

1. Vybrané metody průzkumu předmětů kulturního dědictví

Název projektu:

Řeč materiálu – tradiční řemeslné technologie pro záchranu kulturního dědictví a současný životní styl (2018–2022)

Program:

Program na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje národní a kulturní identity na léta 2016 až 2022 (NAKI II)

Identifikační kód:

DG18P02OVV030

Poskytovatel:

Ministerstvo kultury České republiky

Autor kapitoly 1:

Petra Lesniaková

Obsah kapitoly

1	Možnosti a cíle průzkumu	8
1.1	Základní kritéria průzkumu, shrnutí současného stavu	8
1.2	Cíle průzkumu	9
1.3	Dělení metod průzkumu	10
1.3.1	Neinvazivní průzkum a současná praxe	11
1.3.2	Invazivní průzkum a současná praxe	14
2	Vybrané instrumentální metody neinvazivního průzkumu	16
2.1	Zobrazovací metody	16
2.1.1	Vizuální průzkum a fotografie v bílém světle	16
2.1.2	Průzkum objektu při větším zvětšení	18
2.1.3	Ultrafialová fluorescenční (UVF) fotografie	20
2.1.4	Ultrafialová reflektografie (UVR)	22
2.1.5	Infračervená reflektografie (IRR)	23
2.1.6	Ultrafialová a infračervená reflektografie ve falešných barvách (UVR-FC, IRR-FC)	24
2.1.7	Rentgenové radiografické metody: rentgenografie a výpočetní tomografie (XRR, CT)	25
2.1.8	3D skenování	27
2.1.9	Méně využívané zobrazovací metody	28
2.2	Neinvazivní analytické metody	29
2.2.1	Ruční rentgen-fluorescenční spektrometrie (pXRF, pRFA)	29
2.2.2	Přenosná infračervená (pFTIR) a Ramanova spektroskopie (pRS)	30
2.2.3	UV-VIS-NIR reflexní a fluorescenční spektroskopie	31
2.2.4	Méně využívané analytické neinvazivní metody	31
2.3	Neinvazivní diagnostické a další metody	32
3	Zadání invazivního průzkumu, odběr vzorků	33
3.1	Teoretické aspekty a cíle odběru vzorků	33
3.2	Postup a zásady odběru vzorků v praxi	34
3.3	Záznam o odběru vzorků, předávací protokol	35
3.4	Dokumentace a zpracování vzorku před dalším průzkumem	38
4	Vybrané instrumentální metody invazivního průzkumu	40
4.1	Zobrazovací optické metody a metody prvkové analýzy	40
4.1.1	Optická (světelná, polarizační a fluorescenční) mikroskopie (OM)	40
4.1.2	Skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM-EDX)	41
4.2	Metody molekulové analýzy	42
4.2.1	Infračervená spektroskopie (FTIR) a mikrospektroskopie (μ FTIR) s Fourierovou transformací	42
4.2.2	Ramanova spektroskopie (RS) a mikrospektroskopie (μ RS)	43
4.2.3	Rentgenová prášková difrakce (XRD) a mikrodifrakce (μ XRD)	44
4.2.4	Plynová chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektrometrií (GC-MS)	45
4.2.5	Selektivní mikrochemické reakce a důkazové testy	46
4.3	Méně využívané analytické metody	47
4.4	Vybrané datovací metody	47
4.5	Další metody invazivního průzkumu	48
5	Seznam zkratk	49
6	Seznam pojmů	50
7	Vybraná literatura	52
8	Seznam literatury	53

1 Možnosti a cíle průzkumu

1.1 Základní kritéria průzkumu, shrnutí současného stavu

Možnosti průzkumů předmětů kulturního dědictví se neustále rozšiřují, a v mnohých případech proto nemusí být snadné o koncepci průzkumu kvalifikovaně rozhodovat. Základním kritériem výběru vhodného postupu je zaručení minimálního vstupu do předmětu upřednostněním neinvazivních, nejlépe bezkontaktních a v návaznosti mikroinvazivních metod. Dalším předpokladem úspěchu je diferencovaný, tedy víceúrovňový mezioborový přístup, který nejenže zásadním způsobem podporuje dostatečnou šetrnost k památce, ale zefektivňuje také výsledky průzkumu a zkvalitňuje jejich interpretaci. Efektivitu průzkumu lze do značné míry dále podpořit včasným ujasněním jeho záměru, včetně cílů a požadovaných výstupů. Až na základě důsledně plánovaného, profesionálně vedeného a nanejvýš šetrného průzkumu zahrnujícího mezioborovou diskusi je posléze možné zodpovědně stanovit optimální koncepci restaurátorského-konzervátorského zásahu a preventivní konzervace.

Podle hlavních zúčastněných oborů lze průzkumy památek dělit na restaurátorské, přírodovědné a humanitní.¹ Na tomto místě je zapotřebí připomenout, že oblasti humanitních, případně společenských disciplín, včetně umělecko-historického průzkumu, nejsou předmětem předkládaného textu. V klasickém pojetí je potom restaurátorský průzkum založen především na vizuálním posouzení díla a využití základních neinvazivních zobrazovacích metod doplněných sondážním průzkumem. Postupy přírodovědného bádání se v minulosti naopak opíraly zejména o invazivní průzkumy odebraných vzorků pomocí chemických testů a instrumentálních analytických metod. V posledních desetiletích došlo k prudkému vývoji přístrojové techniky a umožnění zpracování velkého množství dat, což přineslo rapidní rozšíření možností průzkumů v mnoha směrech. Nejprve byla rozvíjena mobilita přírodovědného průzkumu, která dospěla do dnešního stavu, kdy je možné mnohé základní, ale také specializované laboratorní analytické metody využít neinvazivně, tedy bez nutnosti odběru vzorku *in situ*. Se zavedením moderních skenovacích technik bylo dále umožněno provádět plošné analýzy v makroměřítku a získat tak materiálové složení v obrazovém výstupu vázaném na podobu či tvar studovaného předmětu nebo malby apod. Na druhou stranu mohou současné pokročilé techniky multispektrálního a především hyperspektrálního zobrazování již poskytnout kromě obrazu také přesnou informaci o složení vybrané části díla. Z uvedených skutečností vyplývá, že se restaurátorský průzkum stále více prolíná s průzkumem přírodovědným a tradiční dělení ztrácí na jednoznačnosti. S dynamickým rozvojem neinvazivních instrumentálních metod navíc nabývají stále více na významu i smysluplnosti čistě badatelské cíle průzkumu, které nejsou vázány pouze na fyzickou péči o zkoumané dílo a mohou například zahrnovat umělecko-historické aspekty.²



Obr. 1 Dokumentace dřevěného kabinetu a detailní snímek víka s rentgen-fluorescenční (makro-XRF) mapou rtuti (Hg, bílá), olova a vápníku (Pb/červená, Ca/modrá). Neinvazivním způsobem byla pomocí makro-XRF prokázána starší malba s odlišným motivem, kterou nebylo možné vizuálně zaznamenat.³ Na základě prvkových map olova a vápníku byly odhaleny starší opravné zásahy v podobě retuší a tmelů.

1 Přírodovědný průzkum může být například podle cílů a použitých metod nazýván chemicko-technologickým, materiálovým, diagnostickým nebo laboratorním atd.
2 HRADLOVÁ, HRADIL, 2015, s. 21–22, s. 157–158; MAZZEO ed., 2016, s. 42–43.
3 BURGIO, 2018; Victoria and Albert Museum, London, [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.vam.ac.uk/blog/caring-for-our-collections/the-discovery-of-mercury-white-on-a-barniz-de-pasto-cabinet>.

1.2 Cíle průzkumu

Úlohou průzkumu je shromáždit informace o způsobu zhotovení a původu předmětu, jeho významu, historickém vývoji a originálním nebo dřívějším vzhledu, dále o současném stavu, materiálové podstatě a formách, příčinách i rozsahu poškození. Dalšími oblastmi průzkumu jsou podmínky uložení díla, respektive faktory související s preventivní péčí, ale také restaurátorské-konzervátorské techniky, postupy a materiály. Základní a dílčí cíle nebo zjišťované charakteristiky průzkumu bývají následující:

1. Podmínky uložení – prostředí, preventivní konzervace

monitoring teploty, relativní vlhkosti vzduchu a osvitů v krátkodobém nebo dlouhodobém časovém intervalu, typ a koncentrace polutantů, druh a rozsah znečištění, otřesy, kontakt s vlhkými materiály, možnost kondenzace vody, kontrola a prevence biologického napadení atd.

2. Celkový stav, materiálová podstata, poškození a změny

- základní konstrukce a části, funkčnost, podpůrné konstrukce a prvky, stavba, vnitřní uspořádání
- materiály a technologie zhotovení předmětu, případně pozdějších zásahů a úprav, struktura
- přítomnost a rozsah povrchových úprav, polychromií, maleb či jiného výtvarného zpracování
- druhotné zásahy, doplňky, chybějící části
- druh, rozsah, příčiny, případně mechanismy poškození, specifické typy poškození, celková stabilita
- biologické napadení, jeho projevy, rozsah, důsledky a aktivita biologických činitelů
- monitoring stavu, případně poškození, podstata degračních procesů.

3. Specifické charakteristiky související s povrchovými úpravami, polychromií, malbou

- rozsah původních (starších) úprav, polychromií a maleb, jednotlivých etap a druhotných zásahů
- stratigrafie a historický vývoj vrstev, počet, typ vrstev, rozlišení původních a druhotných úprav
- charakter a materiálová podstata vrstev a jejich komponent – pojiv, pigmentů, barviv a plniv
- technika, technologie, původní barevnost předmětu nebo vrstvy
- stav povrchových úprav, typ a rozsah poškození, například ztráta adheze (odlupování), koheze (sprašování), praskání, deformace, zvrásnění, ztráta pružnosti (křehnutí)
- vizuální změny – změna barevnosti a odstínu, odbarvení pigmentů, žloutnutí, tmavnutí, prohloubení opacity barevných vrstev, změna morfologie povrchu, ztráta lesku, pokrytí nečistotami.

4. Datace, provenience, autorství

- pro získání co nejobjektivnějších informací ke specifikaci výše uvedených veličin je mimo jiné nezbytné srovnávat výsledky průzkumů s dostupnými archivními prameny a srovnávací ikonografií.

5. Materiály a postupy restaurování-konzervace

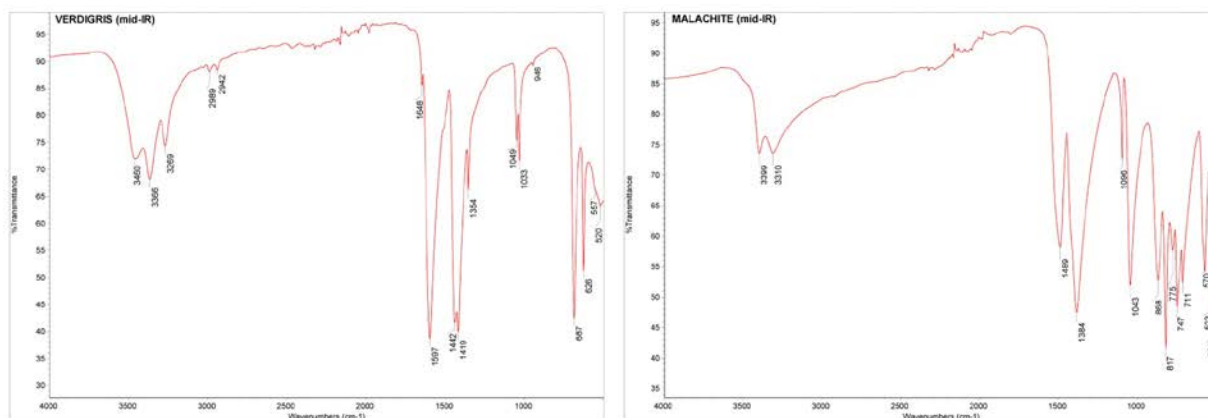
- předchozí restaurátorské-konzervátorské zásahy, jejich rozsah, stav, vlastnosti a materiály
- hodnocení a výběr vhodných materiálů a technologií, posouzení a kontrola provedení zákroku
- posouzení a optimalizace ekonomické a časové náročnosti.

1.3 Dělení metod průzkumu

Průzkumy památek a tedy také metody průzkumu lze posuzovat a klasifikovat z různých hledisek. Zásadním kritériem výběru je **invazivnost**, která vystihuje změnu a narušení studovaného předmětu, respektive míru zásahu do jeho integrity, použitím dané metody průzkumu. Při **neinvazivním** průzkumu nedochází ke změně předmětu nebo ztrátě jeho hmoty, neinvazivní metody tedy nevyžadují odběr vzorku. Neinvazivní průzkum je nutné realizovat přímo na předmětu nebo jeho části. **Invazivní** průzkum bývá založen na odběru vzorků, případně změně či narušení části předmětu většinou doprovázeného odběrem jeho hmoty.⁴ Pokud je změna studovaného předmětu nepostřehnutelná a velikost vzorku minimální, potom je průzkum označován za **mikroinvazivní**. Při mikroinvazivním průzkumu tedy dochází k zanedbatelnému zásahu a odběru vzorků mikroskopické velikosti.

Metody průzkumu se mohou podle principu a druhu získaných informací rozdělovat na zobrazovací, analytické, případně diagnostické a další. **Zobrazovací** metody průzkumu umožňují studovaný předmět, ale také odebraný vzorek, zhodnotit vizuálně. Jak již název napovídá, jejich výstupem je obraz. Neinvazivní zobrazovací metody jsou doménou **restaurátorského** průzkumu. **Analytické** metody poskytují informace o složení, a to z hlediska druhu (kvalita, **kvalitativní analýza**) nebo množství (koncentrace, kvantita, **kvantitativní analýza**). Podstatou analytických metod bývá fyzikální a chemická analýza.⁵ Neinvazivní a invazivní analytické metody jsou charakteristickou součástí **přírodovědných** průzkumů. **Diagnostické** metody většinou přinášejí poznatky o stavu předmětů a použitých materiálů, bývají založené na zjišťování fyzikálních a mechanických veličin.⁶

Při výběru metod průzkumu, jejich kombinací i sledu je účelné si uvědomit, které z analytických metod poskytují prvkovou nebo molekulovou analýzu. **Prvkovou analýzou** se určuje prvkové zastoupení, na jehož základě je kombinací s dalšími údaji následně možné odvodit složení převážně anorganických materiálů.⁷ Metodami **molekulové analýzy** lze v optimálních případech identifikovat organické i anorganické látky přímo, tedy pouze na základě samotné analýzy a získaného výstupu.



Obr. 2 Vibrační spektra zelených pigmentů měděny (verdigris, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a malachitu (malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) získaná metodou molekulové analýzy – infračervenou spektroskopií (FTIR). Na základě spekter lze pigmenty rozlišit, zatímco z prvkového složení nikoliv, protože je stejné – oba zelené pigmenty obsahují prvky měď, uhlík, kyslík a vodík (Cu, C, O, H).⁸

Dalším základním poznatkem, který se uplatňuje při plánování analytických průzkumů, je vhodnost metody k určení **anorganických** látek anebo k identifikaci **organických** materiálů. Organická analýza bývá v určitém smyslu složitější než identifikace anorganických látek.⁹ Kompli-

⁴ JANSSENS, 2004, s. 2; VANDENABEELE, 2016.

⁵ ZÁRUBA et al., 2016, s. 10.

⁶ Toto vymezení pojmu je zjednodušené, respektive zúžené pro účely textu a kvůli jeho přehlednosti. V obecné rovině může diagnostika zahrnovat také zobrazovací a analytické metody. Často se vztahuje k průzkumu staveb a architektonických prvků.

⁷ Prvkovou analýzou zpravidla není možné bez dalších informací identifikovat různé látky stejného prvkového složení.

⁸ Database of ATR-FT-IR spectra of various materials [online], [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: http://lisa.chem.ut.ee/IR_spectra/paint/pigments/

⁹ KOPECKÁ, NEJEDLÝ, 2001, s. 33.

kovanost organické analýzy je podmíněna především velkým množstvím různorodých variant organických látek a směsí nebo jejich chemickou podobností, například obdobným prvkovým složením a typem vazeb. Případně může být podpořena dalšími fenomény, mezi které například patří kontaminace druhotnými organickými látkami nebo vznik a migrace degradačních produktů organické podstaty.

Jak bylo uvedeno, v současnosti existuje nepřehledné množství průzkumových technik. Kvůli snadnější orientaci v dané problematice nejsou všechny metody průzkumu, ani jejich další podrobná odborná klasifikace¹⁰ v předkládaném textu uváděny. Výběr, širší popisu a do jisté míry také řazení jednotlivých metod se většinou odvíjí od jejich praktického uplatnění při průzkumu předmětů kulturního dědictví.

