

Možnosti objektivního hodnocení čištění kamene

Jakub Ďoubal | Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování Litomyšl



Abstrakt | Čištění památek je jedním z nejběžnějších a zároveň nejrizikovějších procesů při restaurování a památkové obnově. Jedná se o proces, kdy jsou z povrchu kamene odstraňovány depozity, korozní produkty a další nečistoty, které mění vzhled, překrývají modelaci nebo způsobují poškození památky. Jde o velmi zásadní krok jak z hlediska filosofie restaurování, tak i z pohledu techniky a technologie restaurování. Čištění památek je možné provádět pouze na základě hlubokého poznání problematiky dané památky, původu a charakteru znečištění a stavu podkladového materiálu. Každá čisticí technika či technologie představuje větší či menší riziko poškození památky a každé aplikaci musí předcházet zkoušky na malé ploše historického materiálu. Výsledky čištění jsou většinou v praxi vyhodnocovány subjektivně na základě vizuálního zkoumání. Tento příspěvek si klade za cíl představit některé možnosti objektivního hodnocení výsledků čištění. Zaměřil se jednak na popis a vyhodnocení instrumentálního měření změn fyzikálních vlastností, tak na optické metody umožňující vyhodnocení efektivity čištění a dopadu restaurátorského zásahu na substrát.

1. Úvod: čištění kamenných památek¹

Čištění památek je jedním ze základních a nejdůležitějších aspektů restaurování a památkové obnovy. Jedná se o proces, kdy jsou z povrchu kamene odstraňovány depozity, korozní produkty a další nečistoty, které mění vzhled, překrývají modelaci nebo způsobují poškození památky. Jde o velmi zásadní krok jak z hlediska filosofie restaurování, tak i z pohledu techniky a technologie restaurování.

Čištění památek je možné provádět pouze na základě hlubokého poznání problematiky dané památky, původu a charakteru znečištění a stavu podkladového materiálu. Vyhodnocování nutnosti a míry čištění vychází v zásadě z posouzení dvou základních aspektů:

Jakým způsobem znečištění povrchu ovlivňuje stav podkladového materiálu.

Při hodnocení tohoto aspektu je třeba na základě průzkumu zvážit, zda povrchové znečištění může být rizikem pro další život památky. Je zkoumáno, zda změna fyzikálních vlastností povrchu (jako je nasákavost, paropropustnost, změna tepelné a vlhkostní roztažnosti atd.) není zdrojem poškození, a pokud ano, do jaké míry se jedná o vážné riziko. Důležitým kritériem pro vyhodnocování nutnosti čištění je otázka, nakolik jsou nečistoty zdrojem látek pro kámen škodlivých, např. vodorozpuštěných solí atd.

Jakým způsobem znečištění povrchu narušuje umělecké a estetické hodnoty památky.

Nečistoty mohou pokrývat povrch v silné vrstvě, která zaslepuje povrchový reliéf a často mění modelaci. Prakticky vždy dochází v důsledku znečištění k výrazné barevné proměně. Nečistoty se také v závislosti na typu polutantů, zdroji znečištění a podkladovém materiálu ukládají nerovnoměrně a výsledný efekt může být velmi vzdálený původnímu záměru autora. Na druhou stranu je při posuzování estetických hledisek obecně přijímaný jistý stupeň proměny původního vzhledu památky, který dává vyniknout její historické hodnotě a vyplývá z jejího života v čase. Tento typ změny povrchové vrstvy je nazýván patinou, jejíž definice a nutnost jejího zachování byly předmětem diskuzí téměř po celou dobu existence moderní památkové péče.

Z charakteru obou aspektů vyplývá, že zatímco u prvního je možné při dnešním stupni poznání dosáhnout relativně objektivního zhodnocení, v případě druhého se vždy bude jednat o subjektivní hodnocení podmíněné dobou, estetickým cítěním a úhlem pohledu hodnotitele. Přitom oba základní aspekty jsou v případě uměleckých děl stejně relevantní.

Existuje široká škála technik od těch vysoce efektivních, používaných na velkých fasádách, až po velice citlivé a precizní, používané na jemných sochařských detailech.^{2, 3, 4, 5, 6} Jednotlivé techniky

a technologie mají své nesporné výhody a také jistá rizika, spojená s jejich aplikací. Při volbě vhodné technologie čištění se vždy musí zvážit všechny aspekty užití dané metody: účinnost, vliv na substrát a také ekonomická náročnost.

2. Hodnocení výsledků čištění

Výsledek užití jakékoli z výše zmíněných technik je přímo závislý na osobě provádějící čištění. Každá čisticí technika představuje větší či menší riziko poškození památky a každé aplikaci musí předcházet zkoušky na malé ploše historického materiálu. Zavedení zcela nové techniky nebo technologie čištění pro daný materiál by měla předcházet důkladná analýza dané techniky a způsobu její aplikace na daný materiál. Výsledky čištění jsou většinou vyhodnocovány subjektivně na základě vizuálního zkoumání. Objektivní možnosti vyhodnocení byly popsány mnoha autory.^{7, 8, 9, 10, 11, 12, 13}

Při posuzování změny vzhledu (čisticího efektu) se individuálnímu hodnocení není možné vyhnout, neboť jsou posuzovány kvality estetické, a tudíž neměřitelné. Nástrojem umožňujícím kvantifikovat barevné změny povrchu je kolorimetr, i když jeho užití na kámen je do jisté míry limitováno¹⁴.

