provádí na exteriérových površích, které jsou značně exponovány srážkám nebo stékající vodě a kde je cílem tuto vodu rychle z povrchu odvést a minimalizovat její vsáknutí. Z povahy věci nejde o opravný zásah, ale o preventivní opatření.

Výsledný efekt aplikace hydrofobizačního prostředku, tj. změna smáčecího úhlu pro vodu, je dána souhrou řady faktorů, jako je obsah vlhkosti v substrátu, teplota prostředí, atmosférický tlak, rychlost odparu prostředku, velikost pórů substrátu, hrubost povrchu substrátu a další. Jak již bylo naznačeno, při rozhodování, zda hydrofobizaci provést a v jakém rozsahu, hrají zásadní roli vlastnosti konstrukce, jejího geometrického uspořádání, stav materiálu i konstrukce z hlediska zatížení vlhkostí a vodorozpustnými solemi (momentálního i možného budoucího), popřípadě další skutečnosti (např. výskyt nových vápenných omítek, výskyt uměleckých děl na obou stranách konstrukce, výskyt starších konzervačních prostředků atd.).

Dopad provedené hydrofobní úpravy se hodnotí zejména dosaženým snížením nasákavosti. To je dáno v zásadě změnou úhlu smáčení pro vodu a hloubkou penetrace hydrofobního prostředku. Čím je úhel smáčení a hloubka penetrace větší, tím více je snížena nasákavost materiálu. Úhel smáčení je v terénu poměrně obtížně měřitelný. Základní představu si lze udělat při vhodném uspořádání (horizontální rovná plocha) při vyfocení kapky vody a následném odečtení úhlu z fotografie. To je schůdné zejména u leštěných, málo nasákavých materiálů, kde není kapka příliš deformována nerovnostmi podkladu a materiál (byť mikroskopicky heterogenní) lze popsat jedním úhlem smáčení. V případě porézního materiálu s nerovným povrchem je obtížné z deformovaného tvaru kapky aproximovat úhel smáčení a jeho hodnocení je problematické i laboratorně. S výhodou lze využít měření tzv. dynamického úhlu smáčení, kdy je pořízen videozáznam nebo sekvence fotografií vsakující se kapky. Měření lze využít i pro nasákavé materiály a vypovídá nejen o úhlu smáčení suchého materiálu, ale také o chování materiálu již smočeného.

V praxi se obvykle přistupuje přímo k hodnocení nasákavosti materiálu, kterou je možné měřit buďto in situ nebo jako standardizovanou veličinu laboratorně. Pro in situ měření nasákavosti byla vyvinuta řada metod, které se liší požadavky na měřený povrch, citlivostí k nehomogenitám i citlivostí ke změně nasákavosti. Naměřená data jsou nejčastěji

zpracována ve formě difference před a po ošetření, srovnání mezi různými materiály je možné s přihlédnutím k různorodosti materiálů (jejich hrubosti, velikosti a tvaru pórů atd.). Pro orientační zjištění, které je v praxi nejčastější, se používá jednoduché smočení povrchu a sledování, zda dochází ke sbalování kapek a zda je část tekutiny postupně sorbována materiálem. O něco složitější metoda spočívá v měření stopy, kterou zanechá kapalina po bodovém smočení vertikálně orientovaného povrchu materiálu. Metoda je vhodná i na poměrně hrubé povrchy a dokáže zachytit velmi malé rozdíly nasákavosti materiálu. Pro nesmáčivé materiály je obvykle stopa neměřitelná, neboť dochází ke sbalení vody do kapek.

Tradiční metodou pro zjištění in situ nasákavosti je Karstenova trubice, která umožňuje získat časovou závislost vsakování vody definovanou plochou. Vzhledem k testované ploše je metoda použitelná i na značně hrubozrnném materiálu, limitující však může být fixace trubice na málo pevném materiálu (degradovaný kámen či omítka). Velmi přesné měření lze získat pomocí mikrotrubice pracující na podobném principu, avšak s o několik řádů menšími objemy a řádově menší kontaktní plochou. Na rozdíl od Karstenovy trubice se v tomto případě téměř neuplatňuje gravitační síla a absorpce vody je závislá pouze na kapilárních silách. V případě středně a hrubozrnných materiálů je metoda vzhledem k malé kontaktní ploše omezena heterogenitou materiálu a je třeba hodnotit větší množství míst. Pro málo porézní a tedy málo nasákové materiály byly vyvinuty další kontaktní metody, které jsou založeny na hodnocení změny hmotnosti houby nasáklé destilovanou vodou po přiložení definovanou plochou na definovaný čas na měřený materiál. Metoda je vhodná zejména na hladké rovné povrchy jako například leštěný mramor nebo žula. V praxi může být hydrofobním prostředkem dosaženo takového snížení nasákavosti, že uvedená měření, respektive časy potřebné k dosažení měřitelných objemů vsáklé kapaliny jsou příliš dlouhé. Pro hodnocení pak postačuje skutečnost, že povrch je pro vodu nesmáčivý.

Pro laboratorní měření nasákavosti lze postupovat v souladu s normou ČSN EN 13755: Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku.

Hloubku průniku hydrofobizačního prostředku, která je důležitým faktorem účinnosti hydrofobizace a její životnosti, lze v praxi určit poměrně snadno, avšak téměř výhradně vždy destruktivně. Nejjednodušší metoda spočívá v odebrání materiálu do dostatečné hloubky (vyseknutí vzorku omítky, jádrový vývrt kamene apod.) a změření nenasákové vrstvy po ponoření vzorku do vody. Hloubku průniku prostředku lze sledovat dále řadou sofistikovanějších metod, které jsou založeny například na barvení ošetřeného vzorku (např. nástřik roztokem s indikátorem diphenylthiocarbazonem, který reaguje s nejběžnějším katalyzátorem organokřemičitanů –dibutylcindilaurátem).

Další vlastnosti, které jsou při aplikaci hydrofobizace v praxi sledovány, jsou barevná změna materiálu a změny lesku (odrazivosti) povrchu materiálu. V obou případech je žádoucí, aby docházelo k minimálním změnám, v praxi však hydrofobní ošetření většinou vede k různě intenzivnímu probarvení (zvýraznění) barevnosti materiálu v souvislosti s uzavřením mikroprasklin na jeho povrchu a tedy se snížením rozptylu světla na povrchu materiálu. Změny lesku materiálu jsou obvykle vnímány jako více nežádoucí, ale dochází k nim spíše v souvislosti s technologickou chybou (rychlé vyschnutí prostředku, aplikace přílišné koncentrace prostředku apod.), vhodnými podmínkami aplikace je lze téměř zcela minimalizovat. Tyto barevné a další změny se v praxi nejčastěji hodnotí vizuálně. V případě potřeby objektivnějšího hodnocení je (opět s určitými omezeními danými kvalitou a morfologií povrchu) možné absolutní celkovou barevnou změnu vyhodnotit exaktně pomocí přenosného spektrometru. Podobně lze objektivizovat změny lesku měřením změny reflektance povrchu.

Paropropustnost je z hlediska povrchových úprav porézních materiálů důležitá veličina, kterou lze však získat pouze laboratorním měřením na standardizovaných vzorcích. Měření probíhá například dle normy ČSN EN 15803 Stanovení paropropustnosti vodní páry. V praxi nebývá v souvislosti s prováděním hydrofobizace testována, tyto testy jsou prováděny v rámci certifikace komerčních hydrofobizačních prostředků a dopad aplikace prostředku na paropropustnost materiálu by měl být uveden v technickém listu produktu. V případě hydrofobizantů na bázi alkylalkoxykřemičitanů je dopad ošetření na paropropustnost

materiálu obvykle malý, pokles nepřesahuje přijatelných 10 % a změna je při porovnání s ostatními typy hydrofobizačních prostředků (oleje, vosky, pryskyřice atd.) zanedbatelný.

Vedle paropropustnosti je důležité měření rychlosti vysychání vody z materiálu a vyhodnocení míry případného snížení rychlosti vysychání po hydrofobizaci povrchu (viz metoda č. 21 v příloze metodiky).

V následující tabulce (tab.1) jsou uvedeny materiálové vlastnosti, jejichž zhodnocení by mělo být východiskem pro navržení určitého postupu čištění, konsolidace, doplnění chybějící hmoty nebo hydrofobizace památkového objektu, aby restaurátorský zásah splňoval nároky na kompatibilitu materiálů.

Tab. 1. Materiálové vlastnosti pro návrh konzervačních a restaurátorských zásahů  
(X – vlastnosti s vyšší prioritou, o – vlastnosti s nižší prioritou)

Vlastnost	Symbol Jednotka	Čištění	Konsolidace	Doplnění	Hydrofobizace	Metody č.
Hloubka degradované vrstvy, která má být zpevněna	- [mm]		X	o		1, 2, 4, 25, 26
Mikrostrukturní vlastnosti: četnost, velikost, tvar a propojenost pórů, množství pojiva/ tmelu, popis a lokalizace defektů (praskliny, trhliny)	popis mikroskopického nebo rentgenového obrazu příčného řezu	X	X	o	o	1, 2, 6, 7
Velikost pórů stanovená rtuťovou porozimetrií	- [μm]		o	X		4
Smáčivost pro vodu a org. rozpouštědla (úhel smáčení nebo doba vsáknutí kapky)	- [° nebo s]	X	X	X	X	23, 24
Koeficient kapilární absorpce vody	$w$ [kg·m <sup>-2</sup> ·hod <sup>-1/2</sup> ]	X	X	X	X	20
Otevřená (efektivní) pórovitost	$P_o$ [% obj.]		o	o	X	3
Chemické složení složek	-	X	o			2, 11-18
Přítomnost sekundárních vodorozpustných solí v hloubkovém profilu	- [% hm.]	o	X	X	X	10
Obsah vlhkosti v hloubkovém profilu	- [% hm. ]		o		X	9
Minerální (fázové) složení materiálu v hloubkovém profilu	-	X	X		X	1, 2, 11, 13, 15, 16
Rychlost vysychání vody	- [kg·m <sup>-2</sup> ·hod <sup>-1/2</sup> ]	o	o		X	21
Faktor difuzního odporu pro vodní páru	$\mu$ -	o	o		X	22
Povrchová soudržnost (hmotnost odtrženého materiálu)	- [g/m <sup>2</sup> ]	o	o			27
Odpor proti vrtání (pokud metoda poskytuje jednoznačně interpretovatelné výsledky)	- [N] nebo [s]		X			25
Přidržnost	$f_u$ [N·mm <sup>-2</sup> ]			X		29
Rychlost šíření UZ signálu	$V$ [km/s]		X	o		26
Modul pružnosti	$E$ [MPa]		X	X		26, 28
Pevnost v tahu za ohybu	$R_f$ [N·mm <sup>-2</sup> ]		X	X		28

Pevnost v tlaku	$R_c$ [N·mm <sup>-2</sup> ]			X		28
Teplotní roztažnost	$\alpha_T$ [μm/K]		o	o		30
Vlhkostní roztažnost	$\alpha_H$ [μm/m]		o	o	o	31
Mrazuvzdornost	počet cyklů		o	o	o	32
Odolnost vůči vodorozpustným solím	počet cyklů		o	o	o	33
Přítomnost organických látek	-	o			o	13, 15,16, 18, 19
Přítomnost mikroorganismů v případě osídlení povrchu (bakterie, plísně, řasy, mechy, lišejníky)	-	o			o	1,2
Barva exponovaného (znečištěného) povrchu a referenční barva materiálu (barva lomové plochy materiálu, dohodou stanovená barva)	slovně nebo souřadnicemi barvy: L*, a*, b*	X				38
Změna barvy a lesku	slovně nebo $\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$	X	X	X	X	38

#### IV. Metody pro zkoušení materiálových vlastností

Metody používané pro stanovení materiálových charakteristik (tab. 1., sloupec vpravo), jsou v následující tabulce (tab. 2) rozčleněny do skupin podle cíle analytické nebo zkušební metody. Podrobnější popisy jednotlivých metod jsou uvedeny v příloze této metodiky.

