

Průvodní zpráva k metodice vypracované v rámci projektu NAKI DF12P01OVV048

Metodika pro vizualizaci vnitřní struktury malířského díla s využitím nových metod na bázi rentgenového záření

RNDr. Janka Hradilová
Dr. David Hradil
Olga Trmalová, akad. mal. a rest.
Ing. Jan Žemlička

Akademie výtvarných umění v Praze
Laboratoř ALMA

Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT

2015

1. Cíl metodiky

Tato metodika se zabývá zapojením nově testovaných a nově vyvíjených metod umožňujících zobrazení vnitřní struktury díla do restaurátorského průzkumu, omezuje se však pouze na metody využívající rentgenové záření – rtg. radiografii (XRR) a rtg. fluorescenci (XRF). Velmi široká oblast metod využívajících infračervené záření zůstává námětem dalšího systematického výzkumu. Metodika je členěna do tří částí. V té první (kapitoly 2 a 3) je monitorován a zhodnocen současný stav poznání v celém oboru zobrazovacích technik (tj. optických i radiografických) a popsána míra zapojení těchto stávajících možností do praktického restaurátorského průzkumu malířských děl. V druhé části (kapitola 4) je popsáno testování radiografických zařízení s pixelovými detektory nově vyvinutých v rámci projektu NAKI DF12P01OVV048 a zhodnocen jejich přínos pro praktický průzkum techniky malby vyplývající s mimořádného prostorového rozlišení, materiálové citlivosti a mobility. Metodika se přitom zaměřuje na praktické aspekty použití a interpretace spíše než na technické parametry a obsluhu, které jsou detailně obsaženy ve speciálních metodikách vydaných ke každému nově vyvinutému systému. V třetí části (kapitola 5) je metodika doplněna testováním rentgen-fluorescenčního velkoplošného skeneru (MA-XRF), který představuje soudobou špičku v neinvazivních analytických technikách.

2. Vlastní popis metodiky

V první části metodiky jsou zhodnoceny současné zobrazovací techniky, které jsou ovšem jen částečně využívány v rutinní restaurátorské praxi. Vedle klasické fotografie ve viditelném světle a UV luminiscenci (dnes již většinou digitální) se jako další optická metoda používá infračervená fotografie a reflektografie. V terénní restaurátorské praxi se nejčastěji snímkuje v limitovaném vlnovém rozsahu 700-900 nm. Běžně používanými přístroji jsou např.

vidikonové kamery nebo fotoaparáty s upraveným čipem a filtry pro různé vlnové délky. Speciální kamery nebo infračervené skenery jsou však schopny snímkovat ve vysokém rozlišení až do 1700 nm. Poslední prototyp multispektrálního VIS-NIR skeneru vyvinutý v italském Národním ústavu optiky (INOA) ve Florencii používá VIS modul v rozsahu 380 - 750 nm a zároveň IR modul v rozsahu 750-2500 nm. V umělecko-historickém výzkumu jsou obecně výstupy optických zobrazovacích metod někdy přeceňovány a jsou používány k interpretaci techniky malby bez analýz materiálového složení, což může vést k mylným interpretacím. Neinvazivní získávání informací o materiálovém složení souběžně s průzkumem optickými metodami je v současné praxi v ČR stále spíše výjimkou.

Pokud jde o metody radiografické, v praxi převažuje aplikace nejsnáze dostupných medicínských nebo veterinárních rentgenů s limitovaným prostorovým rozlišením. Snímání jiného typu objektu než lidského těla v konvenčních medicínských radiografických systémech je ale někdy problematické. Běžné rentgeny, dostupné pro restaurátory, mají nedostatečné prostorové rozlišení a kontrast. Rozšíření metody do restaurátorské praxe dále komplikuje fakt, že mnoho praktiků nemá dostatečné znalosti práce v různých grafických programech, která je pro získání náležité informace stejně důležitá jako vlastní snímání. Obdobná situace je i při snímání 3D objektů, např. u plastik – nejčastěji se v praxi provádí medicínskými počítačovými tomografy (CT). Při tomografickém vyšetření v nemocnicích jsou však limitem hmotnost a rozměry analyzovaných objektů. Z hlediska kvality pořizovaných snímků platí, že nejdostupnější nemocniční tomografy dosahují prostorového rozlišení jen cca 400 μm , laboratorní CT na vědeckých pracovištích cca 80 μm a CT instalované na synchrotronech (několik pracovišť v Evropě) až 27 μm . Firmy dodávající vědecké přístroje se dnes výrazněji profilují do aplikací pro kulturní dědictví, a tak i vývoj řady tomografů již počítá se zájmem odborných pracovišť zaměřených na výzkum uměleckých děl. U malých objektů lze s výhodou použít mikrotomografické systémy (micro-CT), které vynikají mimořádně dobrým prostorovým rozlišením, u špičkových zařízení až 1-2 μm . Odlišnosti v materiálovém složení se v klasické radiografii projevují kontrastem mezi různými RTG denzitami (danými různou mírou absorpce rtg. záření). RTG denzita je však ovlivněna i tloušťkou příslušné vrstvy a tento efekt není jednoduché odlišit.