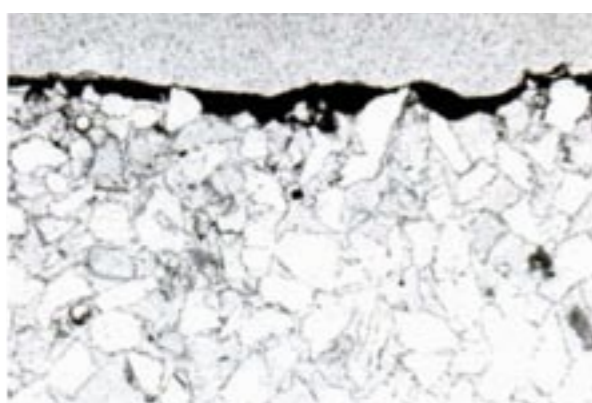
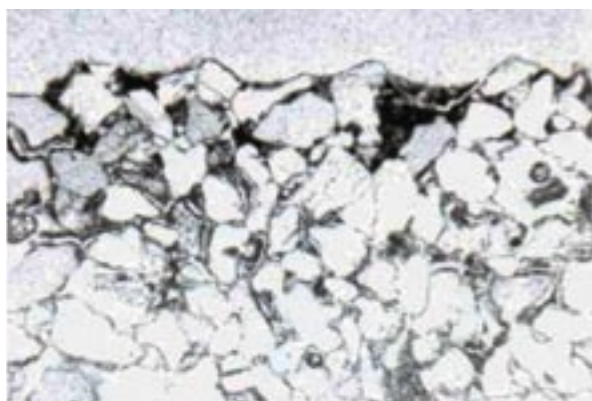
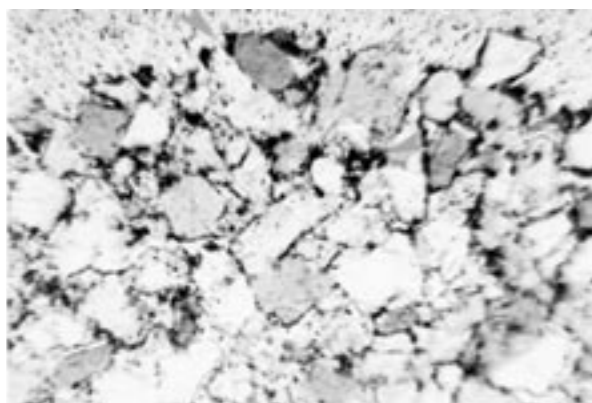
Zatímco pro posuzování změny vzhledu mnoho instrumentálních nástrojů nemáme, možností, jak vyhodnotit případné změny vlastností povrchu po očištění, případně stupeň úbytku materiálu, je celá řada.¹⁵ Nabízí se široká škála optických metod zkoumání s využitím mikroskopie, a to jak in situ, tak na nábrusech či výbrusech. Je možné zkoumat i změny fyzikálních vlastností, jako je paropropustnost nebo nasákavost, což jsou vlastnosti zásadní jak pro provádění restaurátorského zásahu (např. zpevňování kamene), tak pro další život památky. Vzhledem k faktu, že různé techniky a jejich citlivost ke konkrétnímu typu památek jsou přímo závislé na typu a stavu substrátu, je při zvažování jednotlivých metod čištění nutné mít podrobné informace o složení substrátu a jeho stavu, zejména pak jeho podpovrchové zóny bezprostředně pod nečistotami. Úhelným bodem je také způsob depozice nečistot na povrchu resp. v přívěrchové zóně. Z tohoto hlediska je v případě kamene nutno znát alespoň základní charakteristiku horniny a její složení a také způsob depozice nečistot.

2.1. Charakteristika substrátu a depozice nečistot:

Pro základní charakteristiku nečistot poslouží výbrus reprezentativního vzorku, odebraného včetně znečištěného povrchu. Na takto provedeném výbrusu je možné provést petrologické posouzení kamene, které stanoví základní charakteristické vlastnosti horniny a pomůže stanovit způsob depozice nečistot, případně i hloubku průsaku do substrátu, která je zásadní pro volbu míry a techniky čištění.

Zkoumání v polarizačním mikroskopu umožní petrologovi detailní analýzu zkoumané horniny včetně mineralogického složení a porézni struktury.