Tab. 2. Metody a zkoušky pro charakterizaci materiálových vlastností

Metody pro studium mikrostrukturních charakteristik			
Metoda č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
1	Optická mikroskopie	určení tvaru a velikosti zrn a pórů, popis počtu vrstev	ano
2	Skenovací elektronová mikroskopie	studium morfologie povrchu, tvaru, velikosti a četnosti částic	ne
3	Stanovení pórovitosti přístupné vodě	určení otevřené pórovitosti, nasákavosti a objemové hmotnosti	ne
4	Rtuťová porozimetrie	určení velikosti a distribuce pórů, pórovitosti v intervalu 3 nm – 200 μm	ne
5	Sítová analýza	zastoupení jednotlivých velikostních frakcí zrn v syčkém materiálu	ne
6	Rentgenová tomografie	zjištění prasklin, makropórů, poruch či přítomnost vnitřních konstrukcí z různých materiálů	ne
7	Obrazová analýza	určení velikosti, tvaru a četnosti částic, poměr složek	ne
8	Plynová absorpce (metoda BET)	stanovení velikosti měrného povrchu materiálu	ne

Metody pro studium materiálového složení			
Metoda č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
11	Rentgenová difrakční analýza	identifikace anorganických krystalických fází materiálu i sekundárně vytvořených látek	ne



12	<b>Silikátová analýza</b>	chemické složení pojiva, poměr pojivo:plnivo	ne
2	<b>Skenovací elektronová mikroskopie s EDS detektorem</b>	prvková mikroanalýza fází přítomných ve vzorku	ne
13	<b>Termická analýza</b>	fyzikální nebo chemické vlastnosti pevných látek, zastoupení složek materiálu	ne
14	<b>Iontově výměnná chromatografie</b>	stanovení aniontů a kationtů vodorozpustných solí	ne
15	<b>Infračervená spektrometrie</b>	identifikace organických a anorganických sloučenin	ne
16	<b>Ramanova spektroskopie</b>	identifikace organických a anorganických sloučenin	<b>ano</b>
17	<b>X-ray fluorescenční spektroskopie</b>	chemická (prvková) analýza kovových i nekovových materiálů	<b>ano</b>
18	<b>Hmotnostní spektrometrie</b>	identifikace organických sloučenin	ne
9	<b>Stanovení obsahu vlhkosti</b>	zjištění vlhkostních poměrů objektu	<b>ano</b>
10	<b>Stanovení obsahu vodorozpustných solí</b>	identifikace a distribuce rozpustných solí	<b>ano</b>
19	<b>Průzkum v UV světle</b>	zviditelnění složek, které nemusí být viditelné v denním světle	ne

#### Metody pro zjištění interakce porézního materiálu s vodou (vodnými roztoky)

Metoda č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
20	<b>Stanovení kapilární nasákavosti</b>	stanovení množství vody, které je vzorek schopen absorbovat kapilárním systémem	<b>ano</b>
21	<b>Stanovení rychlosti vysychání</b>	stanovení rychlosti vysychání vzorků	ne
22	<b>Stanovení paropropustnosti</b>	určení prostupnosti vodní páry zkoumaným materiálem	ne
23	<b>Měření kontaktního úhlu</b>	Zjištění smáčivosti povrchu pomocí měření kontaktního úhlu mezi kapkou vody a povrchem	ne
24	<b>Kapkový test</b>	hydrofobita povrchu, rychlá srovnávací metoda	<b>ano</b>
31	<b>Vlhkostní dilatometrie</b>	určení změny délkových rozměrů při nasycení tělesa vodou	ne

#### Metody pro stanovení mechanických charakteristik

Metoda č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
28	<b>Zkouška pevnosti</b>	určení pevnosti materiálu při ohybové a tlakové zkoušce, lze současně stanovit modul pružnosti	<b>ano</b>
26	<b>Ultrazvuková transmise</b>	lokalizace poškození, dlouhodobé monitorování stavu, srovnávací metoda, lze současně stanovit modul pružnosti	<b>ano</b>
25	<b>Odporové vrtání</b>	měření hloubkového pevnostního profilu materiálu, ověření účinnosti konsolidace	<b>ano</b>
27	<b>Peeling test</b>	zjištění povrchové soudržnosti, jako srovnávací metoda	<b>ano</b>
29	<b>Zkouška přídržnosti</b>	určuje přídržnost doplňku k podkladu	<b>ano</b>

Stanovení charakteristik souvisejících s odezvou materiálu vůči změnám vnějších podmínek			
Příloha č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
30	<b>Teplotní dilatometrie</b>	určení změny délkových rozměrů při zahřátí/ochlazení tělesa	ne
31	<b>Vlhkostní dilatometrie</b>	určení změny délkových rozměrů při nasycení tělesa vodou	ne
32	<b>Zkouška mrazuvzdornosti</b>	určení změny vlastností materiálu před a po absolvování zmrazovacích cyklů	ne
33	<b>Zkouška odolnosti vůči působení solí</b>	určení změny vlastností materiálu před a po vystavení cyklickému působení solí	ne
34	<b>Stanovení tepelné vodivosti</b>	určení hodnoty koeficientu tepelné vodivosti materiálu v suchém stavu	ne

Metody pro stanovení vlastností materiálu v makroměřítku			
Příloha č.	Název	Cíl analýzy	Možnost in situ
35	<b>Teplotní analýza povrchu (termokamera)</b>	diagnostika podpovrchových defektů (trhliny, dutiny) pomocí měření teplotních polí	<b>ano</b>
36	<b>Měření georadarem</b>	detekce velkých prasklin a inkluzí, zkoumání struktury zdiva, zjištění vlhkosti objektu	<b>ano</b>
37	<b>Detekce kovů</b>	detekce kovových prvků uvnitř objektů	<b>ano</b>
38	<b>Stanovení barevnosti povrchu pomocí spektrometru</b>	Porovnání barevnosti povrchu před a po restaurátorském zásahu	<b>ano</b>

## V. Množství a velikost vzorků pro materiálové zkoušky

Odběr vzorků historického materiálu z kulturních památek za účelem jeho charakterizace během všech stadií konzervátorského procesu popisuje norma EN 16085 (2012) Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules. Tato norma upozorňuje na skutečnost, že vzorkování je invazivní a nevratně poškozuje kulturní památku, jakkoliv málo. Odběr vzorků má být proto proveden pouze v silně zdůvodněných případech a v nejtěsnější konzultaci s osobami odpovědnými za památku a s osobami, které budou vzorky studovat. Je nutné vzít v úvahu, zda lze stejnou informaci získat neinvazivním způsobem. Tato evropská norma nepředepisuje žádný konkrétní počet vzorků nebo množství materiálu ke zkoušení. Odběr vzorků je ve smyslu této normy prováděn při místním šetření dohodou mezi osobami odpovědnými za památku a osobami, které mají zkoušky provádět způsobem neinvazivním tak, aby nedošlo k nevratnému poškození památky. V tabulce 6 jsou vyznačeny metody, které je možné provést in-situ na objektu bez invaze.

Výše uvedená evropská norma pro odběr vzorků z památky je i hlavní překážkou pro případnou plnou aplikaci řady technických norem, neboť obvykle nelze zajistit množství a objem materiálu, potřebný pro výrobu zkušebních těles v normou určených rozměrech a počtech. Zkušební postupy je nutno v takových případech modifikovat a zjistit vliv odlišných parametrů vzorku na naměřené hodnoty zjišťované vlastnosti, aby mohl být výsledek zkoušky případně upraven korekcí na velikost vzorku a správně interpretován [6].

Normalizací v oblasti zkoušení historických materiálů a památek obecně se zabývá technický výbor CEN/TC 346 - Conservation of Cultural Heritage, který dosud zpracoval pouze zlomek potřebných norem. Pro hodnocení stavu historického materiálu je možno

využít především normu EN 16096 (srpen 2012) Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage. Jedná se o dokument, který má obecnou povahu a průzkum je založen na "hodnocení dochovaného stavu vizuální prohlídkou, kombinovanou v případě potřeby jednoduchým měřením". Norma se neodvolává na žádnou další technickou normu a jejím základním posláním je dokumentace stávajícího stavu. Pro zkoušení historických materiálů z kulturních památek se vedle CEN norem používají normy Českého normalizačního institutu ČSN, EN, dále normy WTA (Vědecko-technická společnost pro sanace staveb a péči o památky) a organizace RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures), která vydává tzv. technická doporučení pro řešení jednotlivých problémů v oblasti konstrukčních materiálů.

## **VI. Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, příp. jejich zdůvodnění, a jejich srovnání s postupy v zahraničí**

Nároky na provádění materiálového průzkumu v ČR jsou v různém rozsahu zmiňovány v publikacích architektů, historiků umění, technologů a dalších pracovníků památkové péče [13-18]. Jsou doporučeny metody zjišťující složení materiálu (chemické a fázové), mikrostrukturu, velikost a tvar částic (mikroskopická analýza, granulometrická analýza) a dále jsou jmenovány některé metody pro zjištění příčin poškození díla (stanovení vlhkosti gravimetrickou metodou nebo exaktními vlhkoměry, stanovení obsahu vodorozpuštěných solí kapalinovou chromatografií, zjištění biotických škůdců mykologickou mikroskopickou analýzou, strukturální poškození ultrazvukovým, příp. radarovým vyšetřením, rentgenografií, počítačovou tomografií. Nová metodika se zaměřuje na materiálové vlastnosti, které charakterizují anorganické stavební materiály, a které je třeba posoudit před návrhem postupu čištění, konsolidace, doplnění chybějící hmoty, hydrofobizace památkového objektu, aby zásah splňoval nároky na kompatibilitu materiálů. Metodika vznikla na základě studia zahraničních odborných publikací [1-12] a výzkumu provedeného v rámci projektu NAKI DF12P01OVV018.