1.3.1 Neinvazivní průzkum a současná praxe

Neinvazivní průzkum může být realizován v místě, kde se předmět nachází (*in situ*), což vyžaduje dopravení potřebné instrumentální techniky ke studovanému předmětu. Druhou variantou neinvazivního přístupu je přemístění předmětu k přístrojové technice (*ex situ*). V tomto případě je nutné si uvědomit, že převoz předmětu může být spojen se zvýšeným rizikem jeho poškození, případně odcizení. Nabídka metod umožňujících průzkum *in situ* stále vzrůstá a zároveň se značně zkvalitňuje.

Nanejvýš citlivého přístupu při průzkumech předmětů kulturního dědictví lze dosáhnout upřednostněním neinvazivních bezkontaktních metod průzkumu a jejich použitím *in situ*. Neinvazivní průzkum bývá cenným podkladem pro vhodný i reprezentativní výběr míst odběrů vzorků a minimalizaci jejich počtu. Průzkum neinvazivními analytickými metodami většinou poskytuje rámcovou informaci o složení zkoumaného předmětu.



Obr. 3 Ukázka neinvazivního mikroskopického průzkumu předmětu *ex situ*.¹¹

Terminologie vystihující snadnost přemístění a použití přístrojové techniky není kvůli široké škále možností prozatím zcela ustálená ani jednoznačná. Většinou se robustnější a těžké přístrojové vybavení, jehož převoz i použití bývají spojeny s relativně složitějšími postupy zahrnujícími demontáž, kalibraci, případně jiná specifická omezení, označuje pojmem **transportovatelné**. Mezi transportovatelnou techniku lze například zařadit rozměrné konstrukce **zobrazovacích a analytických skenerů**, které umožňují po menších plochách či bodech nasnímat nebo zmapovat celý předmět, případně jeho větší části. Technika, která je určena k opakovanému převozu, se podle velikosti a hmotnosti může dělit na **mobilní** (mobile), **přenosnou** (portable) a **ruční** (hand-held).¹² Tyto přístroje jsou na rozdíl od transportovatelné přístrojové techniky svojí konstrukcí, velikostí a hmotností uzpůsobeny ke snadnému přenášení bez nutnosti náročné demontáže apod. Přenosné a ruční přístroje jsou lehké a snadno manipulovatelné, měly by být přenositelné jednou osobou, bývají bateriově napájené. Uvedené vlastnosti tyto přístroje předurčují k využití také v komplikovanějších a méně dostupných podmínkách, například na žebříku, lešení nebo pohyblivé plošině. Ruční přístroje bývají kompaktní, vyznačují se malou velikostí i hmotností, aby mohly být použity ručně nebo pomocí stativu.¹³ Běžná doba měření ručních analytických přístrojů musí být relativně krátká, aby byl operátor schopný po tuto dobu přístroj udržet bez problémů v určené pozici.

10 Analytické metody se například podle principu dělí na chemické, spektroskopické (spektrometrické), separační (chromatografické), elektrochemické a jiné. ZÁRUBA et. al., 2016, s. 4, 5; DOMÉNECH-CARBO et. al., 2004, s. 17–18.

11 Queen's University [online], [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://agnes.queensu.ca/news/whats-new-at-the-agnes/>

12 K označení přenosných metod se někdy používá malé písmeno p, uvádí se před zkratkou metody, například pXRF/p-XRF. Velmi malé kompaktní přístroje, lehčí a menší než tzv. ruční, které lze používat a ovládat pouze v jedné ruce, jsou někdy v zahraniční odborné literatuře nazývány anglickým termínem *palm*.

13 ČERMÁKOVÁ, KOSAŘOVÁ, 2015, s. 3; HRADILOVÁ, HRADIL, 2015; MAZZEO ed., 2016, s. 43, 168; BERSANI, 2016; VANDENABEELE, EDWARDS, JEHLIČKA, 2014; VANDENABEELE, 2016; LAUWERS et al., 2014.

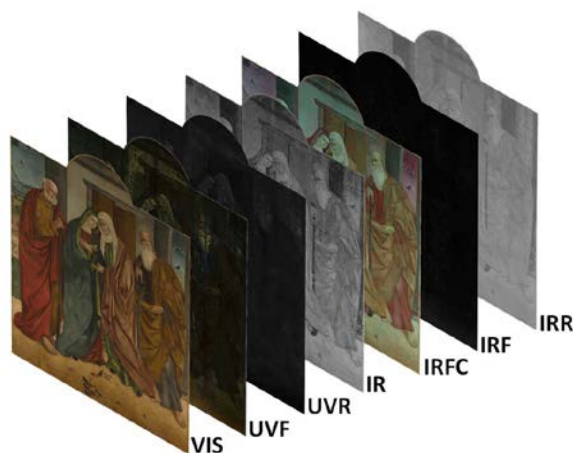


Obr. 4 Příklady přístrojového vybavení neinvazivního průzkumu a/ transportovatelný skener¹⁴, b/ přenosný Ramanův spektrometr¹⁵, c/ ruční rentgen-fluorescenční (XRF) analyzátor, d/ ruční měření vlhkosti mikrovlnnou metodou.

V restaurátorské-konzervátorské praxi a při dokumentaci předmětů kulturního dědictví se využívají následující **základní zobrazovací metody**, které poskytují různorodé typy poznatků (viz 2.1.):

- průzkum s digitálním fotografickým záznamem v denním světle, v bočním razantním nasvícení, případně v průsvitu
- průzkum s digitálním fotografickým záznamem při větších zvětšeních, v mikroměřítku
- ultrafialová fluorescenční (UVF) fotografie, případně jiné metody založené na fluorescenci
- ultrafialová a infračervená reflektografie (UVR, IRR), ultrafialová a infračervená reflektografie ve falešných barvách (UVR-FC, IRR-FC)
- radiografické metody; rentgenografie a rentgenová výpočetní tomografie (CT)
- 3D skenování.

Obr. 5 Ilustrační ukázka výstupů vybraných zobrazovacích metod aplikovaných na malbě: viditelné světlo (VIS), ultrafialová fluorescence (UVF), ultrafialová reflektografie (UVR, 360–400 nm), infračervená reflektografie (IR, 780–1100 nm), infračervená reflektografie ve falešných barvách (IRFC), infračervená fluorescence (IRF), infračervená reflektografie (IRR, 1000–1700 nm).¹⁶

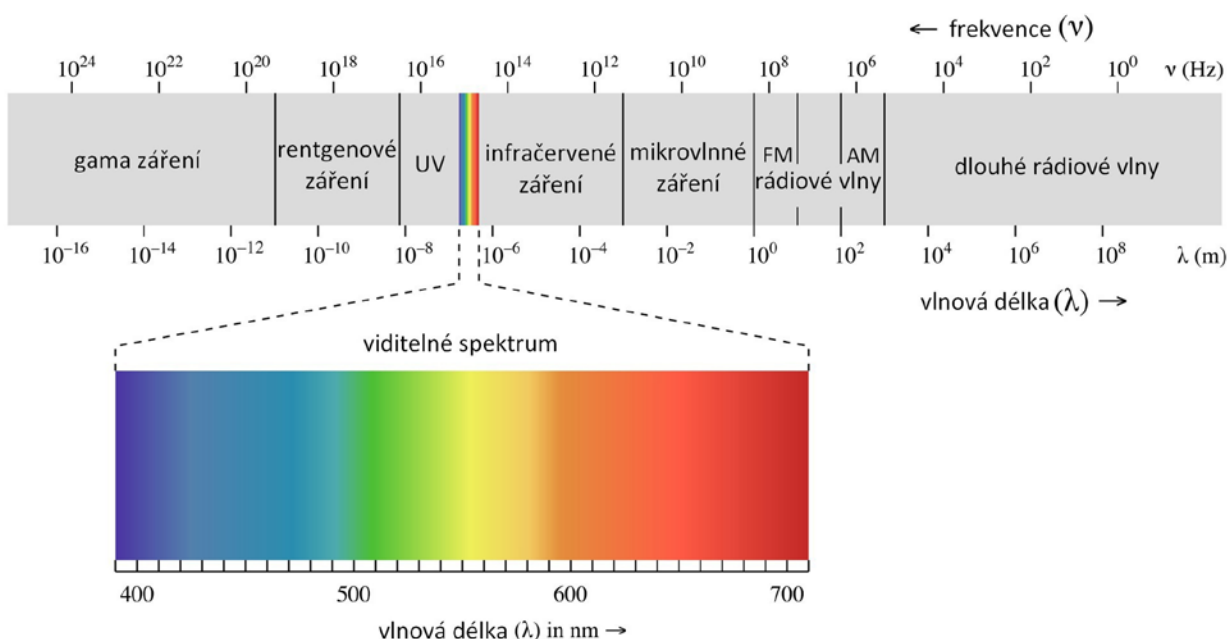


14 Bruker [online], 2019, [cit. 14. 1. 2019]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/micro-xrf-and-txrf/m6-jetstream/overview.html>

15 CONSTANTINI, CASTRO, MADARIAGA, 2018.

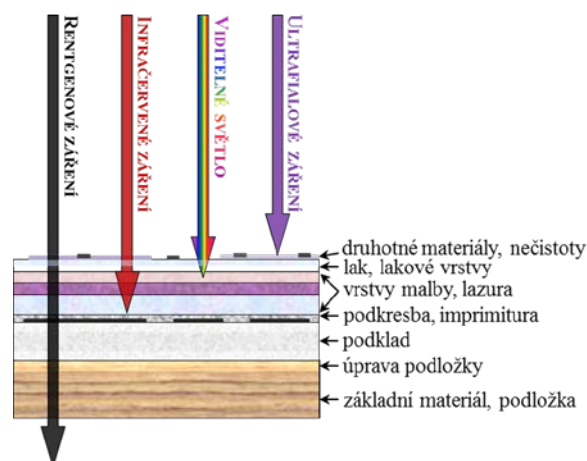
16 COSENTINO, 2015, s. 3. COSENTINO, 2014, s. 1, 2.

Uvedené metody průzkumu¹⁷ jsou založeny na interakci předmětu se zářením z odlišných oblastí elektromagnetického spektra. Získaný obraz je záznamem různých spektrálních oblastí vzniklých v důsledku této interakce. Nejčastěji se využívá **rentgenové** (X-ray), **ultrafialové** (UV), **viditelné** (VIS) a **infračervené** (IR) záření. Viditelné světlo dokáže zaznamenat lidské oko, zatímco záření z ostatních spektrálních oblastí jsou pro člověka neviditelná. Pokud jsou po interakci záření s předmětem sbírány záznamy (obrazy) v mnoha spektrálních oblastech, vzniká tzv. multispektrální (desítky záznamů) a hyperspektrální (stovky projekcí) zobrazování (imaging). Hyperspektrální zobrazování je poměrně novou metodou, kterou spíše využívají a rozvíjejí větší zahraniční specializovaná pracoviště. Metody multispektrálního a především hyperspektrálního zobrazování mohou být natolik pokročilé, že dokáží poskytnout analytickou informaci v libovolně zvoleném místě.



Obr. 6 Spektrum elektromagnetického záření se zvětšenou oblastí viditelného světla.¹⁸

Obr. 7 Výstavba malby a penetrační hloubka záření základních oblastí elektromagnetického spektra: ultrafialové záření (neprostupuje), viditelné světlo (prostupuje průhlednými, částečně poloprůhlednými vrstvami), infračervené záření (částečná pronikací schopnost), rentgenové záření (prostupuje zcela).



Z analytických metod neinvazivního průzkumu (viz 2.2.) nachází nejčastější využití rentgen-fluorescenční analýza (pXRF). Tato univerzální metoda poskytuje snadno a rychle základní informaci o prvkovém složení měřeného bodu¹⁹. Podle odborné zahraniční literatury je zřejmě druhou nejvyužívanější analytickou metodou neinvazivního průzkumu Ramanova spektroskopie a mikrospektroskopie. Z dalších metod molekulové analýzy se v menší míře využívají při neinvazivním průzkumu infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) a spektroskopie v ultrafialové, viditelné a blízké infračervené oblasti spektra (UV-VIS-NIR), případně fluorescenční spektroskopie. Dále je nutné zmínit, že se neinvazivním způsobem ojediněle již používá také

17 Uvedené základní zobrazovací metody jsou tzv. širokospektrální. Využívají jednotlivých základních oblastí elektromagnetického spektra nebo jejich větších částí. DAVIES, 2018; ABDRAHMAN, 2018; TONAZZINI, 2019.

18 tzbinfo [online], ISSN 1801-4399, [cit. 6.10.2019]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/docu/clanky/0058/005802o10.jpg>

19 Měřeným bodem se nazývá přístrojem analyzovaná plocha, respektive objem (malé měřené místo) při jednom měření.

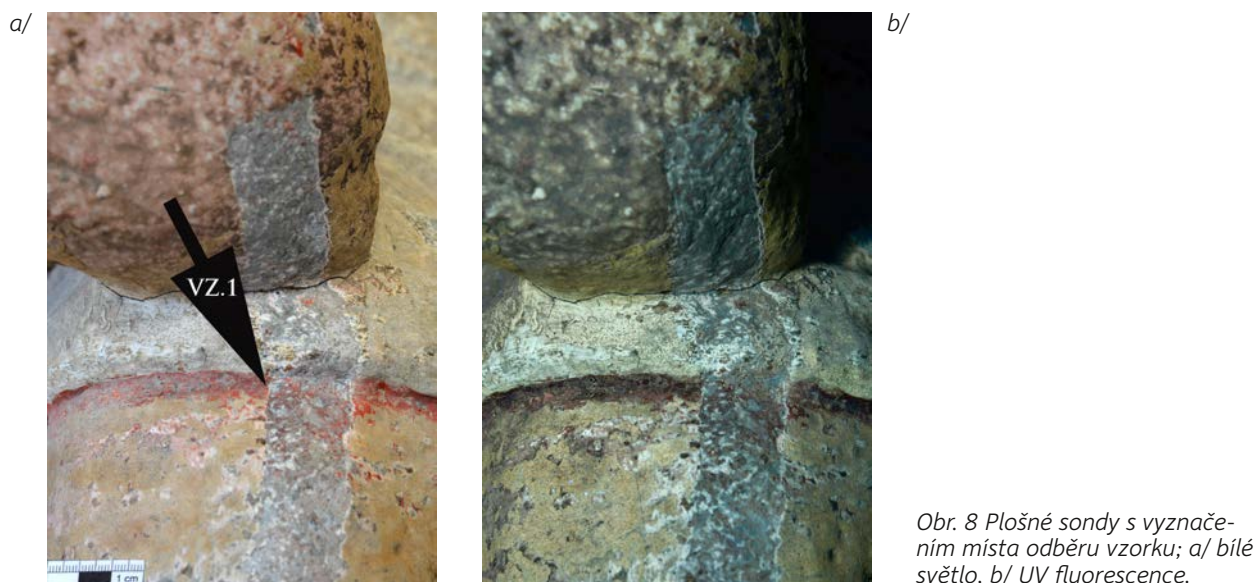
metoda rentgenové difrakce (XRD).²⁰ Přestože uvedené spektroskopické metody molekulové analýzy, především Ramanova a infračervená spektroskopie, poskytují přínosné poznatky, není jejich využití v přenosné podobě prozatím příliš rozšířeno.

Nejznámějšími **diagnostickými** metodami jsou zřejmě ultrazvuková transmise a perkusní průzkum (viz 2.3.), které rozšiřují poznání o stavu materiálů, vnitřních defektech nebo odloučení vrstev.

1.3.2 Invazivní průzkum a současná praxe

Invazivní průzkum poskytuje informace, které není možné prozatím získat neinvazivním způsobem. V tomto ohledu bývají obecnými výhodami invazivního průzkumu **vysoká přesnost, citlivost** a možnost obdržet detailní informace z **hloubkového profilu**, většinou z překrývajících se vrstev omítek, povrchových úprav, polychromií, maleb apod. K invazivnímu průzkumu lze přistoupit až v návaznosti na vhodně zvolený neinvazivní průzkum, na základě dokonalé rozvahy a mezioborové diskuse o jeho cílech. Množství odebraného materiálu, většinou vzorků určených k dalšímu bádání, musí být minimální.