Doplňujícími analýzami, které mohou přispět k poznání stavu substrátu pod nečistotami, je měření vrtného odporu, případně ultrazvuková transmise. Tyto metody mohou poukázat například na případné snížení pevnosti substrátu pod krustou, nebo v přípovrchové vrstvě, což může mít vliv na plánování konzervačního zákroku (např. zařazení prekonsolidace před čištěním atd.)



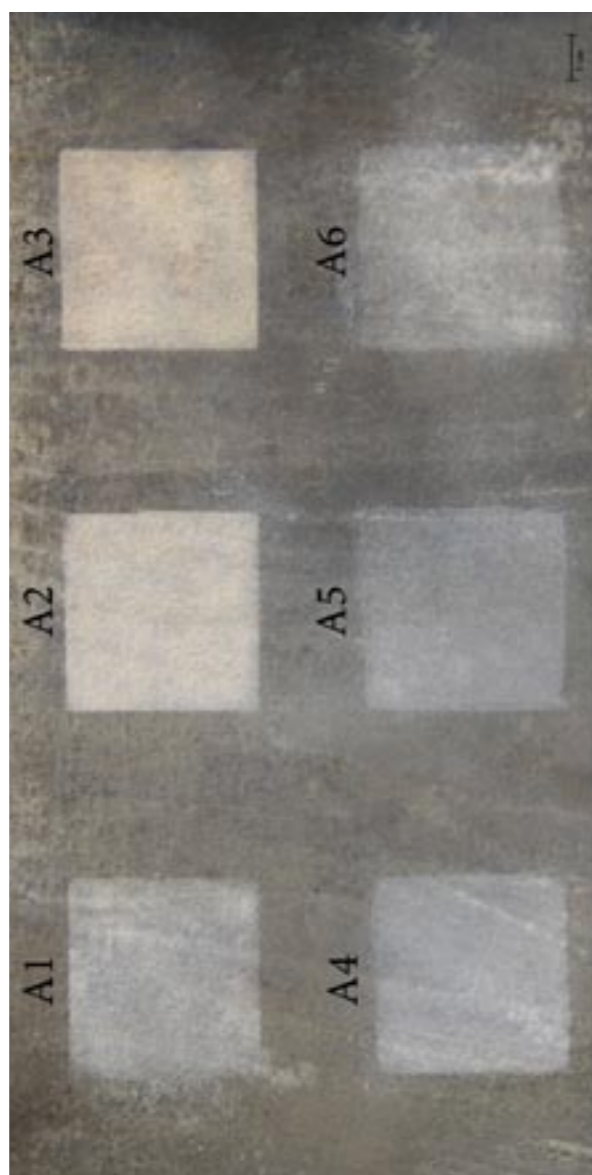
Optická mikroskopie – výbrus, depozice nečistot v pod-povrchové zóně (shora: maletínský pískovec, mšenský pískovec, žlutý pískovec). Na výbrusu je patrné, jak hluboko do substrátu nečistoty pronikly, případně jestli uzavírají porézni strukturu substrátu. Ze snímků se dá vyčíst, zda nečistoty vytváří pouze film obalující zrna, nebo naopak kompaktní krustu.

2.2. Vyhodnocení zkoušek čištění:

Každému čištění musí předcházet zkoušky na malé ploše historického materiálu. Výsledky těchto zkoušek je možné hodnotit následujícími způsoby:

Vizuální zkoumání:

Vizuální zkoumání je základní a neopomenutelný nástroj zkoumání výsledků čištění. Vizuální zkoumání nám přináší poměrně jasnou představu o výsledném estetickém vyznění očištěného povrchu a na základě zkoušek lze zvolit takovou intenzitu, která je nejvhodnější z hlediska výsledného estetického dojmu. Přesto, že vizuálním zkoumáním, případně s využitím jednoduchých zvětšovacích prostředků, jako je např. zvětšovací sklo, fotografie a makrofotografie, lze odhalit zásadnější poškození substrátu při čištění, pro vyhodnocení všech případných rizik pro substrát často není dostatečné.



Maletínský pískovec – Zkoušky čištění mikropískováním s využitím rozdílného tlaku a abraziva