## **VII. Uplatnění Certifikované metodiky**

Metodika je určena pracovníkům památkové péče, restaurátorům, architektům a projektantům pro přesnější zadávání zkoušek a analýz materiálových vlastností. Tyto vlastnosti jsou zjišťovány při předprojektové přípravě nebo restaurátorském průzkumu v rámci obnovy památkových objektů nebo předmětů kulturního dědictví.

### **Seznam použité související literatury**

- [1] Tabasso, L. M., Simon, S.: Testing methods and criteria for the selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials. *Reviews in Conservation* (7) 2006.
- [2] Rodrigues, J.D., Grossi, A.: Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 8., Issue 1, 32-43, 2007.
- [3] Sasse, H. R., and Sneathlge, R., Evaluation of stone consolidation treatments, *Science technology for Cultural Heritage* 5 (1) (1996) 85-92.
- [4] Rodrigues J. D.: Assessing compatibility in conservation of masonry structures on archaeological sites. In *Proceedings Safeguarded Cultural Heritage (SAUVEUR Project – M. Drdáký, M. Chapuis (eds.)), Vol.1, ISBN 978-80-86246-31-4 (Vol. 1), ISBN 978-80-86246-29-1 all, ITAM 2007, pp. 171-180.*

- [5] Snethlage, R., Wendler, E.: Moisture cycles and sandstone degradation. In: Baer NS, Snethlage, R.(eds) Saving Our Architectural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures. Report of Dahlem Workshop. Berlin, 3-8 March 1996. Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 7-24.
- [6] Drdácý, 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
- [7] Siegesmund, S., Snethlage, R.: Stone in Architecture - Properties, Durability; Springer 2011; ISBN 978-3-642-14474-5.
- [8] Snethlage, R., Pfanner, M. : Leitfaden Steinkonservierung. Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. Fraunhofer IRB Verlag 2013. ISBN 978-3-8167-8633-7.
- [9] Lehrberger, G., Gillhuber, S.: Herkunft, verwendung, verwitterung und Konservierung in der Klosteranlage von Tepl8 in Westböhmen. Původ, použití, zvětrávání a konzervování v areálu Kláštea Teplá v západních Čechách. Münchner geol. Hefte B 22, München 2007, ISBN 978-3-00-021033-4.
- [10] Bläuer, Ch.; Franzen, Ch.; Vergès-Belmin, V.: Simple field tests in stone conservation. 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone 2012 [Online]. <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/blauetal.pdf> (accessed Jan 23, 2015).
- [11] Sýkorová, I., Havelcová, M., Trejtnarová, H., Matysová, P., Vašíček, M., Kríbek, B., 2009, Characterization of organic matter in dusts and fluvial sediments from exposed areas of downtown Prague, Czech Republic. International Journal of Coal Geology, Nr. 80, pag. 69-86.
- [12]. Sýkorová, I., Havelcová, M., Zeman, A., Trejtnarová, H., 2011, Carbon air pollution reflected in deposits on chosen building materials of Prague Castle, Science of Total Environment, Nr.409, pag.4606-4611.
- [13] Solař: K otázce restaurování v památkové péči. Obnova památek 2008 – Restaurování. Sborník příspěvků k 8. ročníku konference. Studio Axis, ISBN 978-80-904081-0-4, str. 12-22
- [14] M. Tichý: K otázce restaurování v památkové péči. Obnova památek 2008 – Restaurování. Sborník příspěvků k 8. ročníku konference. Studio Axis, ISBN 978-80-904081-0-4, str. 38-43.
- [15] V. Razím a P. Macek (edd.): Zkoumání historických staveb. NPÚ-územní pracoviště středních Čech v Praze. Praha 2011. ISBN 978-80-86516-41-7
- [16] I. Kopecká, V. Nejedlý: Průzkum historických materiálů analytické metody pro restaurování a památkovou péči. Praha 2005.
- [17] J. Holeček, V. Girsá a kol.: Projektování obnovy stavebních památek, Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, Praha 2008, ISBN 978-80-87104-34-7
- [18] V. Girsá, D. Michoinová: 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.
- [19] Croci, G.: General methodology for the structural restoration of historic buildings: the cases of the Tower of Pisa and the Basilica of Assisi. Journal of Cultural Heritage, 1, 2000, pp 7-18.
- [20] Livingstone, R. A.: Nondestructive Testing of Historic Structures. Archives and Museum Informatics, 13, 1999/2001, pp 249-271.
- [21] Marinoni, N., Pavese, A., Foi, M., Trombino, L.: Characterisation of mortar morphology in thin sections by digital image processing. Cement and concrete research, 35, 2005, pp 1613-1619.
- [22] Sass, O., Viles, H. A.: How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls. Journal of Cultural Heritage, 7, 2006, pp 257-263.

- [23] Ruedrich, J., Siegesmund, S.: Salt and ice crystallisation in porous sandstones. *Environmental Geology*, 52, 2007, pp. 225-249.
- [24] Faria, P., Henriques, F., Rato, V.: Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 2008, 338-346.
- [25] Matteini, M.: Inorganic treatments for the consolidation and protection of stone artefacts and mural paintings. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 8, 2008, pp 13-27.
- [26] Ferreira Pinto, A. P., Delgado Rodrigues, J.: Stone consolidation: The role of treatment procedures. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 2008, pp 38-53.
- [27] Henry, A. *Stone Conservation: Principles and Practice*. Dorset: Donhead Publishing, 2006. ISBN 978-1873394786.

**Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (případně výstupy z originální práce)**

- [28] Drdácý, 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.
- [29] Drdácý, M., Slížková, Z.: Enhanced affordable methods for assessing material characteristics and consolidation effects on stone and mortar. *J. Geophys. Eng.* 10 (2013) 064005 (6pp)  
doi:10.1088/1742-2132/10/6/064005
- [30] Drdácý, 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)
- [31] Slížková, Z., Drdácý, M., Viani, A.: Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide, *Journal of Cultural Heritage* (2014), DOI 10.1016/j.culher.2014.09.003  
on line at: <http://authors.elsevier.com/sd/article/S1296207414001150>
- [32] 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.
- [33] Macounová, D., Bayer, K., Ghaffari, E., Navrátilová, M., Slížková, Z., Weber, J.: Consolidation testing of porous limestone using lime nanomaterials: optimization, assessment of stone mechanical and structural characteristics. 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. 184-185. ISBN 978-80-86246-42-0.
- [34] Navrátilová, M., Bayer, K., Ghaffari, E., Macounová, D., Slížková, Z., Weber, J.: Modification of protective lime coating systems for the porous limestone using lime nanomaterials: assessment of mechanical properties and ageing resistance. 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. 210-211. ISBN 978-80-86246-42-0.
- [35] Slížková, Z., Frankeová, D., Drdácý, M.: 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.[Historic mortars conference /3./, Glasgow (GB), 11.09.2013-13.09.2013].

[36] <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/slizfran.pdf>

[37] Vavřík, D., Jandejsek, I., Slížková, Z.: Observation of lime nanoparticles distribution during evaporation of transportation media. Tomography of materials and structures. Ghent : University press, 2013, s. 285-287 ISBN 978-9-4619713-0-2. International Conference on Tomography of Materials and Structures /1./, Ghent (BE).

[38] Drdácký, M., Slížková, Z.: Lime-Water Consolidation Effects on Poor Lime Mortars. APT Bulletin: Journal of Preservation Technology, 43:1, 2012, pp. 31-36.

[39] Drdácký, M. ; Fratini, F. ; Frankeova, D. ; Slížková, Z. The Roman mortars used in the construction of the Ponte di Augusto (Narni, Italy) – A comprehensive assessment. Construction and Building Materials 38 (2013) s.1117–1128 <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.044>.

[40] Drdácký, M., Beran, P.: Compatible dilatation Limit of Masonry joint Mortars, Journal of Architectural Heritage, Vol. 4, No. 2, 2010.

[41] Drdácký, M., Slížková, Z., Valach, J.: Vliv etylsilikátových zpevňovacích prostředků na chování a vlastnosti glaukonitického pískovce použitého na stavbu katedrály sv. Víta v Praze, in "Organokřemičitany v české památkové praxi", Práce NPÚ, sv.1, ISBN 978-80-87104- -15-6, NPÚ Praha, str. 49-57, 2008

[42] Ďoubal, J.: Reasearch into the methods of Cleaning the Silicate Sandstones Used for Historical Monuments. Journal of Architectural Conservation, 20:2, 2014

[43] Ďoubal, J.: Možnosti objektivního hodnocení čištění kamene. Restaurování a obnova uměleckých děl: Čištění uměleckých děl. Kutná Hora: Arte-fakt, ISBN 978-80-905924-0-7, 2014, pp 14-21.

[44] Ďoubal, J.: Srovnání čištění laserem s dalšími metodami čištění na silikátových pískovcích. Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: Sborník z konference. ISBN 978-80-7395-6, Pardubice: Universita Pardubice, 2013, pp 205-214.

[45] Janotová, D.; Niedoba, K. ; Gláser, P. ; Šašek, P. ; Fabeš, R. Properties of commercially available, ready-to-use mortars for restoration of historic renders and masonry. In Engineering mechanics 2015. 21st International conference, May 11-14, 2015, Svratka, Czech Republic. Extended abstracts. Prague. Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i., 2015. S. 116-117. ISBN 978-80-86246-42-0. ISSN 1805-8248.

[46] Tišlová, R., Novotná, A.: Repair formulation for fine-grained stone arte-facts. In Engineering mechanics 2015. 21st International conference, May 11-14, 2015, Svratka, Czech Republic. Extended abstracts. Prague. Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i., 2015. S. 116-117. ISBN 978-80-86246-42-0. ISSN 1805-8248.