K metodám invazivního průzkumu patří restaurátorský průzkum pomocí **stratigrafických/restaurátorských plošných sond** získaných postupnými odkryvy jednotlivých vrstev, většinou povrchových úprav, polychromií, maleb apod. Sondy se zpravidla provádějí a lokalizují takovým způsobem, aby byly zachyceny všechny nebo alespoň klíčové výtvarné, zdobné či jiné fáze a mohla být odhadnuta míra dochování a stavu zejména starších, pohledově skrytých vrstev. Tímto způsobem lze získat určitou představu o výstavbě, rozsahu, charakteru a výtvarných kvalitách těchto vrstev. Na základě postupného odkrývání je navíc možné rámcově zjistit komplikovanost a úskalí nebo vhodný způsob snímání a vytipovat vhodná místa k odběru vzorků.²¹



Obr. 8 Plošné sondy s vyznačením místa odběru vzorku; a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence.

K metodám invazivního průzkumu dále náleží **zkoušky rozpustnosti**, na jejichž základě lze prohloubit poznání o složení vybraných materiálů. Poskytují cenné informace pro proces restaurování-konzervace o citlivosti, rozpustnosti a v některých případech také odstranitelnosti těchto materiálů zvolenými rozpouštědly. V některých případech lze zkoušky rozpustnosti velmi efektivně propojit s realizací restaurátorských sond.

²⁰ VANDENABEELE, 2016; HIRAYAMA, 2018.

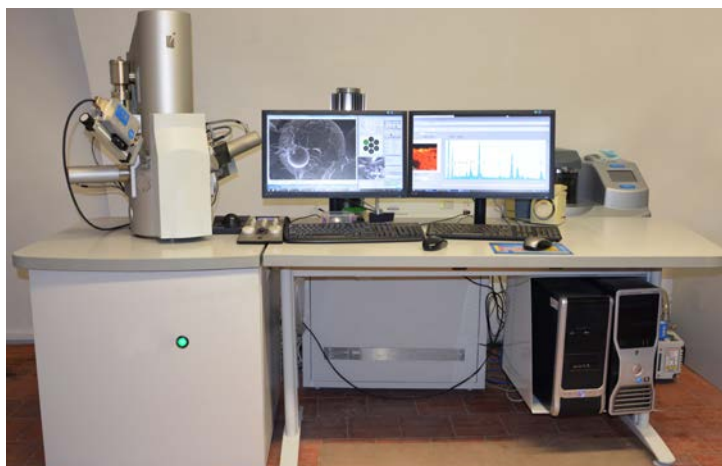
²¹ KUBIČKA, 2004.

Obr. 9 Zkouška rozpustnosti prováděná pod stereoskopickým mikroskopem.²²



Ke studiu vzorků se zpravidla využívají analytické a zobrazovací, respektive optické metody průzkumu, realizované pomocí **stacionárních** laboratorních (benchtop) přístrojů²³, které většinou nelze, případně nemá smysl přemísťovat (viz 4.).²⁴ Při výběru a kombinaci metod průzkumu vzorků se podobně jako při průzkumu předmětu nejprve volí metody, které vzorek nepoškodí, případně nezmění (**nedestruktivní** metody). Posléze se vzorek může využít k průzkumu, při kterém bude změněn, respektive poškozen nebo dokonce zničen (**destruktivní/mikrodestruktivní** metody). V mnohých případech je samotný vzorek cenným dokladem o předmětu a jeho hodnotách, a také proto bývá vhodné se destruktivním metodám jeho průzkumu vyhnout a vzorek uchovat do budoucna, je-li to možné, v nejméně pozměněné podobě.

Obr. 10 Skenovací elektronový mikroskop s energiově-disperzním analyzátozem (SEM-EDX), příklad laboratorní (nepřenosné/benchtop) přístrojové techniky.



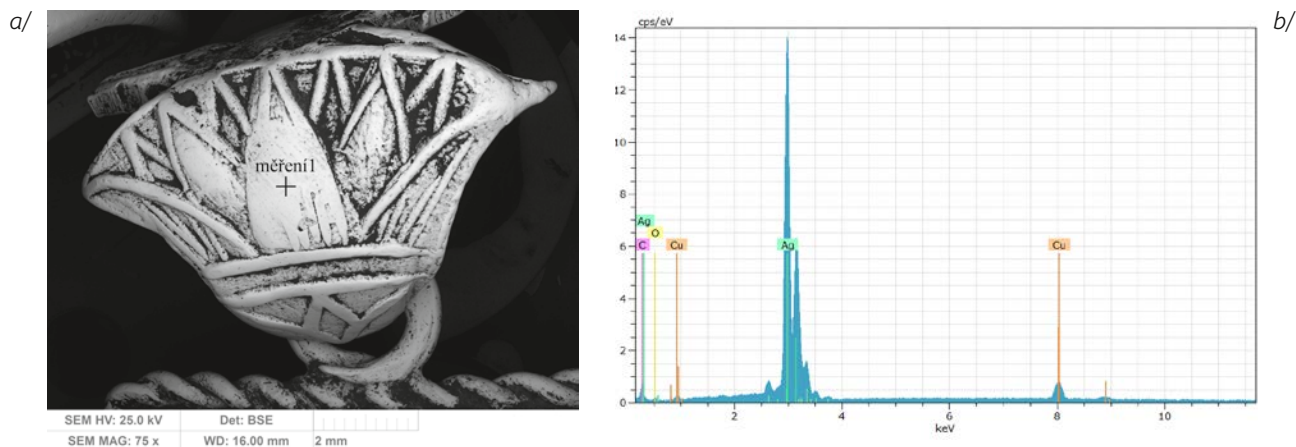
Základními metodami průzkumu vzorků jsou mikroskopické techniky zahrnující optickou (světelnou), fluorescenční a polarizační mikroskopii. V dnešní době je již dobře dostupná také skenovací elektronová mikroskopie (SEM), která zásadním a často nenahraditelným způsobem rozšiřuje poznání o mikrostruktuře, složení a stratigrafii čili vrstevnatosti vzorků.

Nejběžnější invazivní metodou **prvkové analýzy** nacházející uplatnění při průzkumu všech typů předmětů, zejména při identifikaci anorganických základních materiálů a materiálů zdobných technik, pigmentů, plniv a anorganických pojiv, je rentgenová energiově-disperzní mikroanalýza. Používá se v kombinaci s elektronovou mikroskopií (SEM-EDX). Předpona **mikro**, případně symbol μ , většinou v daném kontextu vyjadřují, že přístroj disponuje kombinací analýzy s její cílenou mikroskopickou lokalizací. V současnosti jsou mnohé ze základních instrumentálních analytických metod využívaných při průzkumu předmětů kulturního dědictví často k dispozici v takovémto uspořádání. Mikroanalytické metody průzkumu bývají ke vzorku **nedestruktivní**, případně **mikrodestruktivní**, což vystihuje, že dochází k porušení nebo změně pouze zanedbatelné, velmi malé části vzorku.

22 GOODWIN, Diana. Uncovering the van Eycks' original masterpiece. In: Flandertoday [online], 8.7.2014, [cit. 6.10.2019]. Dostupné z: <http://www.flandertoday.eu/living/uncovering-van-eycks-original-masterpiece>

23 MAZZEO ed., 2016, s. 43, 85, 165; BERSANI, 2016; VANDENABEELE, EDWARDS, JEHLIČKA, 2014; CONSTANTINI, CASTRO, MADARIAGA, 2018.

24 Bývá možné buď s určitým omezením, nebo v pozměněném uspořádání tyto přístroje využít k neinvazivnímu průzkumu. V takovém případě potom musí být objekt transportován k přístroji.



Obr. 11 Mikroskopická lokalizace prvkové analýzy, skenovací elektronová mikroskopie s energiově-disperzní analýzou (SEM-EDX): a/ vyznačení bodové analýzy na mikrosnímku (měření 1), b/ příslušné spektrum. Zkoumán byl detail kového zdobení, přičemž z měření vyplynulo, že je zdobení stříbrné (Ag, 96 % hm.), obsahuje příměs mědi (Cu, 4 % hm.).

Z invazivních metod **molekulové analýzy** se k identifikaci anorganických látek využívá Ramanova spektroskopie a mikrospektroskopie. Touto technikou lze zároveň v optimálních případech identifikovat některé organické látky, zejména organické pigmenty a barviva, méně často pojiva. Další metodou anorganické analýzy je rentgenová difrakce (XRD), případně mikrodifrakce (μ -XRD), která nachází uplatnění především při studiu krystalických fází nebo mineralogického složení anorganických poživ, hornin, minerálů, ale také například plniv a pigmentů. Při průzkumu anorganických poživ lze dále využít různé techniky termické analýzy (TA). Infračervená spektroskopie a mikrospektroskopie (FTIR, μ -FTIR) se spíše používá k identifikaci organických nežli anorganických látek, zejména organických poživ, pigmentů, barviv a adheziv apod. K přesné identifikaci organických materiálů jsou vhodné metody plynové chromatografie většinou ve spojení s hmotnostní spektrometrií (GC-MS), dále potom kapalinové chromatografie (LC), respektive v současnosti vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) v kombinaci s různými detekčními systémy.

2 Vybrané instrumentální metody neinvazivního průzkumu

2.1 Zobrazovací metody

2.1.1 Vizuální průzkum a fotografie v bílém světle

(Visual Observation, Photographic Documentation under Normal Light)

Prohlídka a fotografická dokumentace v bílém světle jsou základními a zároveň nepostradatelnými nástroji průzkumu předmětů kulturního dědictví. Na základě vizuálního průzkumu se rozhoduje nejen o celkové koncepci restaurování-konzervování, případně strategii následné preventivní péče, ale také o sledu a výběru dalších průzkumových metod. Z těchto důvodů je nutné, aby byl vizuální průzkum prováděn velmi důsledně, s patřičnou odborností i dostatečnou zkušeností. Podobně je tomu s fotografickou dokumentací, kterou je nezbytné pořizovat ve vysoké kvalitě s vědomím, že výsledek by měl být využitelný také v budoucnu.

Předmět se nejprve vizuálně posuzuje jako celek, dokumentuje se v základních pohledech. Vyhodnocuje se jeho celkový stav, skladba a struktura, použité materiály a techniky, případně konstrukce a funkčnost, dále potom typ a rozsah zdobných technik, povrchových úprav, polychromií nebo maleb.²⁵ Poté se zaznamenávají vybrané detaily, místa odběrů vzorků a charakteristické jevy nebo změny, například úbytky materiálů, alterace a poškození, druhotné zásahy, nečistoty a povlaky či biologické napadení. V rámci procesu restaurování-konzervování se standardně zaznamenávají stavy předmětu před zásahem, v jeho průběhu a po zásahu. Průzkum i dokumentace se provádějí v přirozeném nebo umělém bílém světle. V závislosti na typu

25 RIVERS, UMNEY, 2003, s. 386.

a citlivosti studovaného díla je nutné volit vhodnou intenzitu i druh světelného zdroje.²⁶ Náležitosti kvalitní fotografické dokumentace lze dohledat v různých profesionálních fotografických příručkách nebo oborových metodikách.²⁷

Obr. 12 Část fotografické dokumentace předmětu v bílém světle.²⁸



K vizuálnímu průzkumu s fotografickou dokumentací se dále nejčastěji využívá technika **razantního bočního nasvícení** (Raking Light Photography). V bočním nasvícení je možné zviditelnit především topografii povrchu a jeho lesk²⁹. Průzkum v bočním světle potom umožňuje detailně studovat strukturu, nerovnosti, deformace a defekty povrchu, odlišit rozdílné materiály a spoje nebo zvýraznit například stopy nástrojů, ryté nebo vyřezávané značky a jemná plastická zdobení. Zintenzivněním lesku lze úspěšně lokalizovat některé druhotné zásahy a lakové vrstvy. V konečném důsledku může prohlídka v bočním světle například poskytnout hlubší poznatky o způsobu nanášení a technice malby, případně o autorském rukopisu.³⁰ Boční nasvícení dále umožňuje detailnější kontrolu některých dílčích procesů restaurování-konzervování, například vyrovnávání a fixace povrchových úprav, polychromií a maleb, aplikace laků a retuší nebo naopak odstraňování nežádoucích vrstev.

Obr. 13 Čínská laková technika s reliéfní řezbou v laku v bočním nasvícení.³¹



Kromě průzkumu v rozptýleném bílém světle nebo razantním bočním nasvícením se dále uplatňuje **technika průsvitu**, při které je předmět studován v procházejícím světle (transmisi). Metoda je vhodná k průzkumu předmětů, které v různé míře propouštějí světlo, například závěsných maleb a plošných textilií. Při průzkumu může být předmět prosvětlován volně v prostoru nebo na speciálním prosvětlovacím stole. Tímto způsobem lze přesně lokalizovat defekty nebo různé tloušťky předmětu.³²

Další možností fotografického záznamu je dokumentace v **polarizovaném světle**, která se využívá zejména v případech, kdy je žádoucí potlačení lesku na fotografiích předmětu.

Méně rozšířenou technikou dokumentace je **metoda transformačního zobrazování** (Reflectance Transformation Imaging, RTI). Nachází uplatnění při vizualizaci struktury předmětů a jejich povrchu. Tato metoda pracuje se sekvencí digitálních fotografií zpravidla tak, že každá fotografie zachycuje předmět z jiného úhlu nasvícení při konstantní vzdálenosti fotoaparátu a zdroje světla od předmětu. Získaná sekvence snímků je transformována speciálním programem. Vzniklý soubor obsahuje rozšířené informace o barevnosti a odrazivosti. Na výsledném snímku

26 BIGRAŞ, CHOQUETTE, POWELL, 2010.

27 BEZDĚK, FROUZ, 2014; DYER, VERRI, CUPITT, 2013; WARDA ed., 2011.

28 ANDERSSON, CATTERSEL, 2017, s. 190.

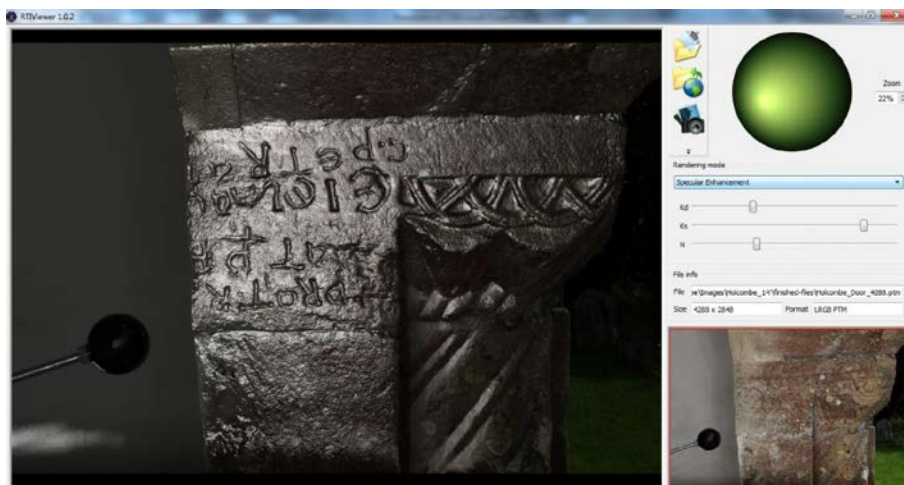
29 Rozdíly v lesku lze také zviditelnit umístěním zdroje světla přímo před objekt. SANDU, JOOSTEN, LEAL, 2015.

30 CHLUMSKÁ et al., 2017, s. 32–33; FAVERO, 2017.

31 Autor snímku: Z. Holý.

32 STONER, RUSHFIELD, 2012.

je na rozdíl od normální fotografie zásadním způsobem zdůrazněna topografie povrchu. Metoda se kromě dokumentace uplatňuje také při vyhodnocení restaurátorských-konzervátorských úkonů, například při čištění a doplňování.³³



Obr. 14 Příklad výstupu transformačního zobrazování (RTI) na polychromovaném sloupu s využitím speciálního programu, na snímku vpravo dole je možné vidět zobrazovaný předmět v denním světle.³⁴

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy materiálů i předmětů.

2.1.2 Průzkum objektu při větším zvětšení (Examination and Documentation under Higher Magnification)

Prohlídka předmětu a dokumentace detailů v mikroměřítku nalézají nezastupitelnou úlohu v rámci základního neinvazivního průzkumu. Průzkumem při větším zvětšení je možné značně rozšířit informace o optických vlastnostech a struktuře povrchu předmětů kulturního dědictví, včetně povrchových úprav, polychromií nebo maleb, plynoucích z vizuálního pozorování. Tímto způsobem lze prohloubit poznání o stavu, materiálové podstatě nebo



Obr. 15 Ukázka neinvazivního průzkumu pomocí stereoskopického mikroskopu (a/) s mikrosnímky detailů zdobení usně (slepotisk, pozlacovačské techniky) v různých zvětšeních (b/). K získání mikrosnímků bylo použito zvětšení stereomikroskopu 8,3×, 10×, 20× a 40× (od shora dolů).