Optická mikroskopie povrchu

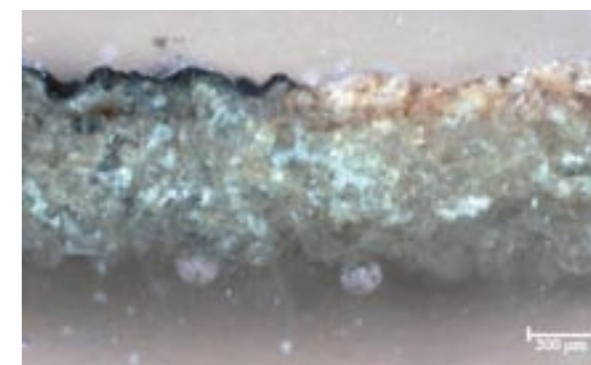
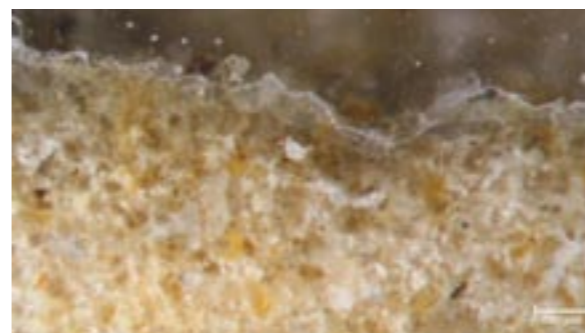
Velmi vhodným a dostupným nástrojem pro zkoumání důsledku čištění na povrch substrátu je optická mikroskopie povrchu. Tu lze provádět buď nedestruktivně s využitím USB mikroskopu, umožňující dostatečné zvětšení a záznam obrazu, případně in-situ s upraveným terénním mikroskopem. Druhou možností je odběr vzorku a zkoumání na optickém mikroskopu. Statické přístroje poskytují kvalitnější obraz a umožňují větší zvětšení, případně zkoumání v různých typech osvětlení. Ideální informace poskytují srovnávací fotografie před a po čištění na stejném místě, nebo snímky polovičního očištění.



1. USB mikroskop – poloviční očištění vápence, zvětšení cca 30x / 2. Stereoskopický mikroskop SZM800, poloviční očištění pískovce, zvětšení 40x

Optická mikroskopie nábrusu

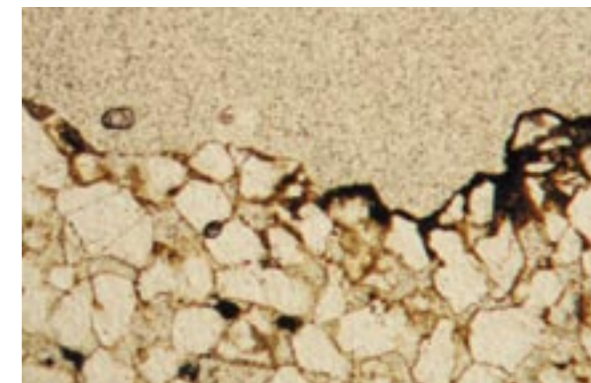
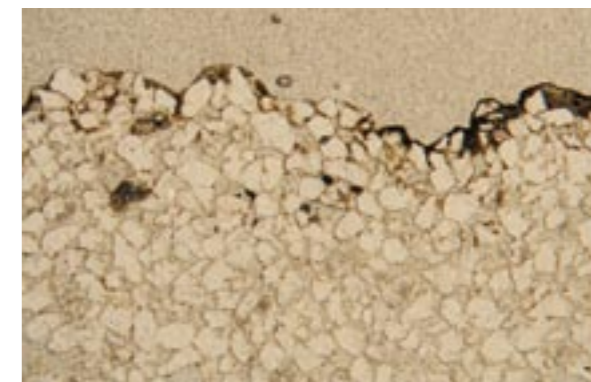
Dalším nástrojem pro zkoumání vlivu čištění na substrát je optická mikroskopie nábrusu. Tato metoda vyžaduje odběr reprezentativního vzorku z povrchu a poskytuje poměrně dobrou představu o úspěšnosti čištění. Při větším zvětšení lze vypozařovat i případné negativní vlivy na substrát, které by v budoucnu mohly být zdrojem problémů. Úspěšnost této metody je značně závislá na kvalitě odebraného vzorku a zhotoveného nábrusu. Jedná se spíše o doprovodnou metodu vyhodnocení.



1. Polarizační mikroskop Eclipse LV100D, zvětšení 50x, poloviční očištění laserem. Na obrázku je patrné, že došlo k očištění krusty bez zásahu do substrátu. 2. Stereoskopický mikroskop SZM800, zvětšení 40x, abrazivní čištění, je zde patrné narušení zrn v povrchové vrstvě dopadem abraziva

Optická mikroskopie výbrusu

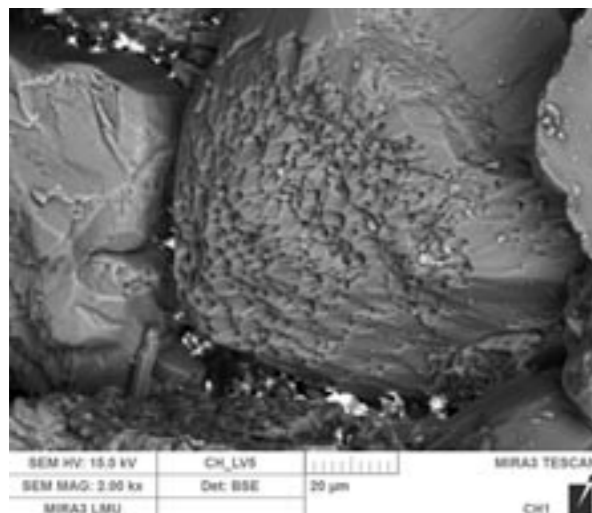
Velmi cenné informace o citlivosti technologie čištění a interakci se substrátem může přinést mikroskopie výbrusu. Díky velmi dobré čitelnosti, která je výrazně vyšší než v případě nábrusu, lze ze zkoumání vyvodit poměrně jednoznačné závěry. Na výbrusu lze provádět polarizační mikroskopii, která rozšiřuje škálu získaných informací. Nevýhodou je náročnost přípravy vzorku, který je nutno zhotovovat na speciálním pracovišti, a vyšší cena.