## **1. Název metody: Optická mikroskopie**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Pozorování drobných objektů v procházejícím, odraženém a polarizovaném světle až v 1000 násobném zvětšení, mikroskop lze doplnit digitálním fotoaparátem pro pořizování mikrofotografií a softwarem pro kvantitativní analýzu obrazu

### **3. Použití metody:**

- identifikace tvaru, velikosti a poměru jednotlivých složek stavebních materiálů pomocí analýzy obrazu. Například stanovení přibližného poměru pojiva a plniva.
- identifikace minerálů a druhu pojiva, popř. jejich strukturních vlastností či chemických interakcí na základě optických vlastností
- stratigrafie - stanovení počtu a tloušťky vrstev v příčném řezu vzorkem, popř. jejich dalších vlastností
- pórovitost a distribuce velikosti pórů na základě obrazové analýzy
- poškození stavebních prvků (koroze, praskliny atd.)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- plocha nábrusů nebo výbrusu by měla být cca 2cm<sup>2</sup>

### **5. Omezení, limity metody:**

- u nerovných (neleštěných) povrchů je pozorování v odraženém světle možné jen u malých zvětšení daných hloubkou ostrosti objektivu
- barva odraženého světla nemusí být totožná s barvou minerálu pozorovaného makroskopicky
- interpretace výsledků vyžaduje zkušenost operátora

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- destruktivní vůči odebranému vzorku, jestliže je nutné zhotovit výbrus či nábrus
- je možné pozorování in situ – nedestruktivně a neinvazivně

### **7. Časová náročnost:**

- příprava nábrusu / výbrusu ze vzorku: několik dní až týden; mikroskopie: 1 až 3 hodiny dle náročnosti vzorku a požadavků

### **8. Cena:**

- Geologický ústav AV ČR: příprava výbrusu 250-500 Kč; příprava nábrusu 180-450 Kč; pozorování + pořízení fotodokumentace 100 Kč/ hodina
- Česká *geologická služba*: příprava výbrusu 200-550 Kč; příprava nábrusu 280-400 Kč

### **9. Normy:**

- ČSN EN 12407 Zkušební metody přírodního kamene - Petrografický rozbor
- ČSN 72 1153 Petrografický rozbor přírodního stavebního kamene
- ČSN EN 932-3 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva - Část 3: Postup a názvosloví pro jednoduchý petrografický popis

# **1. Název metody: Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s energiově disperzním detektorem RTG záření (EDS)**

## **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Metoda s vysokým rozlišením umožňující studium vzorků z morfologického, strukturního i chemického hlediska. Možnost využití SE detektoru – morfologie, BSE detektoru – struktura a chemické složení, EDS detektoru – prvková mikroanalýza

## **3. Použití metody:**

- Tvar, velikost, četnost částic/složek ve vzorku pomocí analýzy BSE snímků - mikrografů. Na základě obrazové analýzy lze stanovit například poměr pojiva a agregátů či jejich granulometrii
- Prvková mikroanalýza fází přítomných ve vzorku pomocí bodových i plošných analýz a stanovení jejich relativního zastoupení. Společně s obrazovou analýzou BSE mikrografů lze z výsledků vyhodnotit například mineralogické složení agregátů a jejich zastoupení ve vzorku nebo mapovat například plošnou distribuci solí v zasoleném vzorku. Dále lze na základě chemických analýz stanovit hydraulický index pojiva či druh pigmentu
- Distribuce velikosti pórů, celková porozita pomocí analýzy obrazu BSE mikrografů
- Poškození stavebních prvků (koroze, praskliny atd.)
- Počet nátěrových vrstev, jejich tloušťku a chemické složení
- Přítomnost krusty na povrchu a její chemické složení

## **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Pro zajištění vodivosti je nutno vzorek napařit tenkou vrstvou uhlíku nebo kovu

## **5. Omezení, limity metody:**

- Velikost vzorku je omezená komorou přístroje a schopností vytvořit vakuum (přibližně 1×1×1 cm porézní vzorek, 5×5 cm pro nábrus nebo výbrus)
- Výsledné mikrografie jsou vždy ve stupních šedi
- Překryv RTG spekter zejména pro Pb a S a Mn a Fe – nepřesnost kvantitativního stanovení

## **7. Invazivní, neinvazivní:**

- Měření in situ – nelze, laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní)

## **8. Časová náročnost:**

- V případě SE a BSE snímkování přibližně 1- 2 hodiny podle náročnosti vzorku (např. více vrstev), v případě BSE snímkování a prvkové mikroanalýzy cca 3 až 7 hodin, příprava výbrusu trvá několik dní až týden

## **9. Cena:**

- SE a BSE snímkování - podle počtu hodin (1000 Kč/hodina)
- BSE a prvková mikroanalýza, dle náročnosti 1000 - 5000 Kč



## **1. Název metody: Stanovení otevřené pórovitosti**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Veličina vyjadřuje poměr objemu otevřených pórů k zdánlivému objemu zkušebního tělesa
- Otevřené póry vznikají např. odpařováním vody, únikem plynů během výroby nebo záměrným provzdušněním materiálu a jsou propojené s vnějším prostředím

### **3. Použití metody:**

- Stanovení vlastností materiálu, odhad transportu vlhkosti apod. - množství otevřených pórů přímo ovlivňuje difúzi, navlhání a vysychání materiálu
- Pro odhad množství impregnační látky, které je materiál schopný absorbovat

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Dostatečné množství reprezentativních vzorků (dle normy 3 – 6 vzorků pravidelného tvaru)

### **5. Omezení, limity metody:**

- Nevhodné pro nehomogenní materiály

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- 3 - 4 dny

### **8. Cena:**

- Např. VŠB Zkušební laboratoře výzkumného centra hornin: Stanovení celkové a otevřené pórovitosti (ČSN EN 1936) 400 Kč bez DPH

### **9. Normy:**

- ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty
- ČSN EN 1936 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti
- ČSN EN 772-4 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 4: Stanovení hustoty, objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti zdicích prvků z přírodního kamene
- RILEM 25 PEM I.1 Porosity accessible to water
- RILEM 25 PEM I.2 Bulk densities and real densities

## **1. Název metody: Rtuťová porozimetrie**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- pórovitost (objemová %)
- distribuce velikosti pórů (křivka  $dV/d\log D$ , na které lze snadno porovnávat objemy pórů v jednotlivých velikostních intervalech)
- objemovou hmotnost ( $\text{g/cm}^3$ )

### **3. Použití metody:**

- pokud je potřeba zjistit velikost pórů (např. kvůli volbě velikosti částic případně aplikované suspenze)
- velikost pórů naznačuje, jak rychle bude materiál nasávat zvolený prostředek, a jak vysoko může vzlítnat vlhkost
- vyhodnocení paropropustnosti (existuje korelace mezi velikostí pórů a touto veličinou)
- porovnání struktury různých materiálů

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- v laboratoři – v ideálním případě 3 vzorky  $5 \times 5 \times 20$  mm, objem vzorku  $< 1 \text{ cm}^3$

### **5. Omezení, limity metody:**

- lze měřit interval pórů od několika do cca  $200 \mu\text{m}$
- v některých případech náročná interpretace křivky distribuci velikosti pórů
- práce s toxickými látkami

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- příprava vzorku: 1 den, měření: 2h

### **8. Cena:**

- 2500 Kč (3 vzorky)

### **9. Normy:**

- RILEM 25 I.5 (doporučení)

## **1. Název metody: Stanovení velikosti částic kameniva (sítová analýza, granulometrie)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- zastoupení jednotlivých velikostních frakcí zrn v sypkém materiálu (hm. %)

### **3. Použití metody:**

- zjištění granulometrie (distribuce velikosti zrn) plniva (např. malty) nebo sypkého materiálu

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- standardně (podle ČSN EN 1015-1) 200 g pro kamenivo s  $d_{\max} \leq 4$  mm
- není-li možné předchozí podmínku splnit, předpokládá se alespoň 50 g u jemnozrnných materiálů a 100 g u hrubozrnných

### **5. Omezení, limity metody:**

- dle ČSN EN 1015-1 nelze provést u materiálů, které obsahují vlákna
- nevýhodou je nutná separace pojiva a plniva v případě malty
  - Mechanická separace – nevýhodou je nedokonalé oddělení pojiva a plniva, možnost rozbití plniva na menší kusy
  - Chemická separace (rozpuštění pojiva ve zředěné kyselině a odfiltrování plniva) – lze pouze v případě, kdy je plnivo nerozpustné v kyselině

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- sušení vzorku: 24-48 h, separace (rozpuštění, filtrace): 1 h; sušení kameniva: 24 h; měření: 1 h; zpracování dat: 1 h

### **8. Cena:**

- ÚTAM AV ČR, v. v. i.
  - Pouze plnivo: 650 Kč bez DPH
  - Malta (nutná separace): 1300 Kč bez DPH

### **9. Normy:**

- ČSN EN 1015-1 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozborem)
- ČSN EN 13139 Kamenivo pro malty
- ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu

## **1. Název metody: Rentgenová tomografie (RTG tomografie)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Rentgenová tomografie pomocí speciálního softwaru umožňuje studium trojrozměrného RTG obrazu předmětu - nedestruktivní zjištění vnitřní struktury
- Pro studium mikrostruktury lze využít mikro-tomografie s vysokým prostorovým rozlišením [ $\mu\text{m}$ ]

### **3. Použití metody:**

- Zjištění prasklin, poruch či přítomnost vnitřních konstrukcí z různých materiálů
- Lze zobrazit řez předmětem
- Identifikace pigmentů na bázi těžkých kovů (olovnatá běloba, podkres olůvkem atd.)
- Studium zkorodovaných předmětů

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Maximální rozměry a hmotnost vzorku podle přístroje ( $\varnothing$  90 × výška 200 mm ale i  $\varnothing$  500 × výška 800 mm)

### **5. Omezení, limity metody:**

- V závislosti na materiálu je omezena tloušťka, kterou RTG záření projde

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Nedestruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- V závislosti na vzorku a typu měření se časová náročnost pohybuje v řádech hodin až desítek hodin (kalibrace, tomografické měření, zpracování dat)

### **8. Cena:**

- Za hodinu práce přibližně 3500 Kč

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody:    **Obrazová analýza (DIA)****

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Pořadí, počet a tloušťky různých vrstev (stratigrafie) - povrchových úprav, omítek, nečistot apod. (analýza příčného řezu)
- Charakter plniva (například ostrý písek vs. kulatý), poměr pojivo : plnivo
- Přibližnou pórovitost a distribuce velikosti pórů
- 3D rekonstrukce povrchu – hodnocení drsnosti, uzavřenosti povrchu apod.
- Relativní obsah některých prvků (snímky SEM-EDS) nebo fází
- Celkovou strukturu materiálu, z ohledem na různé fáze (3D rekonstrukce)
- Distribuce vlhkosti v nástěnných malbách nebo v celé fasádě
- Poškození stavebních prvků (koroze, praskliny atd.)
- Změny barevnosti v následku restaurátorského zásahu

### **3. Použití metody:**

- Pro určení četnosti, velikosti a tvaru částic, dále i dalších složek či pórů, případně přibližného poměru pojivo:plnivo
- Pro chemickou analýzu – zobrazení prvků (snímky SEM-EDS) nebo fází (mikro-CT)
- Pro 3D rekonstrukce povrchu

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Vstupem jsou například fotografie a podmínkou provedení analýzy je software, občas je nutný i velmi výkonný počítač

### **5. Omezení, limity metody:**

- Případná omezení se týkají spíše jednotlivých metod, pomocí kterých byly pořízené fotografie

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Invazivní i neinvazivní, závisí na metodě, kterou byly pořízené fotografie