Klasická rentgenová transmisní radiografie využívá detektory založené na technologii CCD nebo FlatPanel. Cílem výzkumu a vývoje pro druhou část metodiky bylo využít v aplikacích pro kulturní dědictví detektory pixelové, které registrují intenzitu prošlého záření počítáním jednotlivých fotonů rentgenového záření a nikoli sumací deponovaného náboje. Použitím výhodných vlastností těchto detektorů je možné zvýšit kvalitu zobrazení jak v oblasti základních charakteristik (nepřítomnost vyčítacího šumu, neomezený kontrast), tak i v oblasti prostorového rozlišení (velikost obrazového bodu detektoru je 55 μm). V rámci této metodiky jsou tyto nově vyvinuté systémy aplikovány do praxe. Speciální důraz je při tom kladen na interpretaci techniky malby v porovnání stávajících a nových postupů. Nová metoda vysokorozlišovací rentgenové transmisní radiografie přináší technické výhody zejména díky zvýšené citlivosti pixelového detektoru, neomezenému kontrastu a především vysokému prostorovému rozlišení. Díky tomu jsou velkoplošné rentgenogramy velmi kvalitní, lze z nich získávat detaily bez ztráty obrazové kvality a hodí se tedy ke studiu techniky malby v celku i detailech, a to pro malířská díla na všech typech podložek. Typicky je metoda vhodná pro komplikované malby s množstvím přemalob, které lze ve vysokém rozlišení lépe odlišit. Dále se hodí k detailnímu studiu defektů, druhotných zásahů a mechanických

poškození, zachytí i drobné detaily, znaky stárnutí a degradačních změn materiálů. Nově přináší detailní pohled na krakeláž a strukturu malby.

Při použití pixelových detektorů může být navíc výrazně vylepšeno zobrazení odlišných materiálů, a to díky jejich energetické citlivosti. Spektrální rozlišení je však horší než u klasických analytických metod (např. mobilní rtg. fluorescence), a proto je tato metoda nemůže zcela nahradit. Obraz získaný v různých energetických intervalech je do výsledného snímku zakomponován pomocí falešných barev v RGB kódování. Toto „vícekanálové“ zobrazování umožňuje upřesnit, zda rozdíly v RTG denzitách jsou opravdu způsobeny rozdíly v materiálovém složení. Pixelové detektory jsou vhodné i pro rtg. fluorescenční zobrazování – prvkový imaging bez nutnosti skenování. Nelze je však pro tento účel používat samostatně, vždy je třeba materiálové rozdíly kalibrovat opěrnými bodovými analýzami.

K metodám umožňujícím vizualizaci vnitřní struktury výtvarného díla a využívajícím jako zdroj rentgenové záření, patří i makroskopické rtg. fluorescenční skenery (MA-XRF). Prvkový mapping ve velkém formátu přináší samozřejmě především velmi přesnou informaci o distribuci jednotlivých typů pigmentů v malbě; kompletní analytické spektrum (prvkové složení) je přitom získáváno v každém bodě skenu. Je ale mimořádně zajímavé, že díky penetrační hloubce analytického rentgenového záření mohou v prvkových mapách vystupovat i struktury spodních vrstev, jinak neviditelné. Tyto struktury (vzhledem k odlišné povaze imagingu) přitom mohou být odlišné od informací, které poskytuje infračervená reflektografie (IRR) nebo radiografie (XRR). Metoda MA-XRF je tak komplementární k tradičním zobrazovacím metodám. Mimořádně se hodí pro studium maleb, kde není umožněn odběr vzorků a které nejsou v procesu restaurování. Ve vysoké prostorovém rozlišení kombinuje efektivně materiálový průzkum a vizualizaci vnitřních struktur díla, a to ve vysokém prostorovém rozlišení až 50 μm .