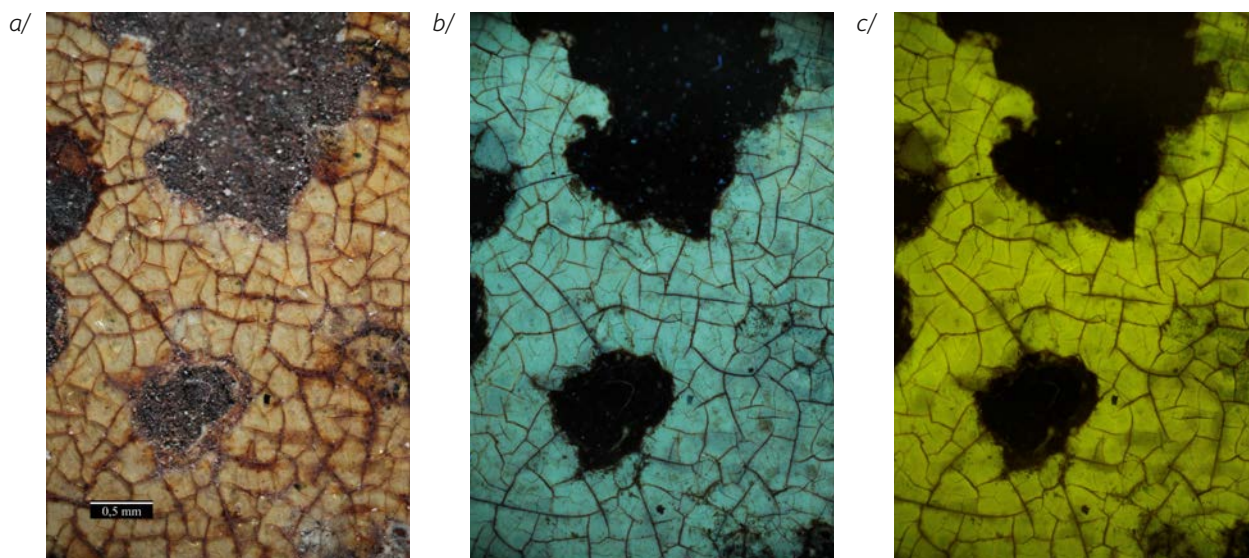
33 PLZÁK, 2016; BOUTE et al., 2018.

34 The Slingsby Village [online], 2019, [cit. 6.10.2019]. Dostupné z: <https://www.slingsbyvillage.co.uk/event/rti-photography-workshop-slingsby/>

poškození předmětu. Prohlídka ve větším zvětšení může dále poskytnout celkem komplexní nebo alespoň rozšířenou informaci o barevnosti pigmentů, stratigrafii, vzájemné souslednosti a charakteru jednotlivých vrstev povrchových úprav, polychromií nebo maleb a případně také o výtvarné technice.

Průzkum v mikroměřítku lze úspěšně využít také při kontrole a vyhodnocení dílčích úkonů restaurátorského-konzervátorského zásahu. Vhodným příkladem může být čištění a odstraňování nežádoucích vrstev, fixace povrchových úprav, polychromií a maleb či doplňování chybějících částí. Průzkum při větším zvětšení dále nachází nenahraditelné uplatnění při lokalizaci, kontrole a dokumentaci míst odběrů vzorků. Tímto způsobem se zásadně zvyšuje pravděpodobnost získat reprezentativní vzorky s maximálním počtem dochovaných vrstev, případně s materiálem podložky.

Při průzkumu se využívají zejména zvětšovací lupy, stereoskopické mikroskopy, běžné USB digitální mikroskopy nebo pokročilé digitální mikroskopy^{35, 36}. Méně často se k průzkumu na objektu používají klasické optické (badatelské) mikroskopy, většinou kvůli nevhodné konstrukci, případně větší hmotnosti a nedostatečné hloubce ostrosti. Mohou se ale využít na objektech vhodné velikosti, které lze transportovat k mikroskopu a umístit pod objektiv. K pozorování a dokumentaci ve větším zvětšení bývá účelné využití digitálního fotoaparátu s makroobjektivem.³⁷ V některých případech se průzkum může provádět nejen v bílém světle, ale také v UV fluorescenci nebo při použití jiných zobrazovacích technik. K průzkumu nesnadno dostupných a skrytých míst nejen v mikroměřítku mohou dále dobře posloužit různé endoskopické metody.



Obr. 16 Mikroskopické snímky poškozené a znečištěné lakové vrstvy na bílé povrchové úpravě s defekty, malba je zhotovena na železné podložce: a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence, c/ fluorescence generovaná modrým světlem. Mikrosnímky byly pořízeny při zvětšení mikroskopu 50 $\times$.

Mobilita i použití stereoskopických mikroskopů se řeší adjustací přístrojů na pohyblivá ramena a stojany. Výhodou pokročilých digitálních mikroskopů oproti stereoskopickým, případně klasickým optickým mikroskopům, jsou nízká hmotnost a téměř neomezená manipulovatelnost objektivu díky vláknové optice. Tyto mikroskopy dosahují vynikající hloubky ostrosti i při velkém zvětšení. Pokročilé digitální mikroskopy tedy umožňují snadno zkoumat reliéf členitých částí, defekty nebo méně dostupná i skrytá místa předmětů také *in situ*.³⁸ Cenová náročnost pokročilých digitálních mikroskopů je poměrně vysoká, což je hlavním důvodem jejich nepříliš rozšířeného využití. Běžné USB mikroskopy většinou neposkytují tak vysokou kvalitu pozorování, záznamu, případně zvětšení jako stereoskopické, optické nebo pokročilé digitál-

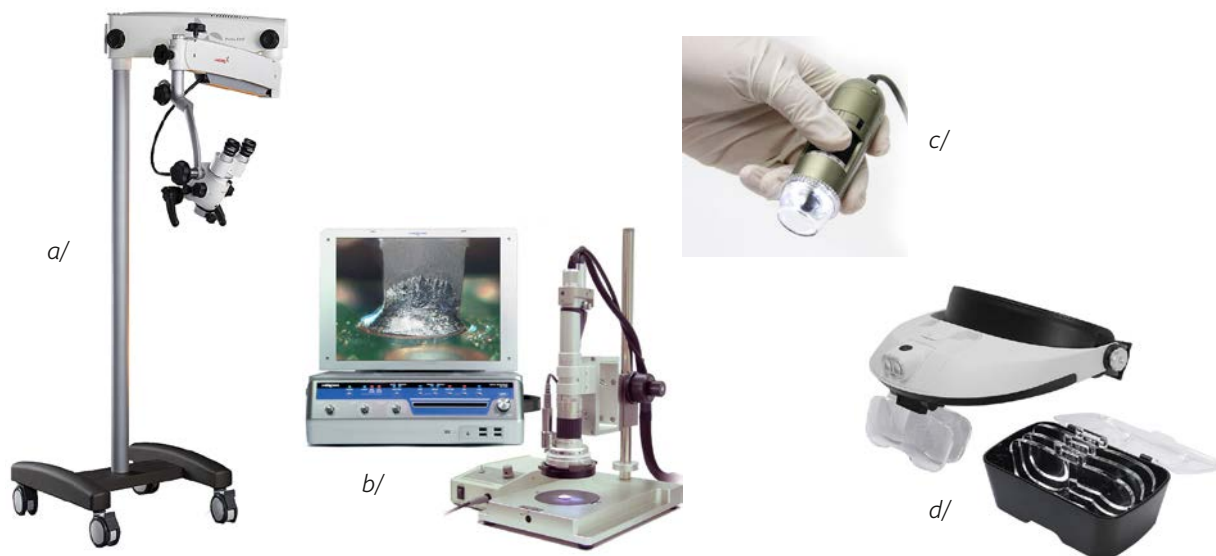
35 VERRI, SAUNDERS, 2014.

36 Využívají se hlavové, stojanové nebo ruční lupy. Zvětšení lup je asi 1,2–3,5 $\times$, zvětšení stereoskopických mikroskopů se pohybuje v přibližném rozmezí 5–65 $\times$, klasické optické mikroskopy disponují zvětšením v běžném rozmezí 20–1000 $\times$. Zvětšení digitálních mikroskopů může být různé a vzhledem k nutnosti pozorování na obrazovce relativní.

37 COSENTINO, 2013.

38 TAMBURINI, DRYER, 2019.

ní mikroskopy. V běžné restaurátorské-konzervátorské praxi však nacházejí značné uplatnění. Jejich použití je velmi praktické zejména kvůli nízké hmotnosti, malé velikosti a cenové dostupnosti.



Obr. 17 Příklady vybavení k průzkumu ve větším zvětšení: a/ stereomikroskop na mobilním ramenu, b/ pokročilý digitální mikroskop, c/ běžný digitální (USB) mikroskop, d/ hlavová lupa.³⁹

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy materiálů i předmětů.

2.1.3 Ultrafialová fluorescenční (UVF) fotografie (Ultraviolet Fluorescence Photography, Ultraviolet Luminescence (UVL) Photography)

Metoda ultrafialové fluorescenční⁴⁰ fotografie nachází významné uplatnění při průzkumu a dokumentaci druhově rozmanitých předmětů kulturního dědictví.⁴¹ Průzkum UV fluorescence⁴² poskytuje informace, které nejsou v normálním světle viditelné, a tak značně rozšiřuje poznatky z vizuálního průzkumu. Podstata metody spočívá v pozorování, studiu a dokumentaci viditelné fluorescence, která vzniká při expozici předmětu dlouhovlnnému ultrafialovému (UVA) záření. Průzkum je založen na skutečnosti, že se materiály tvořící zkoumané dílo projevují rozdílnou intenzitou, barevností a odstínem vzniklé UV fluorescence.

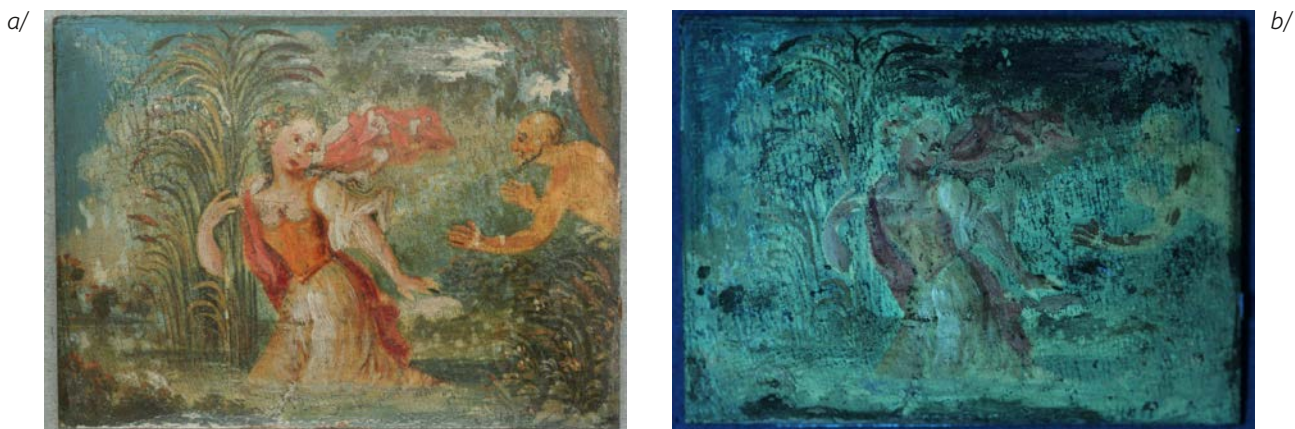
Na základě průzkumu UV fluorescence lze potom odlišit různé materiály, části a doplňky studovaných předmětů, například tmely, konzervační látky, ale také projevy poškození, biologické napadení nebo přítomnost solí. Je důležité si uvědomit, že UV záření prakticky nemá schopnost pronikat do hloubky skrze materiály. Průzkumem jsou získávány informace téměř výhradně o povrchu předmětu a vrstev, což usnadňuje lokalizovat a zhodnotit povrchové laky, lazury nebo rozlišit starší povrchové úpravy, polychromie a malby od druhotných lokálních zásahů zahrnujících také přemalby nebo retuše.

39 a/ New York Microscope Company [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.microscopeinternational.com/product/labomed-prima-ent-surgical-microscope-floor-mounted/>, b/ SMTnet [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: https://smtnet.com/company/index.cfm?fuseaction=view_company&company_id=46634&component=catalog&catalog_id=17413, c/ Dino-lite [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.dino-lite.eu/index.php/en/component/k2/item/39-am4113zt4>, d/ Allegro Archiwum [online], [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/lupa-naglowna-z-2x-led-soczewki-na-glowe-czolowa-i6637710886.html>

40 Místo termínu fluorescence je možné použít nadstavbový pojem luminiscence. Při expozici UV záření totiž v materiálu nastávají dva viditelné luminiscenční jevy, fluorescence a fosforescence. K fosforescenci, která přetrvává i po vypnutí zdroje UV záření, však prakticky nedochází.

41 DYER, VERRI, CUPITT, 2013; SIMPSON GRANT, 2000b; RIVERS, UMNEY, 2000, s. 405–411; LANTERI, AGRESTI, PELOSI, 2019; DAVIES, 2017.

42 Zjednodušeně se používají termíny průzkum UV fluorescence pro průzkum viditelné fluorescence generované (buzené) UV zářením a metoda UV fluorescenční fotografie pro fotografie viditelné fluorescence generované (buzené) UV zářením.



Obr. 18 Snímky miniatury na šperkovnici, olejomalba na dřevěné podložce: a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence. Na základě průzkumu UV fluorescence lze lépe lokalizovat zejména chybějící místa, případně jiná poškození (krakeláž), laky a druhotné zásahy (tmely, retuše, přemalby).⁴³



Obr. 19 Detail štukové výzdoby, a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence. Na UV fluorescenčním snímku je jasně patrná oblast vyznačující se charakteristickou zelenou/zeleno-žlutou UV fluorescencí, poukazující na retuš se zinkovou bělobou.

Průzkum UV fluorescence dále umožňuje úspěšně kontrolovat některé dílčí procesy restaurátorského-konzervátorského zásahu. Touto metodou se běžně monitoruje čištění a selektivní snímání laků, druhotných úprav a jiných vrstev, které se vyznačují odlišnou UV fluorescencí od malby, polychromie či materiálu podkladu.⁴⁴ Sledováním UV fluorescence lze optimalizovat, lokalizovat a kontrolovat také opačný postup, tedy aplikaci laků, lazur, retuší nebo konsolidantů a adheziv. Průzkum UV fluorescence dále slouží k odhalení různých jevů, které mohou při zásahu nastat a které nelze zjistit ve viditelném světle, příkladem může být nežádoucí migrace látek vyplavených čištěním.

Intenzivní UV fluorescencí se vyznačují především přírodní organické látky, zejména barviva a pojiva, jež bývají součástí barevných vrstev, lazur, laků, konsolidantů, adheziv nebo například textilií. UV fluorescence přírodních olejů a pryskyřic se mění a zintenzivňuje s jejich stářím, podobně jako se mění jejich barevnost a opacita. Ve výjimečných případech, na základě dostatečné zkušenosti a určité pravděpodobnosti, je možné jisté materiály díky jejich charakteristické UV fluorescenci identifikovat nebo alespoň orientačně určit. Zřejmě nejznámějším příkladem je zinková běloba, kterou lze často vizuálně rozpoznat díky intenzivní zeleno-žluté UV fluorescenci.⁴⁵

Průzkum a dokumentace UV fluorescence by měly být běžnou součástí restaurátorského-konzervátorského zásahu. UV fluorescenční fotografie se podobně jako fotografie v bílém světle běžně používá k dokumentaci díla před zásahem, případně po něm, nebo pokud je to účelné

43 Snímky byly převzaty z restaurátorské zprávy poskytnuté NPÚ: FRANK, David. Závěrečná restaurátorská zpráva. NPÚ, 29. 9. 2009.