### **7. Časová náročnost:**

- Záleží na druhu analýzy, většinou je automatická, výsledky jsou během 1 dne

### **8. Cena:**

- Od cca 1000 Kč až několik tisíc Kč za vzorek, v případě složité analýzy

### **9. Normy**

- Nejsou k dispozici

**1. Název metody:** Stanovení měrného povrchu – metoda BET (metoda adsorpce plynu na povrchu vzorku)

**2. Popis metody (co stanovuje):**

- Stanovení velikosti měrného povrchu [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]

**3. Použití metody:**

- Znalost hodnoty specifické plochy povrchu slouží ke studiu sorpčních vlastností, chemické reaktivity a výpočtu měrných povrchových energií
- Tuto metodu je možné použít ke stanovení porozity

**4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Ideální vzorek je sypký (prášek, písek)
- Velikost vzorku je omezena velikostí měřící ampulky (asi  $10 \text{ cm}^3$ )

**5. Omezení, limity metody:**

- Časově i finančně náročné
- Špatná reprodukovatelnost výsledků u menších hodnot měrných povrchů

**6. Invazivní, neinvazivní:**

- Vyžaduje odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní metoda

**7. Časová náročnost:**

- Měření trvá několik hodin + příprava a vyhodnocení

**8. Cena:**

- ÚTAM AV ČR, v. v. i.: přibližně 7000 Kč/vzorek

**9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

**1. Název metody:** Stanovení obsahu vlhkosti  
(fyzikálně vázané vody)

**2. Popis metody (co stanovuje):**

- Cílem stanovení vlhkosti je určení jejího obsahu v materiálu v hm. %
- Stanovení obsahu vlhkosti pomocí různých metod:
  - Gravimetrickou metodou
  - Kapacitními přístroji
  - Odporovými přístroji
  - Dále i: mikrovlnné měření, radiometrické měření, metoda stanovení vlhkosti pomocí karbidu vápníku

**3. Použití metody:**

- Posouzení stavu materiálu
- Vyšší obsah vlhkosti má často negativní vliv na mechanické vlastnosti pórovitých stavebních materiálů s relativně vysokou nasákavostí, může být nebezpečný zejména z důvodu mrazového poškození
- Některým materiálům vlhkost naopak za určitých okolností prospívá (např. beton, vápenné a hydraulické malty) a pevnost se s rostoucím obsahem vlhkosti může zvyšovat
- Zjištění vlhkostní mapy či vlhkostního profilu

**4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Transport do laboratoře v difuzně nepropustném obalu (gravimetrické stanovení)
- Doporučuje se odebírat vzorky v různých výškách a hloubkových úrovních
- Vzorky se většinou odebírají v místech, kde jsou projevy vlhnutí buď zřetelné, nebo v místech konstrukcí, která jsou z hlediska vlhkostního namáhání typická, je důležité odebrat i referenční vzorky nad hranicí zavlhčení

**5. Omezení, limity metody:**

- Gravimetrická metoda: destruktivní odběr, znemožňuje průběžné sledování vlhkosti ve stejném místě, pro gravimetrické stanovení vlhkosti je třeba odebrat alespoň 20 g vzorku
- Kapacitní vlhkoměr: se stoupající vlhkostí a obsahem solí ve zdivu klesá výrazně vypovídací schopnost metody) přesné výsledky do cca 6% obsahu vlhkosti), nutná kalibrace, hloubka měření 10-25 mm od povrchu
- Odporový vlhkoměr: především pro dřevěné konstrukce, nutná kalibrace přístroje, nutnost vyvrtání otvoru pro sondu, pro měření je limitující délka sondy (až 300 mm)

**6. Invazivní, neinvazivní:**

- V závislosti na metodě (gravimetrie= odběr vzorku – invazivní; kapacitní vlhkoměr= přiložení přístroje – neinvazivní, odporový vlhkoměr= vyvrtání otvoru pro sondu - invazivní)

**7. Časová náročnost:**

- V závislosti na metodě v řádu hodin až dní

**8. Cena:**

- *Watrex*: Stanovení hygroskopické vlhkosti stavebních materiálů (gravimetricky) – 440 Kč/vzorek

**9. Normy:**

- ČSN EN 1097-5 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně



## **1. Název metody: Stanovení obsahu vodorozpustných solí**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Stanovení obsahu vodorozpustných solí pomocí různých metod: iontová chromatografie, spektrometrie, fotometrie, zjednodušeně analytickými sety či papírky
- Stanovení obsahu vodorozpustných anorganických solí (hm. %) v závislosti na lokalizaci v objektu (dvou- nebo i třírozměrná mapa)
- Identifikace solí (sírany, dusičnany, chloridy)

### **3. Použití metody:**

- Stanovení stupně zasolení a distribuce solí v objektu

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Přesný záznam místa odběru – výška, hloubka, znalost teploty a RH před odběrem (roční období)
- Minimální množství vzorku 20 g
- Odběr vzorků se provede odsekáním nebo vývrtem

### **5. Omezení, limity metody:**

- Nutno uvážit počet odběrových míst vzhledem k velikosti objektu
- Pro diagnostiku jednotlivých příčin zvlhčení je vhodné vyloučit místa, kde je důvod zvlhčení zjevný (např. zatékání kanalizací, komínem, z porušených okapových svodů, atd.)

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- In situ – záleží na objektu, cca 1 den pro odběr vzorků
- V laboratoři cca 2 dny

### **8. Cena:**

- 500 Kč/vzorek

### **9. Normy:**

- ČSN EN 16455 Ochrana kulturního dědictví - Stanovení obsahu vodorozpustných solí v přírodním kameni a v příbuzných historických materiálech
- ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení

## **1. Název metody: Rentgenová difrakce (XRD)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje anorganické krystalické fáze
- je možná i semikvantitativní analýza vzorků

### **3. Použití metody:**

- pro identifikace složení anorganických pojiv
- pro analýzu pigmentů v barevných vrstvách uměleckých děl

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- vzorek musí být v podobě suchého prášku, velikost zrn < 60 μm
- dostačuje několik desítek mg vzorku

### **5. Omezení, limity metody:**

- nemožnost měření vodných roztoků
- náročná interpretace spekter bohatých směsí

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ nelze
- laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní), pak je možno vzorek použít k dalším analýzám

### **7. Časová náročnost:**

- příprava vzorku, měření, vyhodnocení 1-2 hod + sušení

### **8. Cena:**

- 1.200 Kč bez DPH za vzorek

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Silikátová analýza (na mokré cestě)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Poměr mísení pojiva (rozpustného) a plniva (nerozpustného)
- Chemické složení vzorku vyjádřené oxidickou formou prvků (podíl nerozpustný v HCl, rozpustný SiO<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, případně se stanovuje ztráta žháním při 1000 °C)
- Obecný charakter pojiva (čistě vápenné vs. hydraulické) na základě hydraulického indexu

### **3. Použití metody:**

- Určení charakteru pojiva, určení poměru mísení pojivo:plnivo

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Analýza se kvůli kontrole provádí na 2 stejných vzorcích vedle sebe, kdy hmotnost jedné navážky je přibližně 5 g

### **5. Omezení, limity metody:**

- Nevýhodou je rozpouštění vzorku (pojiva) v kyselině chlorovodíkové, analýzu lze tedy provést pouze v případě, kdy je plnivo nerozpustné v kyselině
- Velká časová náročnost

### **6. Související metody:**

- Částečně lze tuto metodu nahradit ICP, XRF, AAS
- V případě, že je plnivo nerozpustné v kyselině, lze ho dále použít pro stanovení granulometrie (minimální navážka 50-100 g)

### **7. Invazivní, neinvazivní:**

- Odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **8. Časová náročnost:**

- Sušení: 24 h; analýzy (rozpuštění, srážení, titrace): 6 h; technologické přestávky (odpařování): 24-48 h; zpracování dat: 1 h

### **9. Cena:**

- ÚTAM AV ČR, v. v. i.  
1 vzorek (zahrnuje stanovení ztráty žháním a nerozpustného podílu, rozpustného SiO<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO) 5500 Kč bez DPH

### **10. Normy:**

- ČSN EN 196-2 Metody zkoušení cementu - Část 2: Chemický rozbor cementu
- ČSN EN 1744-1 + A1 Zkoušení chemických vlastností kameniva - Část 1: Chemický rozbor

## **1. Název metody: Termická analýza**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- termická analýza je souborem metod, při nichž se měří fyzikální nebo chemické vlastnosti pevných látek jako funkce teploty
- pomocí termické analýzy je možné se znalostí chemického složení vzorku určit v jaké mineralogické formě se vzorek vyskytuje

### **3. Použití metody:**

- v analýze kamene – obsah karbonátové složky, obsah křemene, podíl jílu příp. jiných minerálů na bázi hydroxysloučenin – goethit, gibbsit atd., přítomnost hydratovaných solí
- v analýze stavebních pojiv – identifikace a stanovení obsahu jednotlivých krystalických i amorfních fází pojiv vyráběných výpalem - vzdušné a hydraulické vápno, portlandský cement, sádrové maltoviny
- v analýze povrchových nátěrů – podíl vápna, sádry či organických složek, přítomnost pigmentů, identifikace stavebních hmot a jejich aditiv (nátěry, pryskyřice, syntetické materiály, vlákna atd.)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- celistvý vzorek v závislosti na zrnitosti 1- 3 cm<sup>3</sup> (u jemnozrnných méně, u hrubozrnných více)
- pokud chceme analyzovat pojivo malty, je nutné před měřením provést jeho separaci prosetím přes síto 0,063 mm
- množství potřebné k analýze je několik desítek mg, u nehomogenních vzorků problém jeho reprezentativnosti

### **5. Omezení, limity metody :**

- sloučeniny, které neuvolňují žádné látky během ohřevu, neposkytují v TG žádnou informaci
- interpretace vyžaduje zkušenost operátora

### **6. Invazivní, neinvazivní :**

- měření in situ - nelze, laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní), během analýzy se vzorek zahřívá na teplotu kolem 1000°C a uvolňují se z něj plynné složky.