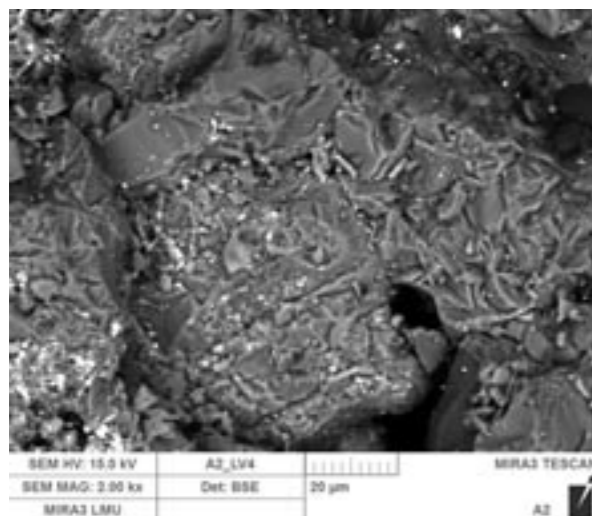
Stereoskopický mikroskop SZM800
Výbrus – žlutý pískovec – 1. Po očištění laserem Thunder art / 2. I po očištění zůstává na povrchu tzv. železitá patina.

Elektronová mikroskopie povrchu – SEM

Elektronová mikroskopie povrchu poskytuje detailní pohled na změny v morfologii povrchu. Při menším zvětšení lze zkoumat změny celkového vzhledu povrchu a při větším zvětšení se lze dostat až na úroveň jednotlivých zrn. Jedná se o jeden s nejlepších nástrojů pro hodnocení vlivu čištění na substrát, i když je třeba výsledky srovnat s dalšími metodami zkoumání.



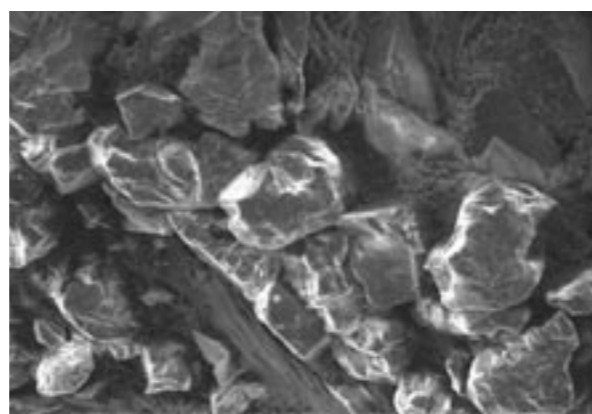
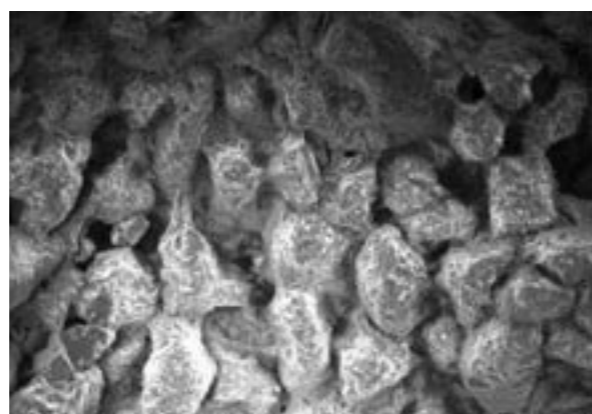
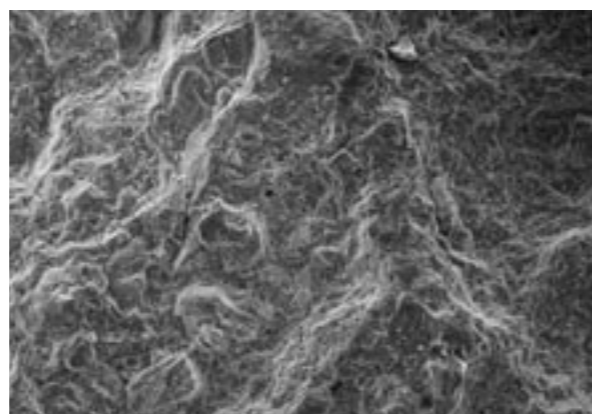
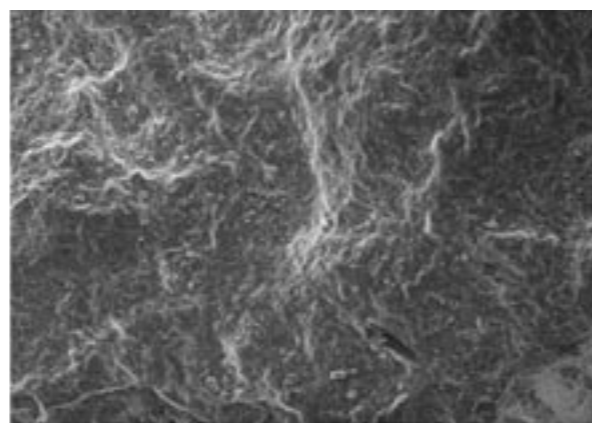
Elektronová mikroskopie povrchu – chemické čištění, naleptání zrna fluoridem amonným