44 DUNKERTON, WHITE, 2000.

45 RIE, 1982; MILIONOVÁ, 2017; EASTAUGH, WALSH, CHAPLIN, SIDDALL, 2014.



Obr. 20 Snímky části malovaného dřevěného rámu: a/ bílé světlo, b/ UV fluorescenční snímek. Na základě průzkumu UV fluorescence lze lépe lokalizovat různé materiály, v tomto případě zejména hřebíky, korozní produkty, pozlacovačské techniky, dále se značně zvýraznily tahy štětcem žluté malby, plastický reliéf zdobného kruhu a defekty, především krakeláž malby.

také v jeho průběhu. Průzkum se až na výjimky provádí ve tmě. Metoda nemusí být finančně náročná, kromě výdaje za běžný fotoaparát, stativ, případně vhodný UV filtr vyžaduje zakoupení patřičného zdroje UVA záření. UV záření je škodlivé lidskému zdraví, může vést například k poškození zraku, případně kůže. Při průzkumu UV fluorescence se proto musí používat ochranné brýle, případně další ochranné pomůcky. Intenzita a doba průzkumu by měla být přizpůsobena citlivosti studovaného objektu k UV záření.⁴⁶ Zcela ojediněle se k průzkumu používají energičtější oblasti UV záření s nižší vlnovou délkou (UVC, UVB), které jsou v porovnání s UVA zářením pro lidské zdraví mnohem škodlivější.

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy předmětů, většina materiálů; intenzivní UV fluorescencí se vyznačují zejména organické přírodní materiály (např. oleje, pryskyřice), charakteristickou UV fluorescencí se z tradičních materiálů například vykazují zinková běloba (zelená/zeleno-žlutá UV fluorescence), některé červené organické pigmenty a barviva (lososová nebo růžová UV fluorescence) nebo nebělený (červený) šelak (oranžová UV fluorescence).

2.1.4 Ultrafialová reflektografie (UVR) (Ultraviolet Reflectography)

Největší uplatnění nalézá metoda ultrafialové reflektografie při průzkumu maleb, polychromií, povrchových úprav nebo například záznamových prostředků. Pomocí ultrafialové reflektografie lze v příznivých případech rozpoznat původní materiály od pozdějších doplňků nebo lokalizovat poškození, například důsledky mikrobiologického napadení. Metodou ultrafialové reflektografie je možné – většinou v kombinaci s dalšími zobrazovacími metodami průzkumu – upřesnit informace o použitých výtvarných materiálech, zejména pigmentech. Příkladem může být plošné rozlišení zinkové a titanové běloby nebo zvýraznění záznamů železato-duběnkovými inkousty.⁴⁷

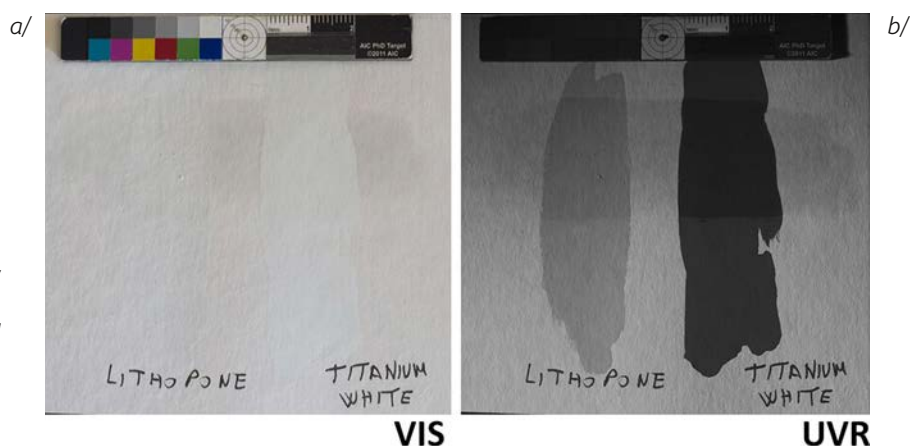
Ultrafialová reflektografie bývá někdy nesprávně zaměňována za metodu UV fluorescenční fotografie. Podobně jako u metody UV fluorescenční fotografie musí být studovaný předmět při průzkumu vystaven UV záření. Avšak při ultrafialové reflektografii se zaznamenává pouze odražené UV záření, které není postřehnutelné okem, nikoliv viditelná fluorescence jako při UV fluorescenční fotografii. Obě metody by se tedy měly řídit stejnými bezpečnostními podmínkami. Kvůli velmi nízké pronikací schopnosti použitého UV záření je možné prakticky zkoumat pouze povrch předmětu. K záznamu odraženého UV záření se používají speciální kamery, případně upravené digitální fotoaparáty s vhodnými filtry. Získaný snímek je jednobarevný, většinou černobílý, základní barva snímku se odvíjí od použité techniky. Materiály, které více pohlcují UV záření, jsou na výsledném záznamu tmavší.⁴⁸

⁴⁶ DYER, VERRI, CUPITT, 2013; COSENTINO, 2015a; SIMPSON GRANT, 2000a. Měly by se použít brýle doporučené dodavatelem/výrobce zdroje UV záření. Brýle mohou být opatřeny filtry zkreslujícími barevnost a odstín, proto je vhodné průzkum i dokumentaci fluorescence generované UVA zářením v minimální míře vizuálně kontrolovat bez ochranných brýlí.

⁴⁷ COSENTINO, 2014; VERRI, SAUNDERS, 2014; JANSSENS, VAN GRIEKEN eds., 2004; DAVIES, 2017.

⁴⁸ COSENTINO, 2015a; COSENTINO, 2015b.

Obr. 21 Vzorky malby s litoponem a titanovou bělobou, a/ bílé světlo, b/ UV reflektografie. Titanová běloba se na rozdíl od litoponu vyznačuje vysokou absorpcí UV záření, proto je na reflektografickém snímku tmavá.⁴⁹



Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: především povrchové úpravy, polychromie, malba, textilie, záznamové prostředky, zdobné techniky.

2.1.5 Infračervená reflektografie (IRR) (Infrared Reflectography)

Infračervená reflektografie nachází nejčastější využití při studiu maleb, povrchových úprav, polychromií a zdobných technik.⁵⁰ Díky schopnosti infračerveného záření pronikat do určité míry vrstvami je možné metodou infračervené reflektografie získat velmi cenné informace například o skrytých přípravných nebo starších vrstvách malby a především o podkresbách. Na základě průzkumu infračervenou reflektografií lze v optimálních případech rozpoznat techniku a materiál podkresby nebo rozdíly mezi prvotním rozvržením podkresby a výslednou malbou (pentimenti).

Touto metodou bývá dále možné v optimálních případech zjistit rozsah a charakter poškození původní malby pod druhotnými vrstvami, například retušemi, přemalbami, ale také korozními vrstvami či nánosy nečistot⁵¹ nebo lokalizovat, případně identifikovat určité pigmenty a jiné výtvarné materiály. Specifickou oblastí využití infračervené reflektografie je odlišení nebo zviditelnění některých záznamových prostředků, které byly v minulosti odstraněny nebo vybledly.⁵²



Obr. 22 Malba na keramice v bílém světle a IR reflektografický snímek.⁵³ Infračervená reflektografie nachází nejčastější využití při průzkumech závěsných a nástěnných maleb zejména za účelem vizualizace podkreseb. Stále více se však uplatňuje také při průzkumu dalších uměleckých či umělecko-řemeslných předmětů nejen při jejich dokumentaci, ale také například kvůli zvýraznění maleb, zdobných technik, přípravných vrstev a druhotných zásahů nebo poškození apod.

⁴⁹ COSENTINO, 2014.

⁵⁰ LANTERI, AGRESTI, PELOSI, 2019; WEB et al., 2018; BONIZZONI et al., 2014; COSENTINO, 2014.

⁵¹ STONER, RUSHFIELD, 2012.

⁵² JANSSENS, VAN GRIEKEN eds., 2004; COSENTINO, 2015c.

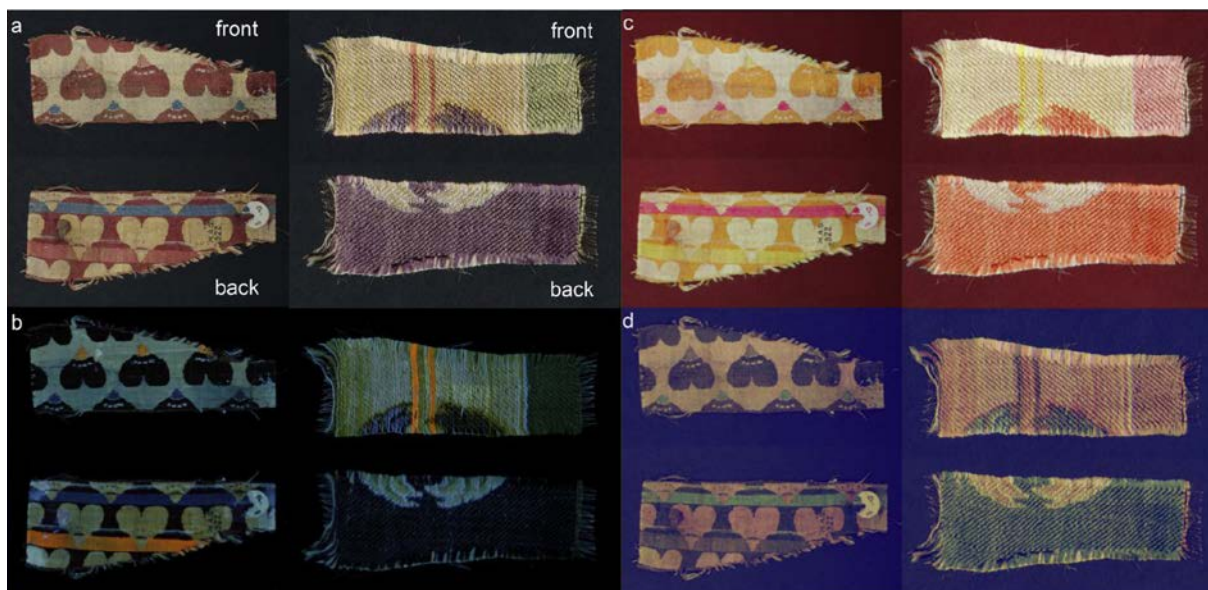
⁵³ WEBB, 2015.

Při průzkumu je studovaný předmět exponován infračervenému záření z blízké a střední oblasti spektra, zároveň je odražené infračervené záření zaznamenáváno speciální kamerou nebo upraveným digitálním fotoaparátem opatřeným vhodnými filtry.⁵⁴ Výsledkem je monochromatický digitální záznam, na kterém světlejší části odpovídají místům s vyšší odrazivostí infračerveného záření. Záznam upravených digitálních fotoaparátů bývá v červených odstínech (CMOS, CCD senzory), záznam monochromatických kamer bývá v šedé tonalitě. Zdrojem záření je infračervený zářič, případně se využívají zdroje bílého světla, které současně emitují větší množství infračerveného záření. V dnešní době jsou již dobře dostupná pokročilá zařízení zahrnující velkoplošná skenovací zařízení poskytující vysoká rozlišení a citlivost i širokou tonální škálu obrazu a multispektrální techniky.⁵⁵

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: především povrchové úpravy, polychromie, malba, textilie, zdobné techniky, záznamové prostředky.

2.1.6 Ultrafialová a infračervená reflektografie ve falešných barvách (UVR-FC, IRR-FC) (Ultraviolet-Reflected False-Color, Infrared-Reflected False-Color)

Podstatou zobrazování ve falešných barvách je barevné zvýraznění a zviditelnění rozdílů na monochromatických záznamech (snímcích) získaných metodami ultrafialové a infračervené reflektografie. Na snímcích ve falešných barvách lze mnohem lépe rozeznat oblasti na základě jejich materiálové podstaty, například podle použitých pigmentů. Tímto způsobem je v určitých případech například možné od sebe rozlišit některé pigmenty stejné barevnosti i odstínu.



Obr. 23 Výstupy vybraných zobrazovacích metod aplikovaných na fragmentech textilií z lící i rubové strany: a/ viditelné světlo (VIS), b/ ultrafialová fluorescence (UVF), c/ infračervená reflektografie ve falešných barvách (IRR-FC) a d/ultrafialová reflektografie ve falešných barvách (UVR-FC).⁵⁶

Tyto metody mohou dále sloužit jako podklad pro cílený odběr vzorků. Snímky ve falešných barvách se získávají postupem, kdy je pomocí grafického programu kombinována fotografie z metod infračervené nebo ultrafialové reflektografie s vhodně upraveným digitálním barevným snímkem. Běžný postup je takový, že se digitální barevný snímek grafickým programem nejprve rozloží do trichromatického RGB systému barev, tedy do jednotlivých barevných kanálů

54 Úprava fotoaparátu spočívá v odstranění IR/UV filtru, případně jiných filtrů umístěných před senzorem. Takovou modifikaci provádějí specializovaná pracoviště. DAVIES, 2017; DYER, VERRI, CUPITT, 2013; GARGANO, 2019; MAC DONALD, 2017.

55 CHLUMSKÁ et al., 2017; DAFFARA, FONTANA, 2011.

56 TAMBURINI, DRYER, 2019.

červená–zelená–modrá (Red–Green–Blue, RGB). Do vybraného barevného kanálu se vloží ultrafialový (modrý kanál) nebo infračervený (červený kanál) snímek a ostatní kanály se posunou.⁵⁷

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: obdobné jako u metod infračervené a ultrafialové reflektografie, především povrchové úpravy, polychromie, malba, textilie, zdobné techniky, záznamové prostředky.

2.1.7 Rentgenové radiografické metody: rentgenografie a výpočetní tomografie (XRR, CT) (X-ray Radiography: Rentgenography, Computed Tomography)

Rentgenové radiografické metody nacházejí při průzkumu památek značné a velmi široké uplatnění. K průzkumu se využívá rentgenové záření, které dokáže prostupovat většinou materiálů. Díky této skutečnosti jsou rentgenové radiografické metody předurčeny k zobrazování vnitřní struktury předmětů, jejich vizuálně skrytých částí a vrstev, ale také vrstev maleb, polychromií a povrchových úprav, které nejsou pohledově uplatněny. Rentgenové radiografické techniky umožňují odhalit vnitřní konstrukce, spojovací a výztužné prvky, doplňky, dutiny a defekty. Průzkumem těmito metodami se zjišťuje zejména stav, způsob a rozsah poškození vnitřní hmoty materiálů, ze kterých jsou studované předměty zhotoveny, nebo skrytých vrstev.

Možnosti zobrazení a jeho kvalita závisí kromě intenzity zdroje rentgenového záření a typu metody především na velikosti a tloušťce předmětu a na hustotě i složení zkoumaných materiálů, respektive atomové hmotnosti přítomných prvků. Propustnost rentgenového záření klesá s vyšší hustotou a tloušťkou materiálu a vzrůstající atomovou hmotností dané části.⁵⁸ Výsledné zobrazení bývá v šedé tonalitě. Světlost záznamu odpovídá množství absorbovaného rentgenového záření, proto se méně propustné oblasti objektu zobrazí světlými odstíny a naopak.

Hlavními rentgenografickými metodami průzkumu jsou **(transmisní) rentgenografie a výpočetní (počítačová) rentgenová tomografie**.⁵⁹ Rentgenografií se zaznamenává rentgenové záření prošlé předmětem, tedy transmisí záření, přičemž výsledkem je dvoudimenzionální (2D) obraz. Při zobrazení dochází k redukci třetího rozměru předmětu, jelikož vzniklý obraz je soubornou informací záření prošlého celou jeho tloušťkou, respektive prostorovou projekcí zkoumaného díla. Z uvedených informací vyplývá, že rentgenografie je metoda vhodná především k průzkumu předmětů, u kterých je potlačen třetí rozměr. Nejčastěji to jsou závěsné malby, plošné textilie nebo rozmanité dřevěné objekty, povrchové úpravy, případně polychromie. Rentgenografickým průzkumem lze například získat detailní poznatky o podkresbách, podmalbách, podkladových vrstvách nebo tmelech, dalších výtvarných vrstvách, retuších a jiných druhotných zásazích.⁶⁰ Dále lze touto metodou značně rozšířit informace o základních materiálech předmětů, podložkách maleb nebo také různých podpůrných a spojovacích prvcích a konstrukcích. Rentgenografický obraz se získává v podobě celoplošných snímků, případně jejich skládáním nebo postupným skenováním díla. V současnosti jsou k dispozici přístroje s vysokým prostorovým rozlišením i energetickou citlivostí.⁶¹



Obr. 24 Ukázka průzkumu předmětu rentgenovou výpočetní tomografií.⁶²

57 HAYEM-GHEZ et al., 2015; DYER, VERRI, CUPITT, 2013; GARGANO, 2019; SALERNO, 2014.

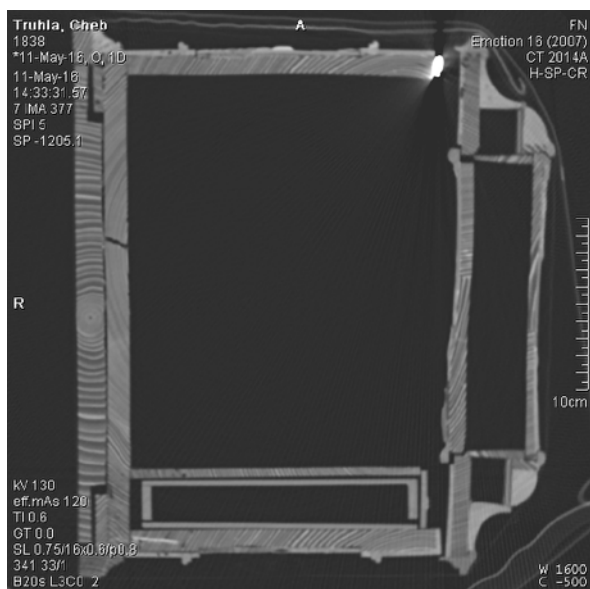
58 Je tedy silně pohlcováno těžkými prvky (Pb, Hg), a naopak propouštěno organickými látkami.