### **7. Časová náročnost:**

- cca 2 dny (sušení, příprava vzorku, měření, zpracování dat)

### **8. Cena :**

- od 1500 – 2500 Kč bez DPH

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Ionově výměnná chromatografie (IEC)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- používá se především pro kvalitativní a kvantitativní stanovení aniontů a kationtů v kapalném vzorku

### **3. Použití metody:**

- stanovení aniontů i kationtů solí (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> apod.)
- lze stanovit i stopové koncentrace
- separace molekul (enzymy, proteiny...)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- dostačuje 10 ml roztoku

### **5. Omezení, limity metody:**

- není vhodné pro vysoké koncentrace těžkých kovů nebo vzorky s vysokým obsahem organických látek, nečistoty snižují životnost kolony

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- laboratorní měření po odběru vzorku + příprava výluhu (destruktivní)

### **7. Časová náročnost:**

- Příprava vzorku (sušení - 48 h; vodní výluh - 24 h), příprava přístroje před měřením (promytí kolony - 4 h), měření vodného roztoku (30 min), vyhodnocení chromatogramu (30 min)

### **8. Cena:**

- *Watrex Praha s.r.o.*: stanovení solí (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) v jednom vzorku 460 Kč bez DPH
- *CET Telč (DIONEX ISC-5000)*: 1 hodina provozu přístroje 1000 Kč; lze detekovat Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Ca<sup>2+</sup>, dále F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

### **9. Normy:**

- ČSN EN 16455 Ochrana kulturního dědictví - Stanovení obsahu vodorozpustných solí v přírodním kameni a v příbuzných historických materiálech

## **1. Název metody: Infračervená spektrometrie**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje organické (především) a anorganické sloučeniny
- charakterizuje chemickou strukturu látek

### **3. Použití metody:**

- pro identifikace organických nátěrů a aditiv stavebních hmot (oleje, pryskyřice, syntetické materiály, vlákna atd.)
- pro analýzu pojiv a pigmentů v barevných vrstvách uměleckých děl
- pro studium chemických a strukturních změn při degradaci materiálů

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- mikroskopická analýza – analyzovaná plocha 10  $\mu\text{m}^2$  (zrna odlišných materiálů, vlákna atd.)
- pro ostatní techniky dostačuje několik mg vzorku, větší množství pokud je nutno látku extrahovat rozpouštědlem
- na uchování vzorku nepoužívat plastové sáčky ani papír; vhodný je alobal, sklo

### **5. Omezení, limity metody:**

- nemožnost měření vlhkých vzorků a vodných roztoků
- náročná interpretace spekter bohatých směsí

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ nelze
- laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní), při měření reflexní technikou je možno vzorek použít k dalším analýzám

### **7. Časová náročnost:**

- příprava vzorku, měření, vyhodnocení 1-2 hod + sušení

### **8. Cena:**

- 1.200 Kč bez DPH za vzorek

### **9. Normy:**

- ČSN EN 480-6 Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 6: Infračervená analýza

## **1. Název metody: Ramanova spektroskopie**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje organické a anorganické sloučeniny, doplňuje informace získané z infračervené spektrometrie – lze měřit některé látky, které nejsou v IČ aktivní
- charakterizuje strukturu látek

### **3. Použití metody:**

- pro identifikace stavebních hmot a jejich aditiv (nátěry, pryskyřice, syntetické materiály, vlákna atd.)
- pro analýzu pojiv a pigmentů v barevných vrstvách uměleckých děl
- pro studium chemických a strukturních změn při degradaci materiálu

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- kapaliny objem cca 1  $\mu\text{l}$ , pevné vzorky v řádu mg, analyzovaná plocha 1  $\mu\text{m}^2$
- nepoužívat pro odběr vzorku plastové sáčky ani papír (alobal, sklo), možnost měření vlhkých vzorků

### **5. Omezení, limity metody:**

- přítomnost látek vykazujících fluorescenci (např. jíly) znemožňuje měření
- náročná interpretace spekter bohatých směsí

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ - nedestruktivní, přímo na objektu
- laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní), vzorek je možno vzorek použít k dalším analýzám

### **7. Časová náročnost:**

- cca 1 den (příprava vzorku, měření, zpracování dat)

### **8. Cena:**

- dle náročnosti měření dohody

### **9. Normy:**

- nejsou k dispozici

## **1. Název metody: X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje jednotlivé prvky a jejich relativní obsah ve vzorku

### **3. Použití metody:**

- pro identifikace stavebních hmot a jejich aditiv
- pro analýzu pojiv a pigmentů v barevných vrstvách uměleckých děl
- pro určení relativního množství prvků ve vzorku

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- prášek s velikostí zrna >63um, minimálně 500mg
- pro analýzu se připravuje lisovaná tableta v průměru cca 40mm
- možná analýza kapalných vzorků, nebo jiných vzorků, rozměrově odpovídajících tabletě

### **5. Omezení, limity metody:**

- fáze, ve které se zrovna nachází daný prvek, může ovlivnit měření
- metoda není tak citlivá jako například hmotnostní spektrometrie
- poměrně složitá interpretace naměřených spekter

### **7. Invazivní, neinvazivní:**

- laboratorní měření po odběru vzorku (destruktivní), vzorek většinou není možno použít k dalším analýzám

### **8. Časová náročnost:**

- cca 1 den (příprava vzorku, měření, zpracování dat)

### **9. Cena:**

- přibl. 1000Kč

### **10. Normy:**

- ČSN EN 15309 Charakterizace odpadů a půd - Stanovení elementárního složení metodou rentgenové fluorescence



**1. Název metody:** Mobilní X-ray fluorescenční spektroskopie  
(mobilní XRF)

**2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje jednotlivé prvky a jejich relativní obsah ve vzorku

**3. Použití metody:**

- pro chemickou analýzu kovových i nekovových materiálů
- pro orientační průzkumy in situ, okamžité zobrazení výsledků; umožňuje přiřazení GPS a integraci do GIS

**4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- ve většině případů není potřeba žádná příprava vzorků
- detekční limit Mg od 0,20 % (bez použití vakua či helia)

**5. Omezení, limity metody:**

- přístroj se musí ke vzorku přiložit
- RTG paprsek má nastavitelný průměr 3-10 mm

**6. Invazivní, neinvazivní:**

- nedestruktivní

**7. Časová náročnost:**

- výsledky se zobrazují ihned po startu měření – měření trvá pouze několik vteřin

**8. Cena:**

- Individuální

**9. Normy:**

- nejsou k dispozici

# **1. Název metody: Hmotnostní spektrometrie (MS)**

## **2. Popis metody (co stanovuje):**

- identifikuje organické sloučeniny, doplňuje informace získané z infračervené
- pomáhá určit chemickou strukturu látek
- velmi přesná a náročná metoda, použití jen ve výjimečných případech

## **3. Použití metody:**

- pro identifikace organických složek vylouhovaných ze stavebních materiálů (oleje, tuky, pryskyřice apod.)

## **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- kapaliny, objem v řádu desítek až stovek  $\mu\text{l}$

## **5. Omezení, limity metody:**

- nutnost přípravy výluhu
- sofistikované vybavení a složitá interpretace získaných spekter

## **6. Invazivní, neinvazivní:**

- laboratorní měření po odběru a přípravě vzorku (destruktivní)

## **7. Časová náročnost:**

- cca 1 den (příprava vzorku, měření, zpracování dat)

## **8. Cena:**

- cca 2000 Kč

## **9. Normy:**

- nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Průzkum v ultrafialovém (UV) světle**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Metoda využívá toho, že při nasvícení ultrafialovým světlem dochází k luminiscenci obrazové vrstvy, barvy luminiscence jsou charakteristické pro různá chemická složení
- Fluorescenci je častěji možné sledovat u organických látek než u anorganických, kde je pozorována výjimečně

### **3. Použití metody:**

- Odlišení složek, které nemusí být patrné v denním světle – laky, tmely, přemalby, popř. i plísně či mastné skvrny

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Průzkum probíhá u nástěnných maleb pomocí UV lampy, u nábrusu (stratigrafie) pomocí fluorescenčního mikroskopu

### **5. Omezení, limity metody:**

- Luminiscenci vrstev je možné fotografovat s použitím filtrů

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Nedestruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- Podle pracnosti zadání, v řádu hodin (mimo výrobu nábrusu)

### **8. Cena:**

- Individuální

### **9. Normy:**

- nejsou k dispozici

# **1. Název metody: Stanovení kapilární nasákavosti a nasákavosti pomocí Karstenovy trubice**

## **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Stanovení rychlosti absorpce a množství vody, které se do vzorku dostane kapilárním systémem přes zkušební povrch (koeficient absorpce –  $[\text{kg}/\text{s}^{-1/2}/\text{m}^2]$  nebo  $[\text{ml}/\text{s}]$ )
- objem vody jaký „se vejde“ do určitého objemu zkoumaného materiálu kapilárním vztlínáním [%]

## **3. Použití metody:**

- Pro stanovení množství vody, které je vzorek schopen absorbovat kapilárním systémem
- Jako srovnávací metoda pro povrchy ošetřené, neošetřené či stárnuté, ověření účinnosti hydrofobizace
- Pro přibližné vyhodnocení času nutného pro aplikaci prostředku
- Když je nutné zjistit jaké množství ošetřovacího prostředku je potřeba pro danou plochu

## **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Požadavky na laboratorní vzorky: pravidelný tvar; délka strany, průměr i výška musí být minimálně 10 mm, u heterogenních materiálů musí být rozměry trojnásobkem největšího zrna, alespoň tři vzorky pro jedno měření
- In situ mikrokarsten – 5 měření; in situ Karstenová trubice – alespoň 3 měření

## **5. Omezení, limity metody:**

- Metoda je určena pro porézní anorganické materiály
- Materiál musí být schopen nasávat vodu

## **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Měření in situ – nedestruktivní, kontaktní
- Odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

## **7. Časová náročnost:**

- In situ (Karstenovou trubicí) – záleží na náročnosti, cca 1 den
- v laboratoři 2 dny (sušení, měření, zpracování dat), stanovení kapilární nasákavosti dle normy 2-8 dní

## **8. Cena:**

- 1000-1500Kč

## **9. Normy:**

- ČSN EN 16302 Ochrana kulturního dědictví - Zkušební metody - Měření absorpce vody Karstenovou trubicí
- RILEM 25 II.4 Water absorption under low pressure

- ČSN EN 1015-18 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě
- ČSN EN 16302 Ochrana kulturního dědictví - Zkušební metody - Měření absorpce vody Karstenovou trubicí
- ČSN EN 15801 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Stanovení nasákavosti vody kapilárním vzlínáním
- RILEM 25 II.6 Water absorption coefficient
- RILEM 25 II.4 Water absorption under low pressure

## **1. Název metody: Stanovení rychlosti vysychání (drying test)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- určuje rychlost vysychání porézních vzorků nasycených vodou v prostředí s nižší relativní vlhkostí
- metoda je založena na sestrojení křivky závislosti hmotnostních úbytků na čase
- rychlost průchodu je závislá na porozitě a distribuci velikosti pórů materiálu

### **3. Použití metody:**

- Srovnání původního a ošetřeného materiálu (konsolidace, hydrofobizace)
- Kontrola kompatibility původního a doplněného kamene, malty

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- zajištění kompaktního vzorku soudržného při nasycení vodou

### **5. Omezení, limity metody:**

- pro nehomogenní materiály (kolísání vlastností u hornin) je nutno testovat více paralelních vzorků (5-6), nutné vážení vzorků v pravidelných intervalech

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Nedestruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- velká časová náročnost (zpravidla 1-4 týdny)

### **8. Cena:**

- Individuální domluva, často nestandardní podmínky

### **9. Normy:**

- ČSN EN 16322 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Charakterizace procesu vysychání anorganických porézních materiálů
- RILEM 25 II.5 Evaporation curve