Elektronová mikroskopie povrchu – abrazivní čištění, narušení zrn dopadem abraziva

Srovnání morfologie povrchu – elektronový mikroskop, zvětšení 200x (pravý sloupec od shora dolů):

1. Neočištěno, 2. Laser Thunder Art, 3. Mikropískování, 4. Chemické čištění. Toto zkoumání umožní sledování změn v morfologii povrchu, které jsou vizuálněm zkoumáním prakticky neodhalitelné. Tyto změny však mají zásadní vliv na chování povrchu v budoucnu.



Prvková analýza SEM-EDX

Některé elektronové mikroskopy jsou vybavené nástrojem, umožňující prvkovou analýzu energiově-disperzním detektorem RTG záření. Nástroj lze použít jak na analýzu jednotlivých bodů, tak na celou sledovanou plochu. Díky prvkové analýze je možné sledovat prvkové složení depozitů, případně změny v prvkovém složení před a po čištění, a použít tento nástroj jako doplňkovou analýzu pro vyhodnocení citlivosti čištění a charakterizaci nečistot.

Žlutý pískovec – C Atom. – [at.%]

	Neočištěno N0	Laser Th. Art L3	Pískování A2	Laser EOS 1000 L14	Chemické čištění Ch1	Lomová plocha LOM
Uhlík	13,24	19,69	8,46	15,33	14,02	10,85
Kyslík	63,42	59,68	65,61	61,27	63,46	64,94
Hliník	2,42	1,77	1,34	2,49	0,78	0,92
Křemík	16,85	15,91	21,43	17,25	20,91	23,02
Síra	0,79	0,19	0,54			
Draslík	0,32	0,22	0,09	0,26		0,04
Uhlík	1,57	0,88	0,91	1,43	0,34	
Sodík	0,09	0,27	0,06	0,33	0,26	0,02
Magnézium	0,21	0,16	0,05	0,34	0,03	
Železo	1,02	0,92	0,24	1,16		0,09

Z prvkové analýzy zkoumaných povrchů je zřejmé, že při čištění testovanými technologiemi nedochází k zásadní proměně prvkového složení. Při sledování relativního obsahu některých prvků obsažených v nečistotách, jako je železo, lze vyčíst intenzitu očištění. Z výsledných hodnot lze dovodit, že při čištění laserem (L3, L14) zůstává i po čištění relativně vysoký obsah železa. To znamená, že přesto, že vizuálně dochází k očištění povrchu, zůstává na povrchu ještě část železitých sloučenin. V případě abrazivního a ještě více chemického čištění je razance čištění povrchu vyšší, což koresponduje i se závěry optického zkoumání povrchu. Sledováním síry obsažené v povrchu zjišťujeme, že při čištění došlo u všech zkoumaných technologií ke snížení jejího obsahu. V případě laseru EOS 1000 dokonce zcela zmizela z povrchu. Při optickém zkoumání povrchu v případě čištění tímto přístrojem bylo patrné, že nedošlo k odstranění všech nečistot, ale pouze některých složek. Právě absence síry napovídá, že síra byla v důsledku tepelné reakce laseru odpařena.

2.3. Zkoumání fyzikálních vlastností po čištění

Měření nasákavosti očištěných povrchů

Základní metodou zjištění vlivu čištění na fyzikální vlastnosti povrchu je měření jeho nasákavosti. Podstatou zkoušky nasákavosti je měření, při němž je zaznamenáváno, kolik vody nasákne do materiálu definovanou plochou za měřený čas. Zkouška se provádí například pomocí skleněného zvonu (tzv. Karstenovy trubice), který je utěsněn k povrchu pomocí pružného tmelu a následně naplněn vodou. Na stupnici na Karstenově trubici je pak měřen úbytek vody za časový úsek. Měření je většinou prováděno jako srovnávací a porovnává se neočištěný kámen, lomová plocha a vybrané očištěné plochy u jednotlivých způsobů čištění. Právě nasákavost je zásadní

parametr při posuzování změn stavu povrchu. Vrstva nečistot často výrazně uzavírá povrch a může docházet k zadržování vlhkosti v podpovrchové zóně. Zvýšení nasákavosti po čištění také výrazně usnadní další restaurátorské postupy, jako je například zpevnění narušeného kamene.