59 V textu může být využito zkrácených názvů radiografie pro transmisní rentgenovou radiografii nebo tomografie pro rentgenovou (výpočetní, počítačovou) tomografii. RE, 2014.

60 CHLUMSKÁ et al., 2017.

61 HRADILOVÁ, HRADIL, 2015.

62 Autor snímku: Z. Holý.



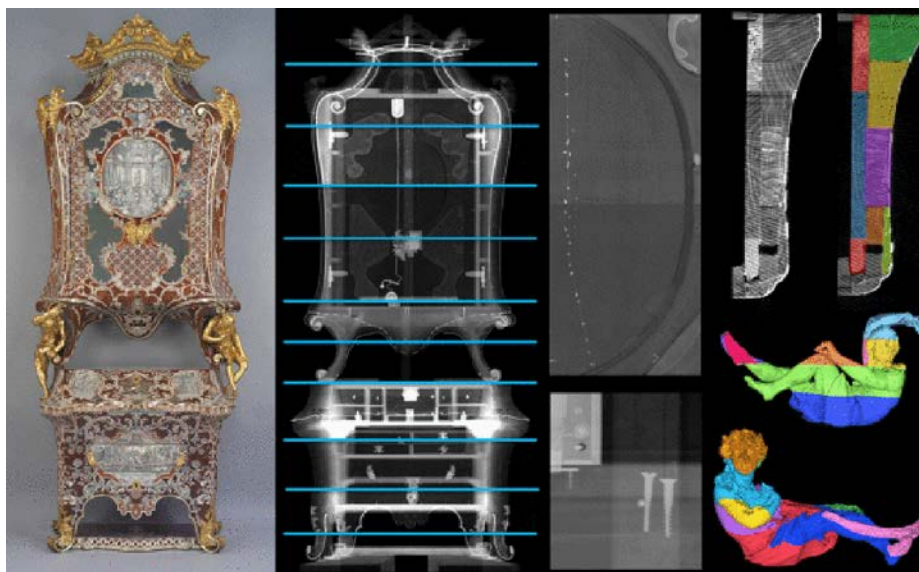
Obr. 25 Tomografický snímek řezu předmětem. Na obrázku jsou zviditelněny nejenom skryté součásti předmětu a jeho vnitřní konstrukce, ale také letokruhy a defekty dřeva.

Rentgenografie v transmisním uspořádání se při studiu objemnějších předmětů může vyznačovat určitými nevýhodami. Jsou jimi zejména nutnost použití silného zdroje záření a výsledné dvojrozměrné souborné zobrazení. Při průzkumu tohoto typu předmětů, například nábytku, sochařských děl, hudebních nástrojů nebo různých archeologických artefaktů, potom nalézá uplatnění spíše výpočetní tomografie. Tato metoda poskytuje trojdimenzionální (3D) obraz předmětu, jeho vnitřní struktury a obsahu. Získaná tomografická 3D projekce je výsledkem složení mnoha rovnoběžných virtuálních tenkých řezů

předmětem (stovek projekcí) pomocí výpočetní techniky. Výsledná data mohou být kromě běžného zobrazování cenným podkladem k vizualizaci předmětu a tvorbě kopií nebo například k dendrochronologické dataci. Nevýhodou počítačové tomografie může být v jistých situacích nedostatečná rozlišovací schopnost v porovnání s transmisní radiografií. Při průzkumu malých předmětů může být tento nedostatek vyřešen využitím počítačové mikrotomografie.

Rentgenografické metody byly převzaty z medicíny, i proto jsou k průzkumu transportovatelných předmětů běžně využívány lékařské rentgeny a tomografy v nemocnicích. Tyto přístroje však nemusejí poskytovat uspokojivé výsledky v každé situaci. V dnešní době již bývá kvalitní rentgenografická přístrojová technika různého uspořádání součástí nejen zahraničních, ale také některých tuzemských specializovaných pracovišť.⁶³ K neinvazivnímu průzkumu *in situ* se využívají přenosné rentgeny.

Rentgenové záření je zásadním způsobem škodlivé lidskému zdraví. Proto je nezbytné průzkumy realizovat ve speciálních místnostech, zařízeních nebo boxech a při dodržení adekvátních bezpečnostních podmínek, zejména v případech použití transportovatelných rentgenů.



Obr. 26 Výsledky průzkumu dřevěného psacího kabinetu metodou rentgenové výpočetní tomografie s následným barevným zvýrazněním použitých dřevěných bloků.⁶⁴

63 HRADILOVÁ, HRADIL, TRMALOVÁ, ŽEMLIČKA, 2015.

64 RE, 2014.

Rentgenovými radiografickými metodami může být obtížné zobrazit malby, polychromie a povrchové úpravy na přípravných vrstvách vyznačujících se vysokou absorpcí rentgenového záření. Takovéto vrstvy většinou obsahují převážně těžké prvky. Ze stejného důvodu není prakticky možné studovat malby a povrchové úpravy na kovových podložkách. Nastíněnou problematiku lze řešit použitím metody **elektronové-emisní radiografie** (Electron-Emission Radiography). Detektor zaznamenávající emisi záření musí být v tomto případě umístěn před zkoumaným předmětem, respektive malbou, zároveň tedy na straně zdroje vysokoenergetického rentgenového záření.⁶⁵

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy materiálů i předmětů až na některé výjimky, metoda například není vhodná pro malby na kovové podložce.

2.1.8 3D skenování (3D Scanning)

3D skenování nalézá široké uplatnění při dokumentaci předmětů kulturního dědictví a jejich vizualizacích. Metoda 3D skenování se uplatňuje u objektů velmi rozdílných velikostí, počínajících rozměrnými soubory staveb až po skenování malých částí předmětů nebo jejich úprav v mikroměřítku. Využívá se při digitálním domodelování chybějících částí, monitoringu stavu předmětu nebo například změn vniklých při procesu restaurování-konzervování.

Obr. 27 Vznik doplňku části historické židle s pomocí 3D skenování a 3D tisku. Nejprve byl vytvořen 3D tiskem model chybějící části podle 3D modelu dochovaného prvku, následně byl podle modelu získaného 3D tiskem dotvořen doplněk židle.⁶⁶



3D modely jsou cenným podkladem pro tvorbu kopií. V této souvislosti je novým rozměrem možnost tisku získaného digitálního modelu 3D tiskárnami. K 3D dokumentaci a průzkumu objektů kulturního dědictví lze využít několik typů zařízení s různou přesností, rychlostí dosahem i oblastí využití. Existuje celá řada 3D skenerů a technologií, přičemž pro jejich výběr je zásadní zejména velikost zkoumaného objektu a požadované rozlišení, respektive přesnost záznamu. V dnešní době se již běžně používá 3D optické skenování využívající laser nebo bílé světlo. Výsledkem 3D skenování je podobně jako u jiných 3D technologií trojdimenzionální soubor dat, ze kterých je možné digitálně získat trojdimenzionální model předmětu nebo jeho částí. Při využití těchto 3D technologií může být problematická jejich případná časová náročnost nebo ukládání a zpracování velkého množství dat.⁶⁷

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy materiálů i předmětů.

65 STONER, RUSHFIELD, 2012; SCHALM et al., 2011.

66 Victoria and Albert Museum, London [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.vam.ac.uk/articles/conservation-of-marie-antoinettes-chair>. Autor fotografie: Zoe Allen.

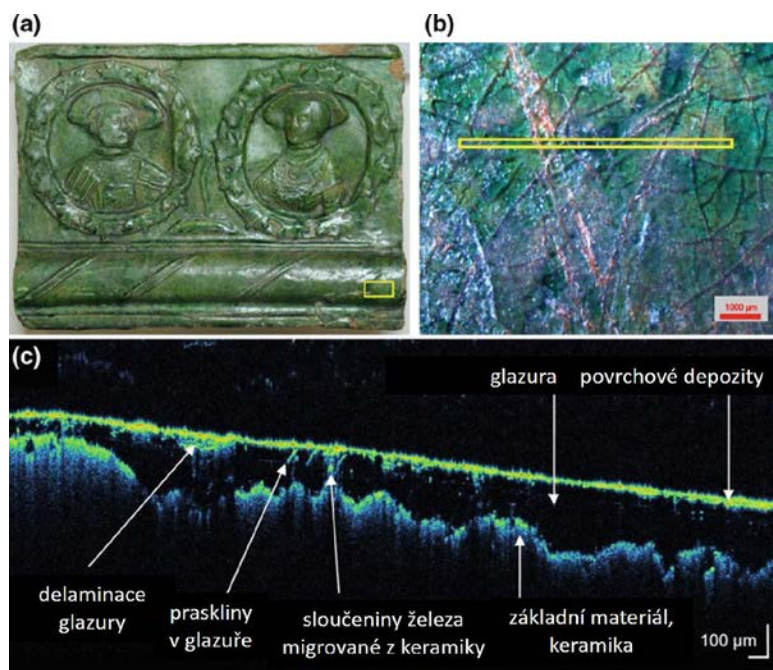
67 BREJCHA, 2015; GUIDI, ATZENI, SERACINI, LAZZARI, 2004; NEJEDLÝ, GLÁSER, 2017; ENGEL, 2011.

2.1.9 Méně využívané zobrazovací metody

V rámci neinvazivního průzkumu a při dokumentaci předmětů kulturního dědictví nacházejí uplatnění další zobrazovací metody využívající fluorescence. V praxi se nejčastěji používají metody zobrazování a záznamu **viditelné fluorescence buzené viditelným světlem** (Visible-Induced Visible Fluorescence/Luminescence, VIVL) nebo **infračervené fluorescence taktéž generované viditelným světlem** (Visible-Induced Infrared Fluorescence/Luminescence, VIL). Na základě průzkumů těmito metodami je možné například upřesnit informace o lokalizaci rozdílných materiálů a druhotných vrstev nebo o použitých pigmentech a pojivech v povrchových úpravách, polychromiích a malbách. Podle typu metody se k zobrazování nejčastěji používají digitální fotoaparáty, upravené digitální fotoaparáty a infračervené kamery.⁶⁸

V posledních několika letech došlo ke značnému vývoji metod **multispektrálního** (Multispectral Imaging) a zejména **hyperspektrálního zobrazování** (Hyperspectral Imaging). Od tradičních širokopásmových zobrazovacích technik (viz 1.3.1.) se tyto metody liší možností získat mnoho, až stovky záznamů (obrazů, snímků) předmětu úzké spektrální šířky. Kromě zobrazování mohou získané soubory dat poskytnout analytickou informaci, ze které lze v různé míře interpretovat materiálové složení vybraného místa nebo porovnat a vizualizovat plochy na základě jejich složení. K multispektrálnímu a hyperspektrálnímu zobrazování se využívají přístroje a různé příslušenství podle spektrální oblasti zájmu a dalších technických parametrů. Nejjednodušší a nejlépe dostupnou technikou multispektrálního zobrazování v ultrafialové (UV), viditelné (VIS) a blízké infračervené oblasti (NIR) jsou upravené digitální fotoaparáty použité s vhodnými filtry. Při pokročilejším hyperspektrálním zobrazování v oblastech UV, VIS, IR záření se využívají hyperspektrální i jiné kamery a jejich různé kombinace.⁶⁹

Další relativně novou a perspektivní metodou je **optická koherentní tomografie** (Optical Coherence Tomography, OCT). Pomocí této metody lze vizualizovat stratigrafie vrstev, tedy hloubkové profily malby, polychromie, povrchových úprav nebo jiných relativně tenkých vrstev s rozlišením 1 až 10 μm . Je tedy možné získat určitou představu o počtu vrstev, jejich charakteru, tloušťce, rozsahu i poškození. Touto metodou se zkoumají plochy rámcové velikosti v řádu čtverečních centimetrů. Průzkum je založen na interakci koherentního polychromatického záření v blízké infračervené oblasti s vrstvami.⁷⁰ Tato metoda není běžně dostupná, přestože může poskytnout informace, které prakticky nelze v dnešní době získat jiným způsobem.



Obr. 28 Výstup optické koherentní tomografie OCT – vizualizace vrstev glazury, nečistot a dalších fenoménů; a/ dokumentace části kachle, b/ detail zkoumané části, c/ výsledek průzkumu OCT.⁷¹

68 DYER, VERRI, CUPITT, 2013; DRYER, TAMBURINI, O'CONNELL, HARRISON, 2018; DAVERI, 2016.

69 LIANG, 2012; MAC DONALD et al., 2017; POTTIER et al., 2019; POLAK, 2017.

70 HRADILOVÁ, HRADIL, 2015; ELIAS, MAS, COTTE, 2014; SPRING, 2008; IWANICKA, SYLWESTRZAK, TARGOWSKI, 2018.

71 IWANICKA, 2018.

Existují mnohé další zobrazovací metody průzkumu, které poskytují velmi důležité poznatky o zkoumaných předmětech. Některé z nich nejsou z různých důvodů v praxi rozšířené například proto, že jsou nedostupné nebo jsou příliš drahé, nacházejí se ve fázi výzkumu a vývoje nebo mají velmi specializované či relativně omezené využití. Za všechny lze jmenovat například **tera-hertzové zobrazování** (Terahertz Imaging) a **tomografii** (Terahertz Tomography)⁷², **ultrazvukové zobrazování** (Ultrasound Imaging) nebo metody založené na **termografii** (Termography).⁷³

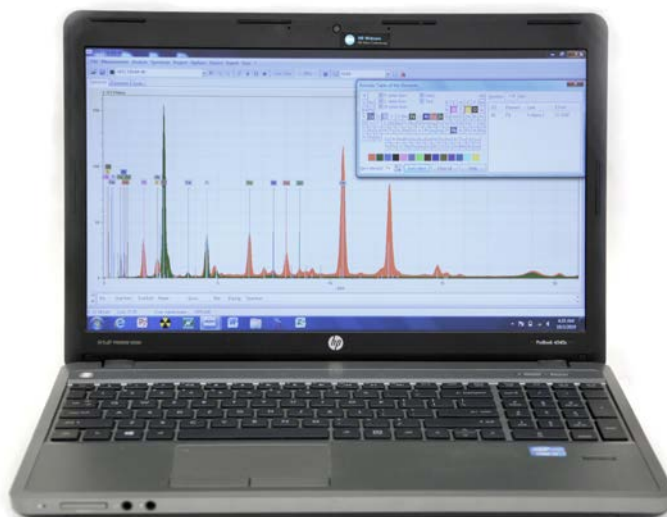
2.2 Neinvazivní analytické metody

2.2.1 Ruční rentgen-fluorescenční spektrometrie (pXRF, pRFA) (Portable/Hand-Held X-ray Fluorescence Spectrometry)

Ruční rentgen-fluorescenční spektrometrie je univerzální metoda, která může snadno a rychle poskytnout informace o prvkovém složení měřeného místa. V optimálních případech je možné s různou přesností stanovit také množství zjištěných prvků. Materiálová podstata zájmových částí se odvozuje nejen z prvkového zastoupení, ale také na základě vizuálního posouzení. Rentgen-fluorescenční analýzou lze určit anorganické materiály včetně kovů. Metoda je vhodná k průzkumu veškerých typů předmětů kulturního dědictví. Při průzkumu povrchových úprav, polychromií a maleb se metoda využívá především k rámcové identifikaci pigmentů a plniv.



Obr. 29 Měření ručním rentgen-fluorescenčním spektrometrem, přístroj je připevněn na stativu.⁷⁴



Obr. 30 Příklad výsledných spekter získaných metodou ruční rentgen-fluorescenční analýzy.