## **1. Název metody: Stanovení paropropustnosti**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- určuje prostupnost vodní páry zkoumaným materiálem
- metoda je založena stanovení toku vodní páry vzorkem vystaveným prostředím s různým parciálním tlakem vodních par
- rychlost průchodu je závislá na porozitě a distribuci velikosti pórů materiálu

### **3. Použití metody:**

- Srovnání původního a ošetřeného materiálu (konsolidace, hydrofobizace)
- Kontrola kompatibility původního a doplněného kamene, malty
- Lokalizace předchozích konzervátorských zásahů

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- zajištění kompaktního vzorku o ploše několik cm<sup>2</sup>

### **5. Omezení, limity metody:**

- pro nehomogenní materiály (kolísání vlastností u hornin) je nutno testovat více paralelních vzorků (5-6)
- nutnost výroby speciálních nádob

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Nedestruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- časová náročnost (zpravidla 1-4 týdny)

### **8. Cena:**

- Individuální domluva, často nestandardní podmínky

### **9. Normy:**

- ČSN EN 15803 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Stanovení paropropustnosti vodní páry (delta p)
- ČSN EN ISO 12572 Stavební materiály, výrobky a dílce - Stanovení prostupu vodní páry
- ČSN EN ISO 7783 Nátěry, nátěrové hmoty a systémy - Stanovení propustnosti pro vodní páru
- ČSN EN 1015-19 Malty a maltové směsi pro vnitřní a vnější omítky - Stanovení propustnosti pro vodní páru

## **1. Název metody: Stanovení kontaktního úhlu (úhlu smáčení)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Jedná se o způsob charakterizace povrchu materiálu – jeho povrchové energie
- Většinou se stanovuje úhel, který svírá povrch kapky s povrchem pevné látky

### **3. Použití metody:**

- Rozlišení smáčivých a nesmáčivých či hydrofilních a hydrofobních povrchů
- Stanovení změny vlastností povrchu vlivem ošetření

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Podle druhu zkoušky (na naklánějící se destičce, na kapce či bublině)

### **5. Omezení, limity metody:**

- Může být ovlivněno drsností či nehomogenitou povrchu

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Vůči vzorku nedestruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- Podle počtu vzorků a měření

### **8. Cena:**

- Údaje nejsou k dispozici

### **9. Normy:**

- ČSN EN 15802 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Měření kontaktního úhlu



## **1. Název metody: Drop test – kapkový test**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Měří se rychlost vsakování kapky destilované vody o objemu 5-10  $\mu\text{l}$
- Podle tvaru kapky, rychlosti vsakování a velikosti vsáklé skvrny se rozliší chování povrchu (od vysoce hydrofobního povrchu přes nasákový porézní povrch po smáčivý, ale nepropustný povrch)

### **3. Použití metody:**

- Rychlá zkouška k základnímu rozlišení povrchu podle hydrofobity
- Použití jako srovnávací zkoušky (lze provést i in situ před a po ošetření konsolidanty, hydrofobizačními produkty apod.)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Kapátko či pipeta – objem kapky by neměl být větší než 5-10  $\mu\text{l}$
- Pro stanovení reprezentativní hodnoty je potřeba alespoň 10 měření

### **5. Omezení, limity metody:**

- Ideální pro provedení je vodorovná plocha
- lehce ovlivnitelné klimatickými podmínkami – teplota vzduchu, povrchu, vítr apod.

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- nedestruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- lehce proveditelné

### **8. Cena:**

- Možno provést na místě restaurátorem

### **9. Normy:**

- RILEM 25 II.a Drop test

## **1. Název metody: Odporové vrtání**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- odpor kladený materiálem během vrtání v závislosti na hloubce (profil)
- vyjadřuje se jako rychlost průniku vrtáku do materiálu při konstantní síle [mm/s], anebo sílu [N] s jakou je potřeba působit na vrták, aby pronikal do materiálu s určenou rychlostí
- odpor koreluje s tvrdostí a s pevností materiálu

### **3. Použití metody:**

- Měření hloubkového pevnostního profilu materiálu (např. povrchová degradace)
- Pro ověření účinností konsolidace

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- in situ – 5 měření (v závislosti na homogenitě), průměr vrtáku je většinou několik milimetrů
- v laboratoři – 5 měření vzorek min. 4 x 4 x 3 cm

### **5. Omezení, limity metody:**

- nehomogenita materiálu (zrna písku a póry v maltách a v omítkách) může vést k úplnému zkreslení výsledků měření
- na výsledky má vliv stupeň zavlhčení zdiva

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ – destruktivní, kontaktní
- odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### **7. Časová náročnost:**

- in situ – cca 1 min vrtání (bez analýzy dat)
- v laboratoři - cca 1 min vrtání (bez analýzy dat)

### **8. Cena:**

- 1 vrt 1500 Kč

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Ultrazvuková transmise (UZ)**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- metoda je založena na měření průchodu ultrazvukového vlnění materiálem
- rychlost průchodu UZ-vlnění je závislá na vlastnostech materiálu (pevnost, porozita, složení)

### **3. Použití metody:**

- srovnání poškozeného a původního – zdravého materiálu (v místech, kde došlo k poškození materiálu, je UZ signál utlumený nebo neprochází vůbec)
- lokalizace poškozených míst (praskliny, nehomogenní místa, hloubka poškození)
- dlouhodobé monitorování stavu

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- předmět musí umožnit přiložení zdroje signálu a přijímače signálu proti sobě

### **5. Omezení, limity metody:**

- nevhodné pro nehomogenní materiály (kolísání vlastností u hornin – pískovec) – ovlivnění výsledků, omezující je i přítomnost vody – tlumí UZ signál

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- nedestruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- dle velikosti objektu, podle počtu měřených bodů - v řádu hodin

### **8. Cena:**

- dle dohody

### **9. Normy:**

- ČSN EN 14146 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení dynamického modulu pružnosti (pomocí základní rezonanční frekvence)
- ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí
- ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu
- ČSN EN 14579 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení rychlosti šíření zvuku
- RILEM 25 III.1 Determination of the dynamic modulus of the elasticity using resonance frequency measurements

## **1. Název metody: Peeling test**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- kohezi (soudržnost) materiálu v jeho vrchních vrstvách, vyjadřuje se množstvím materiálu zachyceného na lepicí pásce [g]

### **3. Použití metody:**

- když je potřeba zjistit relativní povrchovou soudržnost objektu/vzorku
- Pro ověření účinností fixace (povrchových vrstev)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- in situ – jedno místo (10 odtrhů), ploška cca 5-10 cm<sup>2</sup>
- v laboratoři – v ideálním případě 3 vzorky s plochou 3x3cm

### **5. Omezení, limity metody:**

- pro malby a nátěry je tato zkouška vysoce destruktivní

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ – téměř nedestruktivní (pro malby a nátěry velice destruktivní)
- kontaktní (povrchové poškození)

### **7. Časová náročnost:**

- příprava testovací sady: 1 h; měření: 1 h; zpracování dat: 1 h

### **8. Cena:**

- In situ 1200 Kč (za 3 místa?) ÚTAM AV ČR, v. v. i.
- Laboratoř 1000 Kč (za 3 místa?)

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## 1. Název metody: Měření pevnosti

### 2. Popis metody (co stanovuje):

- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu (tří- a čtyřbodový ohyb)
- Youngův modul pružnosti

### 3. Použití metody:

- pro zjištění základních charakteristik materiálu, například pro výpočet únosnosti konstrukci
- pro ověření účinností konsolidace

### 4. Požadavky a podmínky pro provedení:

- v laboratoři – velikost vzorků min. 2x2x2 cm, počet vzorků stanovují normy
- in situ – v praxi velmi náročné

### 5. Omezení, limity metody:

- nehomogenita materiálu (zrna písku a póry v maltách a v omítkách) může vést ke zkreslení výsledků měření, na výsledky má také vliv stupeň zavlhčení vzorků a kvalita povrchu (drsnost)

### 6. Invazivní, neinvazivní:

- měření in situ – destruktivní, kontaktní, odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní

### 7. Časová náročnost:

- v laboratoři – vlastní zkouška cca 10 min/vzorek (bez analýzy dat a bez přípravy vzorků – řezání, sušení apod.)

### 8. Cena:

- 1 místo (3 vzorky) - 1200 Kč, cena se upravuje dle standardní/nestandardní velikosti

### 9. Normy:

- ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku
- ČSN EN 1926 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení pevnosti v prostém tlaku
- ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem
- ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí
- RILEM 25 III.4 (5,6) Ultimate tensile (compressive, bending) strength

## **1. Název metody: Zkouška přídržnosti**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- maximální napětí v tahu (přídržnost) vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu vzorku
- zatížení se vyvozuje prostřednictvím odtrhového terče přilepeného na zkušební plochu povrchu

### **3. Použití metody:**

- kontrola kompatibility původního a doplněného kamene, malty

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- rovná plocha pro nalepení odtrhového terče

### **5. Omezení, limity metody:**

- experimentálně náročná zkouška

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- destruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- řádově hodiny (příprava plochy, nalepení terče – zatvrdnutí pryskyřičného lepidla)

### **8. Cena:**

- 1 vzorek 1950,-, <http://www.stachema.cz/files/files/ZI-Cenik-2014.pdf>
- Zkouška v terénu 450.-Kč/místo, <http://www.betonconsult.cz/index.php?page=cenik>, květen 2015

### **9. Normy:**

- ČSN EN 1015-12 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu
- ČSN EN 1052-5 Zkušební metody pro zdivo - Část 5: Stanovení přídržnosti malty v ložné spáře v tahu za ohybu
- ČSN 73 2577 Zkouška přídržnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí k podkladu

**1. Název metody:**

# Stanovení teplotní roztažnosti

**2. Popis metody (co stanovuje):**

- teplotní součinitel (koeficient) délkové roztažnosti materiálu (čím větší, tím víc se materiál rozpíná v daném rozmezí teploty)

**3. Použití metody:**

- Znalost hodnoty tohoto součinitele umožňuje předvídat chování různých materiálů, které jsou v kontaktu (zdivo a omítka, původní a doplněný kámen atd.)