3. Srovnání novosti postupů

Pro účely praktického využití v neinvazivním průzkumu malířských výtvarných děl metodika (i) testuje a hodnotí existující zobrazovací a prozařovací metody, které nejsou v ČR dostatečně využívány, dále (ii) zavádí do praxe zcela nové radiografické metody, jejichž základní vylepšení spočívá ve vysokém prostorovém rozlišení, materiálové citlivosti a mobilitě a které dosud nikde v zahraničí nebyly v oboru výzkumu kulturního dědictví aplikovány a zároveň (iii) testuje i špičkové neinvazivní analytické metody na bázi rtg. záření, které kromě sběru materiálových dat umožňují i vizualizaci vnitřní struktury díla. Postupy, které jsou v metodice uvedeny, významně rozšiřují stávající zavedenou praxi, která dostatečně nevyužívá potenciál přístrojů a znalostí, které v oboru existují.

4. Popis uplatnění metodiky

Tato metodika je určena zejména restaurátorům, kteří rutinně nebo alespoň příležitostně využívají zobrazovací optické a radiografické metody v rámci průzkumu malířských výtvarných děl. Je ale také určena všem dalším odborným profesím, které se na průzkumu podílejí (tj. přírodovědcům a historikům umění), protože s aplikací této metodiky se nutně a zásadně změní zažitá praxe striktně oddělující restaurátorský průzkum (prováděný neinvazivně optickými metodami) a materiálový průzkum (prováděný analytickými metodami v laboratoři na odebraných mikrovzorcích). Fakt, že nové radiografické postupy umožňují získávat stále více informací i o použitých materiálech a že tradiční analytické techniky byly vyvedeny z laboratoří do podoby mobilních přístrojů, s nimiž lze navíc celý povrch díla skenovat a vytvářet materiálové mapy znamená také nutnost velmi úzké koordinace restaurátora a

materiálového vědce již v prvních fázích průzkumu a screeningu výtvarného díla. Pro historiky umění je tu naopak jedinečná a nová šance spolupracovat s odborníky dalších profesí v rámci vlastní badatelské činnosti v galeriích a muzeích, ve výzkumných projektech plánovat financování neinvazivních zobrazovacích i analytických metod, které doplňují stylovou analýzu o materiálově-technologická data získaná *in situ* a bez odběru vzorků, tedy bez nutné vazby na restaurování studovaného díla. S využitím nových metod se průzkum jako celek stává efektivnější, levnější a výrazně šetrnější pro samotné dílo. Lze také snáze revidovat a doplňovat informace v historických dokumentacích.

Metodiku budou využívat subjekty:

Subjekty, s nimiž bude uzavřena smlouva o využití výsledku:

- 1) Fakulta restaurování Univerzity Pardubice v Litomyšli (katedra chemicko-technologická a restaurování), projednáno s Ing. Karlem Bayerem a doc. Jaroslavem Altem, akad. mal. Metodika bude uvedena do praxe při materiálovém průzkumu uměleckých děl a při výuce studentů.**
- 2) Restaurátorské oddělení Moravské galerie v Brně, projednáno s akad. mal. Igorem Fogašem. Metodika bude uvedena do praxe při materiálovém průzkumu uměleckých děl.**
- 3) Fakulta humanitních studií UK v Praze, projednáno s PhDr. Blankou Altovou. Metodika bude uvedena do praxe při vědeckému výzkumu uměleckých děl a při výuce studentům.**

Je pravděpodobné, že budou metodiku využívat i další subjekty. Metodika je zaměřena nejen na vlastní provádění měření, ale především na komplexní a informovanou interpretaci dat z těchto pokročilých analýz. Není tedy rozhodující to, zda daná zařízení instituce využívající metodiku aktuálně vlastní, to se může v budoucnu měnit a je v praxi velmi běžná i spolupráce s vlastníky zařízení či výrobci. Je ale důležité, aby metodicky správně postupoval ten, kdo výsledky interpretuje v rámci komplexního průzkumu výtvarných děl.

5. Seznam související literatury

Alfeld M., Broekaert J.A.C.: Mobile depth profiling and sub-surface imaging techniques for historical paintings – A review. *Spectrochimica Acta Part B* **88** (2013), 211-230.