Na základě prvkového složení lze porovnávat různé části díla mezi sebou a tak odhalit doplňky, přemalby, retuše a tmely nebo rozkrýt podstatu pozlacovačských technik, příčiny poškození apod. Ruční rentgen-fluorescenční analýza nachází využití také při vytipování vhodných míst odběru vzorků i minimalizaci jejich počtu. Obecně bývá základní metodou a podkladem pro další průzkumy neinvazivními a invazivními metodami. Na základě průzkumu odebraných vzorků bývají výsledky rentgen-fluorescenční analýzy zpětně značně upřesněny. Kompilací získaných informací potom dochází ke zkvalitnění a zpřesnění celkové informace o zkoumaném předmětu. Určitou nevýhodou metody může být skutečnost, že měření neprobíhá pouze na povrchu, ale k analýze dochází do určité hloubky, tedy skrze svrchní vrstvy.⁷⁵ Běžným měřením tedy nelze bez dalších informací rozlišit, z jaké vrstvy nebo hloubky pocházejí detekované prvky ani určit stratigrafii vrstev.

⁷² COSENTINO, 2016; ZHANG, 2017; DANDOLO, 2013; PICOLLO, FUKUNAGA, LABAUNE, 2015.

⁷³ AMBROSINI et al., 2010; ALFELD, BROEKAERT, 2013; HRADILOVÁ, HRADIL, 2015; PALOMAR, AGUA, GOMES-HERAS, 2018; DONI, 2014; SFARRA, 2015; MERCURI, 2018.

⁷⁴ Deskgram [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: https://deskgram.net/p/2004033757773927378_3002192779

⁷⁵ Hloubka analýzy závisí zejména na hustotě a chemickém složení. Zjednodušeně lze uvést, že se v případě povrchových úprav, maleb apod. většinou pohybuje v přibližném rozpětí desetin milimetru až milimetru, případně několika milimetrů.

Rentgen-fluorescenční analýzu je možné provádět dotykovým i bezdotykovým způsobem. Běžná velikost měřeného místa (bodu) je přibližně $3 \times 3 \text{ mm}^2$, může být i menší. Přes poměrně vysokou cenu přístrojů bývá kvůli všestrannému a snadnému využití, neinvazivnosti i možné bezdotykovosti tato metoda celkem dostupná na pracovištích specializovaných v daném oboru. Ruční rentgen-fluorescenční spektrometry jsou sériově vyráběné přístroje o hmotnosti přibližně 1,5 kg. Principem metody je ozáření místa zájmu rentgenovým zářením a detekce vzniklého charakteristického záření emitovaného prvky přítomnými na povrchu a v podpovrchových vrstvách najednou⁷⁶. Výstupem měření je spektrum se všemi charakteristickými energetickými pásy jednotlivých prvků, které se vyhodnocuje bez potřeby databází. Měření je rychlé, zpravidla trvá desítky sekund až jednotky minut. Jelikož je rentgenové záření zdraví škodlivé, musí se při měření dodržovat určitá bezpečnostní opatření.

Metoda rentgen-fluorescenční analýzy se neustále rozvíjí. V současnosti je možné realizovat mikroanalýzy s prostorovým rozlišením až několika mikrometrů nebo provádět prvkové mapování velkých ploch pomocí různých skenovacích systémů (makro-XRF/MA-FRF). Další inovací je hloubkové profilování pomocí **konfokální rentgen-fluorescenční analýzy**, která již umožňuje získat informace o hloubkovém rozložení prvků, tedy ve vrstvách. Uvedené specializované postupy rentgen-fluorescenční analýzy však prozatím stále nejsou v praxi běžně dostupné.⁷⁷

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: anorganické materiály, všechny druhy předmětů.

2.2.2 Přenosná infračervená (pFTIR) a Ramanova spektroskopie (pRS) (Portable Infrared Spectroscopy, Portable Raman Spectroscopy)

Infračervená i Ramanova spektroskopie umožňují analýzu organických a anorganických materiálů. Z obecného hlediska jsou tyto komplementární metody molekulové analýzy vhodné k průzkumu všech typů předmětů kulturního dědictví a jejich povrchových úprav, polychromií nebo maleb. Praktickým těžištěm infračervené spektroskopie je analýza organických látek. V rámci neinvazivního průzkumu tato metoda poskytuje orientační identifikaci polymerních pojiv, vybraných pigmentů, plniv a barviv. Ramanova spektroskopie se uplatňuje při studiu výtvarných materiálů, především pigmentů, plniv a organických barviv, dále potom například při analýze minerálů, skleněných, kovových a dalších předmětů. Při průzkumech památek bývá zpravidla nutné k těmto metodám použít další neinvazivní a invazivní doplňkové techniky.⁷⁸

V současné době jsou komerčně dostupné snadno přenosné přístroje konstruované jako ruční kompaktní spektrometry anebo menší přenosné spektrometry s vláknovou optikou. Podobně jako ostatní přenosná přístrojová technika však většinou nedisponují některými výhodami, například optimálními podmínkami měření, vysokým rozlišením a možnostmi nastavení jako robustnější laboratorní přístroje. Laboratorní techniku lze využít při neinvazivním průzkumu *ex situ*, málokdy je možné přístroje transportovat k měření *in situ*. Transport větších laboratorních přístrojů bývá problematický, někdy prakticky téměř nemožný. Metody infračervené a Ramanovy spektroskopie lze použít ve skenovacím uspořádání.⁷⁹

Využití neinvazivních přenosných metod infračervené a Ramanovy spektroskopie u nás není rozšířeno, přestože mohou v závislosti na dané situaci poskytovat velmi přínosné i všestranné informace o materiálovém složení. Základní principy a bližší oblasti jejich využití jsou podrobněji popsány v části invazivního průzkumu, kde nacházejí stěžejní uplatnění při materiálové analýze odebraných vzorků laboratorními spektrometry a mikrospektrometry (viz 4.2.1., 4.2.2.).

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: především povrchové úpravy, polychromie, malba, textilie, další zdobné techniky, infračervená spektroskopie je vhodná zejména pro organické materiály, Ramanova spektrometrie je vhodná pro anorganické a některé organické látky, například organické pigmenty nebo barviva.

76 Existuje určité omezení detekčního rozsahu, teoreticky mohou být analyzovány prvky od beryllia nebo hliníku po uran.

77 CHLUMSKÁ et al., 2017; SCIUTTO et al., 2018.

78 ČERMÁKOVÁ, KOSAŘOVÁ, 2015, s. 4; MAZZEO et al., 2016, s. 60–61, 68; VANDENABEELE, EDWARDS, JEHLIČKA, 2016.

79 LAUWERS et al., 2014; ADRIAENS, 2005; BERSANI et al., 2016; MAZZEO et al., 2016, s. 44–45, 47.

2.2.3 UV-VIS-NIR reflexní a fluorescenční spektroskopie (UV-VIS-NIR Reflectance Spectroscopy, Fluorescence Spectroscopy)

Metody molekulové analýzy UV-VIS-NIR reflexní a fluorescenční spektroskopie se při neinvazivním průzkumu využívají zejména k relativnímu vzájemnému porovnání měřených míst a v optimálních případech také k identifikaci pigmentů, barviv, záznamových prostředků, případně organických pojiv. Stěžejní uplatnění nacházejí při studiu povrchových úprav, polychromií, maleb, rukopisů nebo textilií.⁸⁰

Tyto metody lze spíše považovat za doplňkové. Měření se většinou realizuje v různých kombinacích ultrafialové (UV), viditelné (VIS), případně blízké (NIR) infračervené oblasti elektromagnetického spektra. Při průzkumech *in situ* se často používají přenosné spektrometry s vláknovou optikou (Fiber Optic Reflectance Spectroscopy, FORS). Měření uvedenými metodami bývá dále využíváno k ověření nebo doplnění výsledků získaných multispektrálním a hyperspektrálním zobrazováním. Z reflexních měření lze získat kolorimetrická data, tedy objektivně a přesně vyhodnotit například barevnost, ale také jas nebo lesk apod. V odborné literatuře se uvádí možnost využití také tzv. časově rozlišené fluorescenční spektroskopie (Timed-Resolved Fluorescence Spectroscopy) při průzkumu předmětů kulturního dědictví.⁸¹



Obr. 31 Měření barevnosti ručním UV-VIS spektrofotometrem (kolorimetrem) na tapiserii.⁸²

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy materiálů i předmětů, metoda je spíše doplňková, vyhodnocení optických vlastností.

2.2.4 Méně využívané analytické neinvazivní metody

Neinvazivním způsobem je již možné využít metodu **rentgenové difrakce** (Portable X-ray Diffraction, pXRD). V praxi se tato metoda při neinvazivním průzkumu prozatím využívá zcela minimálně (viz 4.2.3.).⁸³

V odborné literatuře jsou dále publikovány příklady využití metody **protony indukované rentgenové emise** (Particle Induced X-Ray Emission Spectroscopy, PIXE) při neinvazivních průzkumech. Zjednodušeně lze nastínit, že se tato metoda prvkové analýzy vyznačuje vyšší citlivostí a může být například zajímavější pro detekci lehčích prvků nebo prvků ve stopových množstvích v porovnání s velmi rozšířenou rentgen-fluorescenční spektroskopií. K průzkumu na objektech bývá protony indukovaná rentgenová emise využita také s hloubkovým profilováním a ve skenovacím uspořádání. Metoda se neinvazivním způsobem využívá ojediněle v zahraničí k řešení specifických problematik.⁸⁴

80 MAZZEO ed., 2016, s. 45–46; SMITH, THOMPSON, LENNARD, 2017, s. 260.

81 MOUNIER et al., 2014; ROMANI, CLEMENTI, MILIANI, FAVARO, 2010; ZAFFINO et al., 2017; DRYER, TAMBURINI, O'CONNELL, HARRISON, 2018; COMELLI et al., 2011; TAMBURINI, DRYER, 2019; FERRI et al., 2018.

82 Icon - The Institute of Conservation [online], 2019, [cit. 6. 10. 2019]. Dostupné z: <https://icon.org.uk/events/colour-science-and-colour-measurement-for-conservators-and-conservation-scientists>

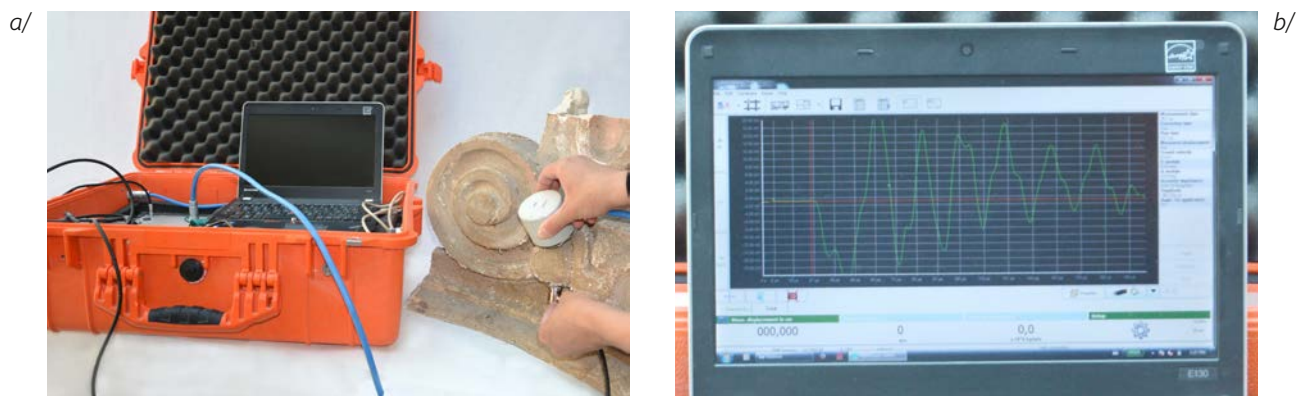
83 NAKAI, ABE, 2011; HIRAYAMA, 2018; CHIARI, SARRATIN, HEGINBOTHAM, 2016.

84 CALLIGARO, GONZALEZ, PICHON, 2015.

2.3 Neinvazivní diagnostické a další metody

V praxi se využívají metody založené na využití ultrazvuku, především měření rychlosti ultrazvukové transmise, dále potom metody akustické detekce a detekce kovů. Neinvazivním způsobem lze dále stanovit vlhkost materiálů pomocí ručních přístrojů.

Rychlosti transmise ultrazvukového signálu, zjednodušeně metoda **ultrazvukové transmise** (Ultrasound Transmission), nalézá široké uplatnění při posouzení stavu, vnitřní integrity, pevnosti nebo při detekci skrytých defektů různých materiálů, zpravidla dřeva, hornin a zatvrdlých malt. Tato metoda dále umožňuje vyhodnotit některé dílčí úkony restaurátorského zásahu, například konsolidaci. Princip metody spočívá v měření rychlosti přechodu ultrazvukového signálu zkoumaným materiálem. Pro daný materiál a jeho stav je charakteristická nejenom rychlost ultrazvukového signálu, ale také jeho tvar a intenzita. K měření se běžně používají přenosné přístroje opatřené dvěma sondami. V případě, kdy je použita celá řada sond, je předmět mapován tzv. ultrazvukovou tomografií.⁸⁵



Obr. 32 Ukázka měření ultrazvukové transmise, a/ měření na štukovém prvku, b/ výsledný graf.



Obr. 33 Ukázky přenosných detektorů kovů.

Metody **akustické detekce** podobně jako ultrazvuková transmise rozšiřují poznání o stavu materiálů, vnitřních defektech, přítomnosti dutin nebo například odloučení vrstev. Provádějí se mechanickým namáháním povrchu poklepem rukou, nástrojem, případně daným tělesem. Průzkum je založený na zjišťování nebo záznamu zvukové, případně jiné odezvy materiálu. Vyhodnocení může být subjektivní nebo se provádí přístrojovou technikou.

Detekce kovů se využívá k rychlému orientačnímu zjištění vnitřních kovových výztuží, konstrukcí nebo armatur. Nachází uplatnění při průzkumu štuků, kamenosochařských děl, dřevěných a dalších předmětů. V závislosti na řešené problematice mohou být použity detektory různé konstrukce, většinou se využívají ruční přístroje. Podle typu přístroje lze detekovat kovy v různých hloubkách.

Diagnostický průzkum může dále zahrnovat **měření vlhkosti** různých materiálů, například omítek a dřeva. Neinvazivně lze použít kapacitní nebo mikrovlnné ruční vlhkoměry, případně datalogery.⁸⁶

85 KLOIBER, 2007; SVAHN, 2006, s. 32. Metoda může být v případě použití zapichovacích sond mikrodstruktivní.

86 ČSN EN 15758, 2011. Ochrana kulturního dědictví – Postupy a přístroje pro měření teploty vzduchu a teploty povrchů objektů. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

3 Zadání invazivního průzkumu, odběr vzorků

Odběr vzorků je nevratným invazivním zásahem do zkoumaného předmětu. Velikost i počet vzorků by měly být minimální, ale zároveň reprezentativní pro získání požadovaných informací. Většinou je dostačující velikost vzorků tak malá, že je možné jejich odběr považovat za mikro-invazivní. Přes tuto skutečnost je nutné k odběru vzorků přistupovat až po vyčerpání neinvazivních metod průzkumu, na základě jejich výsledků, mezioborové diskuze, důsledné rozvahy a předem stanovené koncepce zákroku zahrnující další postupy průzkumu. Odběr vzorků by měl být prováděn osobou s dostatečnou odborností a nejlépe také zkušeností v souladu s platnou legislativou.⁸⁷

3.1 Teoretické aspekty a cíle odběru vzorků

Invazivní průzkum založený na odběru vzorků stále zaujímá nezastupitelné postavení při studiu předmětů kulturního dědictví navzdory dynamicky se rozvíjejícím možnostem neinvazivních metod. Může totiž poskytnout přesnou kvalitativní i kvantitativní analýzu materiálů, ze kterých jsou tyto předměty zhotoveny, případně další informace dostatečné kvality o jejich specifických vlastnostech. Průzkumem příčných řezů vzorků je možné obdržet detailní poznatky o stratigrafii a komplexním složení kompletních souvrství, často povrchových úprav, polychromií a maleb, čehož prakticky nelze neinvazivním průzkumem docílit ani v současnosti. Na základě průzkumu vzorků lze upřesnit zjištění o stavu předmětu nebo rozkrýt podstatu nežádoucích jevů, jejich příčin a následků. Studium vzorků potom značným způsobem přispívá ke vhodnému plánování restaurování-konzervování a někdy může sloužit ke kontrole i posouzení dílčích úkonů zákroku, zejména odstraňování vrstev, čištění, fixace a konsolidace.