Peeling test

Pro zjištění soudržnosti povrchové po očištění lze provádět tzv. peeling test, který sleduje kohezi (soudržnost) materiálu v jeho vrchních vrstvách a vyjadřuje se množstvím materiálu zachyceného na lepicí pásce [g]. Test spočívá v aplikaci oboustranné lepicí pásky na substrát a v měření rozdílů ve váze před aplikací a po aplikaci. Tento test je také srovnávací a může přinést informace o případné změně soudržnosti povrchu po čištění¹⁶.

3. Závěrem:

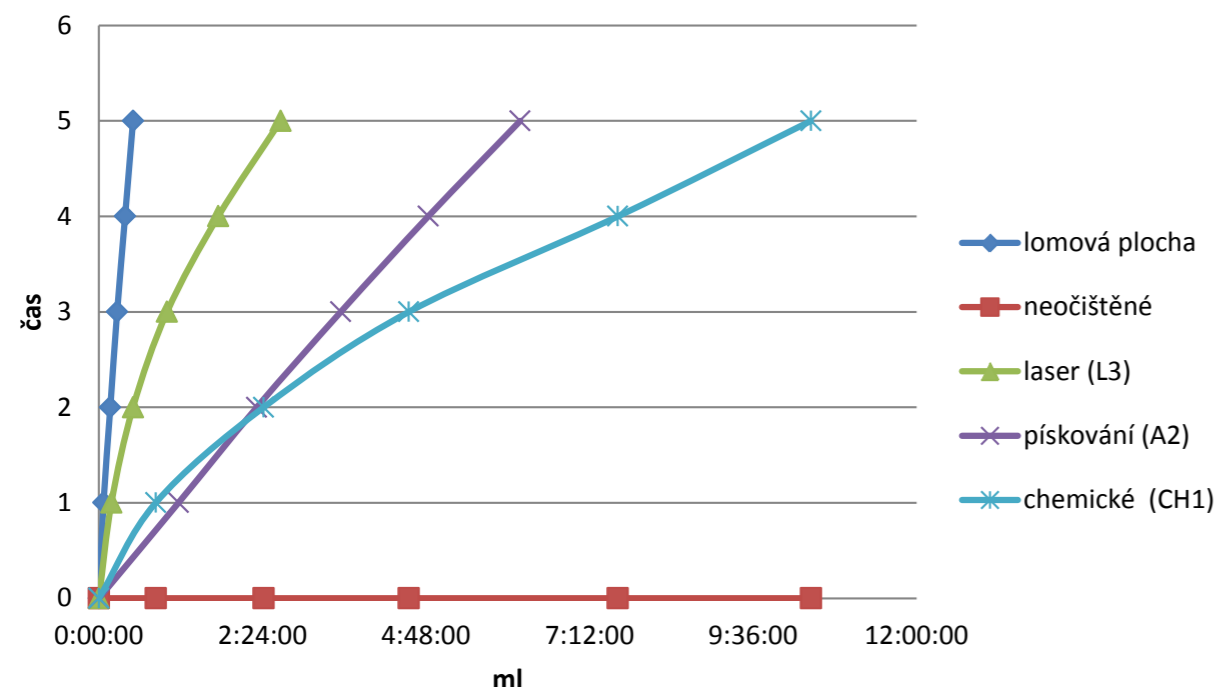
Představené metody neobsahují zdaleka všechny možnosti zkoumání čištěného povrchu. Představené metody byly vybrány jednak z hlediska přínosnosti pro vlastní hodnocení výsledků čištění a jednak jsou omezeny na autorovu zkušenost s vyhodnocováním zkoušek čištění. Z optických metod chybí například elektronová mikroskopie nábrusu a výbrusu, která jistě může přinést důležité informace. Co se týče dalších metod, tak jisté informace může přinést i měření morfologie povrchu například jehlovým profilometrem, nebo přímo přístrojem na měření topografie povrchu pomocí holografického mikroskopu, jehož možnosti jsou v současné době testovány. Zajímavé srovnávací informace by mohl zřejmě poskytnout citlivý 3D scanner, který by nasmíral povrch před čištěním a po čištění. Limitem

většiny těchto metod je, že na rozdíl od optických metod není informace o změnách resp. úbytku materiálu příliš provázána s možností zkoumat, nako-lik je tento úbytek omezen na nečistoty a nako-lik ovlivňuje originální substrát. Je zřejmé, že zkoumání a porovnání různých instrumentálních metod, které by mohly přinést relevantní informace o vlivu čištění na substrát, není uzavřeno a vzhledem k vývoji stále nových analytických metod ani být uzavřeno nemůže.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vychází ze zjištění a zkušeností získaných na základě grantu Ministerstva kultury České republiky „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o porézní anorganické materiály“ DF12P010VV018.