Alfeld M., Pedrosa J.V., Van Eikema Hommes M., Van der Snickt G., Tauber G., Blaas J., Haschke M., Erler K., Dik J., Janssens K.: A mobile instrument for in situ scanning macro-XRF investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **28** (2013a), 760–767.

Alfeld M., Siddons D.P., Janssens K., Dik J., Woll A., Kirkham R., Van de Wetering E.: Visualizing the 17th century underpainting in Portrait of an Old Man by Rembrandt van Rijn using synchrotron-based scanning macro-XRF. *Applied Physics A* **111** (2013b), 157–164.

Bartlová M.: Can material analyses firmly support an art historical evaluation? / Mohou být materiálové analýzy pevnou oporou umělecko-historického hodnocení? *Acta Artis Academica* 2014, Akademie výtvarných umění v Praze, 2014, 139-152.

Buzzegoli E., Keller A.: Ultraviolet/Infrared false colour imaging. In. Pinna D., Galeotti M., Mazzea R.: *Scientific Examination for the Investigation of Paintings. A handbook for Conservator-restorers.* Centro Di, 2009, 200-205.

Carramate L.F.N.D., Nachtrab F., Firsching M., Silva A.L.M., da Silva A.M., Veloso J.F.C.A., Uhlmann N.: Energy resolving CT systems using Medipix2 and MHSP detectors. *Journal of Instrumentation* 8 (2013) C03022.

Fontana R., Barucci M., Pampaloni E, Striova J., Pezzati L.: From Leonardo to Raffaello: Insights by VIS-IR reflectography. Acta Artis Academica 2014 - Proceedings of the 5th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 20-21, 2014, Akademie výtvarných umění v Praze, 15-26. ISBN:978-80-87108-48-2.

Hradil D., Fogaš I., Miliani C., Daffara C.: Neinvazivní analytické metody při průzkumu obrazů vídeňské školy konce 18. a v 19. století. *Technologia Artis* 2006, Akademie výtvarných umění v Praze, 2006, 20-28. ISBN 80-239-7986-8

Mornstein V., Caruana C. J.: Rentgenové zobrazovací metody. Přednášky z lékařské biofyziky, Biofyzikální ústav Lékařské fakulty, Masarykovy univerzity, Brno, 2012.

Pečený J.: Zkušenosti s použitím lékařského rentgenového výpočetního tomografu. Acta Artis Academica 2010 – Proceedings of the 3rd interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 24-25, Akademie výtvarných umění v Praze, 2010, 227-242. ISBN: 978-80-87108-14-7.

Rodríguez A.E.C., Pernía D.L., Schalm O., Van Espen P.J.M.: Possibilities of energy-resolved X-ray radiography for the investigation of paintings. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 402 (2012), 1471–1480.

Schalm O., Cabal A., Espen P.V., Laquiere N., Storme P.: Improved radiographic methods for the investigation of paintings using laboratory and synchrotron X-ray sources. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 26 (2011), 1068–1077.

Slánský B.: Technika malby II. Průzkum a restaurování obrazů. SNKLHU, Praha 1956.

Targowski P., Olszewska-Swietlik J., Rouba B. J. : Macro-XRF for examination of medieval wood panel painting an exemple of application, Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage, Catania, April 27-30, 2015, Technart 2015, poster.

Tichý V., Holý T., Jakůbek J., Linhart V., Pospíšill S., Vykydal Z.: X-ray fluorescence imaging with pixel detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 591 (2008), 67–70.

Vosátková P., Coufal J.: Restaurátorská zpráva o technologickém průzkumu Madony z Dolní Sytové. Nepublikovaná zpráva, 2010, s. 12 a přílohy 1-8.

Žemlička J., Jakůbek J., Kroupa M., Hradil D., Hradilová J., Míslarová H. Analysis of painted arts by energy sensitive radiographic techniques with the Pixel Detector Timepix. *Journal of Instrumentation* (2011), C01066.