**4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Je třeba měřit minimálně 3 vzorky
- K měření je nutný speciální přístroj

**5. Omezení, limity metody:**

- Časově i finančně náročné

**6. Invazivní, neinvazivní:**

- Vyžaduje odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní metoda

**7. Časová náročnost:**

- Měření trvá několik hodin + příprava a vyhodnocení

**8. Cena:**

- 2000 Kč/vzorek (3 měření)

**9. Normy:**

- RILEM 25 VI.3 Thermal expansion
- ČSN EN 14581 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení součinitele lineární tepelné roztažnosti
- ČSN EN 14617-11 Umělý kámen - Zkušební metody - Část 11: Stanovení součinitele lineární tepelné roztažnosti

## 1. Název metody:

# Vlhkostní roztažnost

## 2. Popis metody (co stanovuje):

- součinitel (koeficient) vlhkostní roztažnosti materiálu (čím větší, tím víc se materiál rozpíná)

## 3. Použití metody:

- znalost hodnoty tohoto součinitele umožňuje předvídat chování různých materiálů, které jsou v kontaktu, například zdiva a omítky

## 4. Požadavky a podmínky pro provedení:

- je třeba měřit paralelně minimálně 3 vzorky
- k měření je nutný speciální přístroj

## 5. Omezení, limity metody:

- časově i finančně náročné
- problém s hydrofobními vzorky

## 6. Invazivní, neinvazivní:

- Vyžaduje odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní metoda

## 7. Časová náročnost:

- Měření trvá několik hodin nebo i déle v závislosti na struktuře a vlastnostech materiálu + příprava a vyhodnocení

## 8. Cena:

- 2500 Kč/vzorek (3 měření)

## 9. Normy:

- ČSN EN 13009 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení součinitele vlhkostní roztažnosti



## **1. Název metody: Stanovení mrazuvzdornosti**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- stanovuje odolnost materiálu vůči střídavému zmrazování a rozmrazování
- většinou je definováno počtem zmrazovacích cyklů

### **3. Použití metody:**

- zjištění trvanlivosti materiálu
- jako srovnávací zkouška - zjištění vlivu příměsí oproti původní receptuře

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- nasákavý materiál, další podmínky dle normy a materiálu

### **5. Omezení, limity metody:**

- je potřeba poměrně velké množství vzorků, po každé etapě se zmrazované a referenční vzorky zkouší na pevnost v tahu za ohybu

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- destruktivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- časově náročné, v řádu týdnů

### **8. Cena:**

- individuální, zkoušku dle normy provádí např. Technický a zkušební ústav stavební či Stachema (stanovení mrazuvzdornosti betonu - 50 cyklů – 6000 Kč)

### **9. Normy:**

- ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu
- ČSN EN 12371 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení mrazuvzdornosti
- ČSN EN 14617-5 Umělý kámen - Zkušební metody - Část 5: Stanovení mrazuvzdornosti
- ČSN 72 2452 Zkouška mrazuvzdornosti malty
- ČSN EN 772-18 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 18: Stanovení mrazuvzdornosti vápenopískových zdicích prvků
- RILEM 25 V.3 Frost resistance

## 1. Název metody: Stanovení odolnosti proti solím

### 2. Popis metody (co stanovuje):

- Stanovení odolnosti materiálu vůči krystalizaci solí

### 3. Použití metody:

- Ke studiu urychleného procesu solného zvětrávání materiálu
- Určení vhodnosti materiálu do prostředí zatíženého solemi

### 4. Požadavky a podmínky pro provedení:

- Nasákavý materiál, další podmínky dle normy a materiálu

### 5. Omezení, limity metody:

- Normové postupy nezohledňují konkrétní podmínky použití, mohou být vzhledem k materiálu zbytečně agresivní

### 6. Invazivní, neinvazivní:

- Destruktivní metoda

### 7. Časová náročnost:

- Časově náročné, v řádu týdnů

### 8. Cena:

- Provádí např. *CS Beton*:  
Stanovení odolnosti proti zmrazování / rozmrazování při použití rozmrazovacích solí, 28 cyklů (pro dlažební bloky, desky a obrubníky) – 1 těleso/7500 Kč

### 9. Normy:

- ČSN EN 12370 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení odolnosti proti krystalizaci solí
- ČSN EN 14147 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení odolnosti proti stárnutí působením slané mlhy
- ČSN EN 1367-6 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 6: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování za přítomnosti soli (NaCl)
- Rilem 25 PEM V.1+2 Crysttalization test

## 1. Název metody:

# Stanovení tepelné vodivosti

## 2. Popis metody (co stanovuje):

- součinitel (koeficient) tepelné vodivosti materiálu (schopnost vést teplo). Představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté části látky do jiných, chladnějších částí. Tato veličina je základem tepelně-stavebních výpočtů. Jednotkou je  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ .
- Čím je nižší hodnota součinitele tepelné vodivosti, tím je materiál lepší tepelný izolant (př. koef. –Beton 1,5, Polystyrén 0,037)

## 3. Použití metody:

- Znalost hodnoty tohoto součinitele umožňuje výpočet energetické náročnosti budov
- Je to jeden z často používaných parametrů v počítačovém modelování

## 4. Požadavky a podmínky pro provedení:

- K měření je nutný speciální přístroj a vzorek musí mít pravidelný tvar, velikost v řádu cm

## 5. Omezení, limity metody:

- Časově i finančně náročné
- Nehomogenita materiálu určitě ovlivní měření

## 6. Invazivní, neinvazivní:

- Vyžaduje odběr vzorků + měření v laboratoři – destruktivní metoda

## 7. Časová náročnost:

- Příprava vzorků, měření a vyhodnocení trvá několik hodin

## 8. Cena:

- 2000 Kč/vzorek

## 9. Normy:

- ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo - Metody stanovení tepelných vlastností
- ČSN 72 7012-3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku

## **1. Název metody: Vizuální průzkum**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Základní zhodnocení celkového stavu památky
- Popsání projevů poškození a jeho rozsahu
- Základní určení materiálu a techniky zhotovení
- Rozpoznání doplňků a dalších etap historického vývoje památky
- Základní odhad možných příčin poškození
- Výstupem je zpráva o průzkumu, fotografické zdokumentování památky a jejího poškození případně grafický zákres umožňující odhadnout rozsah poškození.

### **3. Použití metody:**

- Mapování poškození (fotodokumentace, grafické mapování)
- Formulování otázek pro další fáze průzkumu
- Stanovení příčin a rozsahu poškození (často nutno doplnit dalšími ověřovacími analýzami)
- Zhodnocení cechového stavu památky v kontextu jejího prostředí
- Rozpoznání materiálu, techniky zhotovení a různých fází vývoje památky (často je nutné doplnit archivním, případně materiálovým průzkumem)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Přístup k památce (lešení, plošina)
- V některých případech je pro kvalitní vyhodnocení nutné zaměření objektu, případně ortofotografie

### **5. Omezení, limity metody:**

- Jedná se o metodu značně závislou na zkušenosti osoby provádějící průzkum
- Jedná se o základní průzkum, závěry by měly být ověřeny a doplněny dalšími analýzami

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Neinvazivní

### **7. Časová náročnost:**

- Záleží na náročnosti objektu a rozsahu průzkumu

### **8. Cena:**

- Závisí na náročnosti objektu a rozsahu průzkumu

### **9. Normy:**

- RILEM 25 VI. 1 External aspect of stone (doporučení)

## **1. Název metody: Teplotní analýza povrchu - termografie**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Diagnostika podpovrchových defektů (trhliny, dutiny) pomocí měření teplotních polí
- Mezi výhody patří vysoká citlivost měření a přesnost určení velikosti a tvaru defektu

### **3. Použití metody:**

- Zjišťování odtržení povrchových vrstev od podkladu
- Stanovení defektů uvnitř málo vodivých materiálů

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Znalost vlivu kvality a materiálu povrchu na citlivost metody - měření je závislé na fyzikálních charakteristikách materiálu povrchové vrstvy i obkladu, kvalitě povrchu a jeho odrazivosti
- Značný vliv vlhkosti na zobrazování teplot

### **5. Omezení, limity metody:**

- Úhel sklonu povrchu ovlivňuje měření
- Nevhodné pro příliš hlazené povrchy (umělý kámen)
- Měření musí probíhat bez slunečního vlivu

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Neinvazivní metoda

### **7. Časová náročnost:**

- Měření v řádu hodin, vyhodnocení podle náročnosti zakázky

### **8. Cena:**

- Např. *TZb-energ.cz*: 2000 Kč za měření bytu, 3000 Kč za rodinný dům

*Tospur.cz*: cena za 10 snímků 5000 Kč

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Georadar**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Charakterizuje podpovrchové struktury uvnitř zkoumaného objektu na základě odraženého elektromagnetického vlnění

### **3. Použití metody:**

- V archeologii pro identifikace struktur pod povrchem
- Pro detekce velkých prasklin a inkluzi
- Pro zjištění obsahu vlhkosti
- Pro vyhodnocení úspěšnosti restaurátorského zásahu
- Pro zkoumání struktury zdiva (kolik vrstev apod.)

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Pečlivost během měření
- Zkušenost operátora ohledně analýzy spekter

### **5. Omezení, limity metody:**

- Náročná interpretace spekter

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Měření in situ - nedestruktivní
- Laboratorní měření vzorky neničí a je možno je použít k dalším analýzám

### **7. Časová náročnost:**

- Závisí na velikosti objektu

### **8. Cena:**

- 2000 Kč/hodina

### **9. Normy**

- Nejsou k dispozici

## **1. Název metody: Detekce kovů**

### **2. Popis metody (co stanovuje):**

- Detekce kovových prvků uvnitř objektů

### **3. Použití metody:**

- Pro zjištění zda a kde přibližně se nachází kovový prvek

### **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- Jak in situ, tak v laboratoři, velikost vzorku nehraje roli

### **5. Omezení, limity metody:**

- Omezená hloubka detekce
- Nepřesné informace – zjistí se pouze přítomnost nebo nepřítomnost kovů

### **6. Invazivní, neinvazivní:**

- měření in situ – destruktivní, nekontaktní

### **7. Časová náročnost:**

- závisí na velikosti objektu, jedna z nejrychlejších metod

### **8. Cena:**

- cca 2000 Kč /hodinu

### **9. Normy:**

- Nejsou k dispozici

# **1. Název metody: Stanovení barevnosti povrchu pomocí spektrometru**

## **2. Popis metody (co stanovuje):**

- pomocí spektrometru se měří optické vlastnosti povrchu materiálu, které se kvantifikují 3 souřadnicemi na osách  $L^*$  (světelnost),  $a^*$  (zelená - červená) a  $b^*$  (modrá - žlutá)

## **3. Použití metody:**

- porovnání povrchu materiálu před a po restaurátorském zásahu, například po čištění
- volba materiálu, například nátěru, který by se opticky co nejvíce podobal originálu

## **4. Požadavky a podmínky pro provedení:**

- k měření je nutné mít spektrometr propojený s počítačem
- povrch by měl být suchý, rovný a čistý

## **5. Omezení, limity metody:**

- Vlhkost, olej apod. mění optické vlastnosti a mohou ovlivnit měření

## **6. Invazivní, neinvazivní:**

- Nedestruktivní, neinvazivní, v laboratoři nebo in situ

## **7. Časová náročnost:**

- Měření a zpracování dat trvá od cca 1h až několik hodin

## **8. Cena:**

- 2000 Kč/hodinu

## **9. Normy:**

- ČSN EN 15886 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Měření barevnosti povrchů