Žlutý pískovec



Graf vyhodnocení nasákavosti před a po aplikaci jednotlivých technologií čištění. Z grafu je patrné, že kámen na lomové ploše je velmi nasákavý a že nečistoty uzavírají povrch. V tomto případě se jedná o tenkou krustu nečistot zcela uzavírající povrch. Po očištění laserem dochází k výraznému otevření povrchu. Nasákavost je v tomto případě sice nižší než u lomové plochy, ale to může být dáno i přirozeným uzavíráním povrchu kamene migrací jeho rozpustných složek (např. železitých sloučenin) k povrchu. Pískováním dochází také ke zvýšení nasákavosti, i když ve srovnání s laserovým čištěním k výrazně menšímu. Chemické čištění sice povrch částečně otevře, ale zdaleka nejméně ze zkoumaných technologií. Výrazné zvýšení nasákavosti v důsledku čištění laserem bude dáno pravděpodobně faktem, že nečistoty u tohoto typu substrátu se ukládají na povrchu a prakticky vůbec nepronikají do přívrchového porézního systému.

POZNÁMKY

- 1 | ĐOUBAL. Technologie laserového čištění pískovcových památek. Praha, 2013. Dizertační práce. ČVÚT. Vedoucí práce Petr Konvalinka.
- 2 | FASSINA. General criteria for the cleaning of stone: Theoretical aspects and methodology of application. In: Stone Material in Monuments: Diagnosis and Conservation; Scuola universitaria C.U.M. conservazione dei monumenti, 24–30 May 1993. Heraklion, Crete: Mario Adda Editore, 1994, 131–138.
- 3 | ANDREW, Christopher, Maureen YOUNG a Kenneth TONGE. Stone cleaning: a guide for practitioners. 1st ed. Edinburgh: Historic Scotland, 1994. ISBN 978-074-8008-742.
- 4 | COOPER, M. I., D. C. EMMONY a J. LARSON. Characterization of laser cleaning of limestone. Optics and Laser Technology. 1995, č. 27, 69–73.
- 5 | RODRIGUEZ-NAVARRO, C., K. ELERT, E. SEBASTIAN, R. M. ESBERT, C. M. GROSSI, A. ROJO, F. ALONSO, M. MONTOTO a J. ORDAZ. Laser cleaning of stone materials: An overview of current research. Reviews in Conservation. 2003, č. 65.
- 6 | NORMANDIN, K. C., D. SLATON, N. R. WEISS, a J. PEARCE. Cleaning Techniques in Conservation Practice. Journal of Architectural Conservation 2005, č. 11.
- 7 | BAER, N. S., C. SABBIONI a A. SORS. Science, technology, and European cultural heritage: proceedings of the European symposium, Bologna, Italy, 13–16 June 1989. Boston: Published for the Commission of the European Communities by Butterworth-Heinemann Publishers, 1991, ISBN 07-506-0237-6.
- 8 | ANDREW, Ch., M. YOUNG a K. TONGE. Stone cleaning: a guide for practitioners. 1st ed. Edinburgh: Historic Scotland, 1994. ISBN 978-074-8008-742.
- 9 | YOUNG, M. E. TENNENT, Norman H. Conservation science in the U.K.: preprints of the meeting held in Glasgow, May 1993; editor: Norman H. Tennent. London: James, 1993,

20–28. ISBN 1873936222.

- 10 | KAPSALAS, P., P. MARAVELAKI-KALAITZAKI, M. ZERVAKIS, E. T. DELEGOU a A. MOROPOULOU. Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces. NDT & E International. 2007, č. 40, 2–11.
- 11 | HAUFF, G., G. HAUFF, P. KOZUB a G. D'HAM. Which cleaning method is the most appropriate one? A systematic approach to the assessment of cleaning test panels. In: 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 15–20 September 2008, Torun, Poland: proceedings. Torun: Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2008, 381–388. ISBN 83231223772.
- 12 | WERNER, M. Research on cleaning methods applied to historical stone monuments. In: Science, technology, and European cultural heritage: proceedings of the European symposium, Bologna, Italy, 13–16 June 1989. Boston: Published for the Commission of the European Communities by Butterworth-Heinemann Publishers, 1991, 688–691. ISBN 0750602376.
- 13 | VERGES-BELMIN, V. Towards a definition of common evaluation criteria for the cleaning of porous building materials, Science and Technology for Cultural Heritage 1996, č. 5, 69–83.
- 14 | VERGES-BELMIN, V., O. ROLLAND, a L. LEROUX. Can we be confident in colour measurements performed outdoors? In: 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 15–20 September 2008, Torun, Poland: proceedings. Torun: Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2008, 539–546. ISBN 83231223772.
- 15 | ASHURST, Nicola. Cleaning historic buildings. London: Donhead, 1994, 2 v. ISBN 18-733-9412-8.
- 16 | DRDÁČKÝ M., LESÁK J., RESCIC S., SLÍŠKOVÁ Z., TIANO P., VALACH J. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces, in: Material and structures, 2011, Volume 45, Issue 4, str: 505–520