Žemlička J., Jakůbek J., Kroupa M., Hradil D., Hradilová J., Míslarová H.: Energy sensitive X-ray radiography for the non-destructive inspection of historical paintings / Energeticky citlivá rentgenová radiografie pro účely nedestruktivního průzkumu historických maleb. Acta Artis Academica 2010 – Proceedings of the 3rd interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 24-25, 339-350. ISBN: 978-80-87108-14-7

6. Seznam publikací a nepublikovaných zpráv předcházející metodice

Blažek J., Zitová B., Tichý T., Vašutová V.: Optical properties of historical paint pigments under near infrared (NIR) radiation / Optické vlastnosti historických malířských pigmentů v blízkém infračerveném (NIR) záření. Acta Artis Academica 2014 - Proceedings of the 5th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 20-21, 2014, Akademie výtvarných umění v Praze, 35-49. ISBN:978-80-87108-48-2

Fogaš I., Wörgötter Z., Hradilová J., Hradil D., Zikmund T., Kaiser J.: Investigation of Madonna in the travel altar of Robert of Anjou from the collection of Moravian gallery in Brno / Průzkum Madony cestovního oltáříku Roberta z Anjou ze sbírek Moravské galerie v Brně. Acta Artis Academica 2014 - Proceedings of the 5th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 20-21 2014 Akademie výtvarných umění v Praze, 203-228. ISBN:978-80-87108-48-2

Hradilová J., Hradil D., Fogaš I., Zmydlená M.: Nově objevená románská Madona typu Sedes Sapientiae z české soukromé sbírky s prvky západoevropské výtvarné tradice / Newly found romanesque Madonna of Sedes Sapientiae type coming from a Czech private collection with elements of west European fine arts tradition. Acta Artis Academica 2012 - Proceedings of the 4th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 21-23 2012, Akademie výtvarných umění v Praze, 105-126. ISBN 978-80-87108-33-8

Hradilová J., Trmalová O., Žemlička J.: X-ray radiography of paintings with high resolution (II): two counterpart paintings from the chapel in Vizovice chateau – two completely different stories / Radiografie maleb s vysokým rozlišením (II): dva protějškové obrazy ze zámecké kaple ve Vizovicích – dva zcela odlišné příběhy. V: Acta Artis Academica 2014 - Proceedings of the 5th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 20-21 2014, Akademie výtvarných umění v Praze, 69-96. ISBN 978-80-87108-48-2

Hradilová J., Žemlička J., Trmalová O., Hradil D.: Non-invasive survey of paintings with high resolution X-ray radiography and XRF, Catania, April 27-30, 2015, Technart 2015, poster.

Surma R.: Neinvazivní průzkumy uměleckých děl při použití mobilních jednotek (mapování současného stavu s pohledu restaurátorského průzkumu – příprava pro tvorbu metodik). Příloha k Periodické zprávě projektu NAKI DF12P01OVV048 „Nová mobilní zařízení, laboratoř a metodika pro nedestruktivní materiálovou analýzu výtvarného umění v kontextu ochrany kulturního dědictví“, 2014 – 3. rok řešení, Akademie výtvarných umění v Praze, s. 9

Surma R., Koska B.: Polychromovaná dřevěná socha Madony z Rouchovan: nové metodiky technologického průzkumu a technologický postup vzniku / Polychrome Wooden Replica of Madonna of Rouchovany: New Methodology for Non-destructive Survey and the Process of Replica's Manufacture. Acta Artis Academica 2012 - Proceedings of the 4th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 21-23 2012, Akademie výtvarných umění v Praze, 259-282. ISBN 978-80-87108-33-8

Trmalová O., Hradilová J., Hradil D.: Restaurátorská zpráva a materiálový průzkum obrazů: Nanebevzetí Panny Marie a Proměnění Páně na hoře - dva protějškové obrazy z kaple zámku Vizovice. Nепublikovaná zpráva, 2014, Archiv NPÚ, ÚPS v Kroměříži.

Hradilová J., Hradil. D.: Triptych Smrt Panny Marie, Vlašský dvůr v Kutné Hoře, Kaple sv. Václava a sv. Vladislava, Nепublikovaná zpráva Laboratoře ALMA, Akademie výtvarných umění v Praze, 2014, 12 stran.

Hradil D., Hradilová J., Fogaš I., Hrdličková-Kučková Š.: Přínos materiálových analýz pro interpretaci techniky malby a umělecko-historická bádání obecně. Akademie výtvarných umění v Praze, 2013, 104 stran. ISBN 978-80-87108-43-7

Žemlička J., Jakůbek J., Dudák J., Hradilová J., Trmalová O.: X-ray radiography of paintings with high resolution (I): testing and measurement with large area pixel detector / Radiografie maleb s vysokým rozlišením (I): testování a měření velkoplošným pixelovým detektorem. V: Acta Artis Academica 2014 - Proceedings of the 5th interdisciplinary conference of ALMA, Prague, November 20-21 2014, Akademie výtvarných umění v Praze, 51-68. ISBN 978-80-87108-48-2