Obr. 34 Příklad velkého počtu dochovaných povrchových úprav zaznamenaných mikroskopicky na nábrusu odebraného vzorku (a/ asi 40 vrstev), které není možné přesně rozlišit ani zdokumentovat stratigrafickou sondou nebo zjistit jejich optické vlastnosti či materiálové složení neinvazivním způsobem, b/ detail místa odběru vzorku.

Výběr míst odběrů vzorků, jejich množství i velikost se řídí cíli průzkumu, povahou a stavem předmětu, dále potom výsledky neinvazivního průzkumu a dalšími jevy souvisejícími s danou situací a problematikou. Na základě poznatků získaných z neinvazivního průzkumu lze zpřesnit a zefektivnit lokalizaci odběrů vzorků a zároveň minimalizovat jejich počet i velikost, což je z hlediska dosažení maximální šetrnosti k předmětu ve většině případů nutností. Na druhou stranu je nezbytné si uvědomit, že přesná identifikace různých látek, ať už organického či anorganického, přírodního nebo syntetického původu, nacházejících se v malém množství ve směsných materiálech vzorků minimální velikosti – což bývá specifikum daného oboru – může být velice obtížná a někdy dokonce až prakticky nemožná.⁸⁸

Z hlediska přesnosti a reprezentativnosti výsledků průzkumu bývá přínosnější disponovat větším než minimálním množstvím, případně počtem vzorků, kterou analýza sama o sobě vyžaduje. Je zcela samozřejmé, že tato skutečnost není v souladu s přístupy památkové péče, v jejichž

87 EN 16085, 2012, Conservation of Culture property - Methodology for sampling for materials of of culture property - General rules. Technical Committee CEN/TC346 Conservatiion of cultural property.

88 NOVOTNÁ, KARHAN, PECHOVÁ, 2001.

rámci se usiluje odběr minimalizovat. Na druhou stranu je zapotřebí mít na zřeteli, že odběr většího počtu vzorků nebo vzorku větší velikosti nemusí vždy nutně znamenat negativní zásah do památky a paradoxně může být ve výjimečných případech dokonce žádoucí. Příkladem mohou být situace, kdy nelze navrátit na původní místo ani jinak využít některé části a fragmenty díla, případně u nich hrozí úplný zánik jako například při nevratném odstraňování vybraných povrchových úprav, polychromií a maleb včetně druhotných vrstev. V takovýchto případech mohou být vzorky jediným dokladem o jejich existenci, a pokud není možné je analyzovat, měly by se alespoň archivovat. V této souvislosti je třeba vzít v úvahu, že bez možnosti přesné lokalizace vzorku na předmětu může mít výsledek jeho průzkumu do určité míry sníženou vypovídající hodnotu, protože nemusí být zcela reprezentativní.

Z uvedeného vyplývá, že seriózní invazivní průzkum nelze provádět bez dokonalé a přesné rozvahy i přípravy, optimálně na základě konzultací a mezioborové spolupráce, která je přínosná nejen z hlediska citlivého přístupu k dílu, ale pozitivně ovlivňuje také výsledky průzkumu a naší správnější interpretaci získaných údajů.

3.2 Postup a zásady odběru vzorků v praxi

K odběru vzorků by měly být upřednostňovány oblasti zaručující nejmenší narušení výtvarné hodnoty, případně materiálové integrity zkoumaného předmětu. Tomuto předpokladu vyhovují především pohledově skrytá a hůře viditelná místa, defekty či výtvarně, případně účelově méně významné části. Na druhou stranu je nezbytné k odběru vzorků přistupovat s vědomím, že se tyto oblasti mohou vyznačovat sníženou reprezentativností, například kvůli poškození a znečištění okrajů defektů nebo přítomnosti menšího počtu vrstev ve skrytých, méně významných nebo viditelných místech.⁸⁹

Podoba vzorků určených k průzkumu může být poměrně různorodá. Většinou se odebírají **kompaktní** (kusové) vzorky materiálů, souvrství povrchových úprav, polychromií a maleb nebo **prášky**. Další nepříliš častou variantou je odběr vzorku v podobě **výluhu** (extraktu), který vznikne rozpouštěním a extrakcí materiálu vhodně vybraným rozpouštědlem přímo ze zkoumaného předmětu.

Při průzkumu povrchových úprav, polychromií a maleb je obvyklým cílem odběru vzorku získat kompletní souvrství přítomných vrstev s fragmentem podložky. Tímto způsobem lze zajistit odběr vzorku, který bude obsahovat nejstarší dochované vrstvy včetně úpravy povrchu nosného materiálu. Při vysokém riziku desintegrace díla, například u maleb na textilní a papírové podložce, nemusí vzorek nutně fragment podložky obsahovat. V této situaci může být postačující přesvědčit se o tom, že byla odebrána nejstarší vrstva v místě odběru vzorku například pomocí zvětšovací techniky.



Obr. 35 Příklad fotografické dokumentace místa odběru vzorku, a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence.

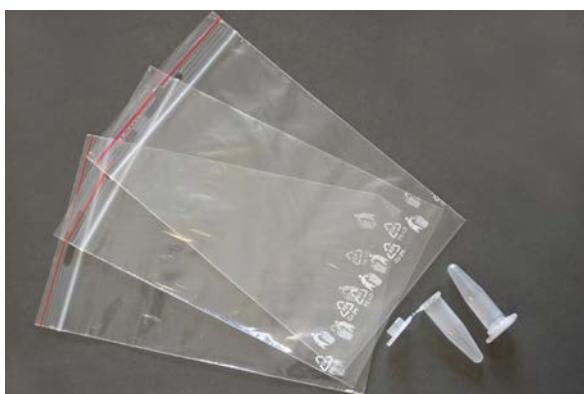
89 Při intervencích zahrnujících odstraňování ať už původních nebo druhotných materiálů, například vrstev povrchových úprav a maleb, se doporučuje, pokud je to možné, ponechat jejich vzorek na méně viditelném nebo skrytém místě.

Obr. 36 Mikroskopická (USB mikroskop) dokumentace místa odběru vzorku.



V praxi mohou nastat případy, kdy je nezbytné odebrat vzorek málo soudržného materiálu nebo vrstevnatý vzorek v místech, kde se jednotlivé vrstvy od sebe oddělují. Odběr vzorku lze v takovýchto situacích řešit například předzpevněním vybraného místa adhezivem nebo dočasným pojivem.⁹⁰ Je však nutné si uvědomit, že kontaminace vzorku organickým adhezivem může zkomplikovat, někdy dokonce znemožnit identifikaci organických látek nebo modifikovat stratigrafii vrstev. Při průzkumu oddělujících se souvrství se většinou odebírá více na sebe navazujících vzorků. V tomto případě je vhodné návaznost vrstev zkontrolovat, případně dokumentovat v mikroměřítku.

Vlastní odběr vzorku může být v závislosti na dané situaci účelné provádět při větším zvětšení. Zpravidla se při odběru využívají jemné ostré nástroje pocházejících z medicínské praxe, například jehly, žiletky, pinzety nebo drobné zubotechnické vrtačky s různým zakončením. Nejčastěji se vzorky odebírají skalpelem, případně dlátkem. K uložení a transportu malých vzorků jsou nejvhodnější malé plastové kónické vzorkovnice. Méně vhodné bývají plastové sáčky se zipovým zavíráním zejména kvůli obtížnějšímu a méně praktickému vyjmutí vzorku. Materiál vzorkovnic a sáčků musí být inertní ke vzorku.⁹¹



Obr. 37 Základní způsoby uložení vzorků, plastové vzorkovnice a sáčky.



Obr. 38 Běžné nástroje používané k odběru a manipulaci se vzorkem.

3.3 Záznam o odběru vzorků, předávací protokol

V souvislosti s odběrem vzorků a jejich předáním zhotoviteli průzkumu je nezbytné provést fotografickou dokumentaci a písemný záznam odběru vzorků zahrnující detailní informace o vzorcích, předmětu, lokalizaci odběrů vzorků, cílech odběru vzorků, případně navrhovaném postupu průzkumu. Dále se uvádějí údaje související s formálním procesem zadání průzkumu, případně další účelné informace. Náležitosti odběru vzorku a plánovaný postup průzkumu je většinou nezbytné nejprve konzultovat se zhotovitelem průzkumu. Označení a manipulace se vzorkovnicí by měly být provedeny takovým způsobem, aby nedošlo k náhodnému odstranění, záměně, ztrátě nebo poškození vzorků.

Místo odběru vzorku je nutné v závislosti na dané situaci vyznačit buď do celkového snímku předmětu, nebo jeho části, jedná-li se například o rozměrné dílo, případně do grafického zářezu. Dále je nutné fotograficky místo odběru vzorku zdokumentovat v detailu, podle potřeby v mikroměřítku, nebo UV fluorescenční fotografií. Fotografie by měly být opatřeny měřítkem

90 K předzpevnění mohou být použita adheziva na bázi polymerních roztoků nebo disperzí. Dočasná pojiva na rozdíl od adheziv ze vzorku časem pomalu vysušují, v praxi se používá například cyklotodekan.

91 STONER, RUSHFIELD, 2012. Nedoporučuje se popis vzorkovnice nebo sáčku fixem, jelikož lze popisku snadno smazat.

a podle možností i účelu také kalibračními standardy (např. černobílá, barevná tabulka). Na základě popisu a dokumentace by mělo být teoreticky možné zpětně přesně dohledat místa odběrů vzorků i v časovém odstupu.

Optimální soubor informací o odběru vzorků a zadání průzkumu⁹² většinou zahrnuje následující údaje:

- základní údaje o předmětu, případně jeho části: typ, název, materiály, velikost, případně autorství, datace, provenience, stav, inventární číslo, rejstříkové číslo kulturní památky
- současná, případně plánovaná lokalizace předmětu: základní údaje o umístění, například adresa a typ stavby, název instituce, poschodí, číslo nebo popis umístění místnosti (prostoru)
- základní údaje o povrchových úpravách, polychromiích, malbách: typ, technika, motiv, autorství, datace, provenience, stav, druhotné zákroky (rozsah, typ, počet vrstev, materiály, případně datace)
- vzorek: popis vzorku, přesná lokalizace, souřadnice místa odběru, množství, podoba (vzorek kusový, práškový, výluh), předpokládaná stratigrafie u vrstevnatých vzorků, barevnost, předpokládané složení, druhotné zásahy, způsob odběru
- nezaměnitelné označení vzorku, respektive identifikační číslo, případně předběžné označení, datum odběru, případně klimatické podmínky nebo jméno osoby, která vzorek odebrala
- kvalitní celkový snímek předmětu, případně jeho části s vyznačením míst odběrů vzorků, podle situace vyznačení míst odběrů vzorků do zákresu, fotografická dokumentace detailů s přesným vyznačením míst odběrů, případně snímek v mikroměřítku, podle potřeby UV fluorescenční fotografie, snímky nebo mikrosnímky vzorků, fotografie by měly obsahovat měřítko, případně kalibrační standardy
- cíle průzkumu, případně předpokládané metody průzkumu
- údaje o zadavateli průzkumu a/nebo majiteli předmětu: názvy institucí nebo jména osob, adresy, kontakty, podpis zadavatele, případně číslo restaurátorské licence
- dohodnuté datum pro odevzdání průzkumu, případně předpokládaná cena, fakturační údaje.

Uvedený přehled informací (viz Tab. 1) nemusí být zcela vyhovující pro každou řešenou situaci odběru vzorku nebo související předání vzorků zhotoviteli průzkumu, ať už z hlediska nadbytečnosti, dostupnosti, relevance nebo naopak možné absence některých údajů.

Zpráva z průzkumu, pokud je samostatným svěbytným dokumentem, by měla podle situace obsahovat mnohé informace o odběru dodaných vzorků, které jsou uvedeny výše. Z nezbytných údajů jsou to zejména základní popis a charakteristika analyzovaného díla, informace o zadavateli a/nebo majiteli předmětu, přehled cílů průzkumu, přehled a popis vzorků a jejich lokalizaci na předmětu, detailní snímky míst odběrů vzorků, metodika průzkumu zahrnující popis použitých metod, včetně typu přístroje a parametrů měření, datum, kontakt pracoviště a jména zpracovatelů průzkumů, výsledky a získaná data, včetně jejich interpretace a závěr.⁹³

92 Soubor údajů se někdy uvádí jako záznam k odběru vzorků, pro zhotovitele jako předávací protokol k odběru vzorků.

93 NOVOTNÁ, KARHAN, PECHOVÁ, 2001.

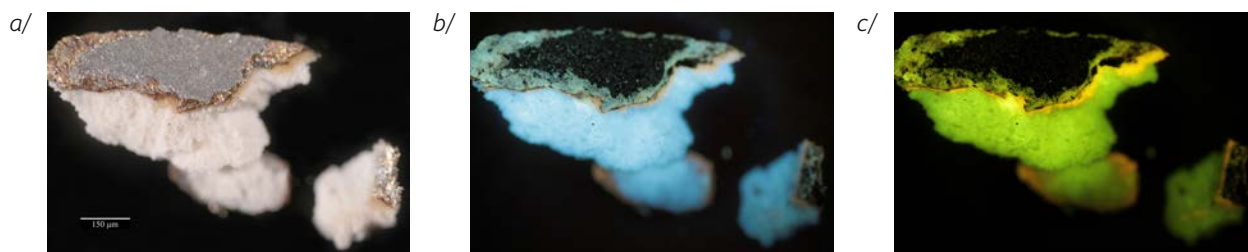
Tab. 1 Příklad záznamu o odběru vzorku.⁹⁴

základní informace	upřesnění, příklady
identifikační kód	nezaměnitelné identifikační číslo, předběžné označení vzorku
důvody odběru vzorku	materiálové složení, zjištění stratigrafie nebo složení vrstev – pigmentů, pojiv, plniv, barviv, identifikace poškození, napadení a jiných změn, stav materiálů, datace atd.
plánovaný průzkum, cíle průzkumu	předpokládané metody a postupy průzkumu, sled metod průzkumu, jednotlivé cíle průzkumu a jejich priority
zhotovitel průzkumu	instituce, osoba, adresa, kontaktní údaje
informace o předmětu:	
umístění – stavba	typ stavby, název instituce, adresa
lokalizace v rámci stavby	popis (číslo) místnosti (prostoru), orientace umístění ke světovým stranám
registrační číslo, identifikace	inventarizační číslo, název předmětu vedený v registru (pokud existuje), rejstříkové číslo kulturní památky
popis předmětu a jeho části	typ, datace, autorství, velikost, motiv, barevnost, druhotné zákroky
majitel	název instituce, jméno zastupující osoby/vlastníka, adresa, kontaktní údaje
zadavatel průzkumu	název instituce, jméno zastupující osoby, adresa, kontaktní údaje, podpis
údaje o vzorku/vzorcích	
lokalizace vzorku/vzorků	přesný popis místa odběru vzorku (souřadnice), fotografická nebo jiná grafická dokumentace s vyznačením místa odběru vzorku – celkový snímek předmětu nebo jeho části, detail místa odběru, případně mikrosnímek, UV fluorescenční fotografie, které by měly obsahovat měřítko, případně kalibrační tabulky
popis vzorku/vzorků	typ vzorku (kompaktní vzorek, prášek apod.), předpokládaná stratigrafie, barevnost, složení vrstev, druhotné vstupy, velikost, datum odběru vzorku
fotografie vzorku/vzorků	podle situace, v závislosti na velikosti vzorku běžná fotografie nebo mikrosnímek v bílém světle, případně UV fluorescenční mikrofotografie
způsob odběru	ve specifických případech, například při odběru výluhu použité rozpouštědlo, případně nosič vzorku, možné kontaminace
další informace	klimatické podmínky, provedené průzkumy, výsledky jiných analýz, datum odběru, případně kdo vzorky odebral

94 EN 16085, 2012. Conservation of Culture property – Methodology for sampling for materials of culture property – General rules. Technical Committee CEN/TC 346 Conservation of cultural property.

3.4 Dokumentace a zpracování vzorku před dalším průzkumem

Neupravený odebraný vzorek se v závislosti na jeho velikosti a charakteru většinou nejprve vyhodnocuje a dokumentuje pomocí optické nebo stereoskopické mikroskopie, případně prozkoumá lupou. Podle situace se větší vzorky zaznamenávají fotoaparátem, pokud možno s kalibračními standardy (např. černobílá, barevná tabulka). Dokumentační snímky vzorků by měly být opatřeny měřítkem. V mnoha případech je účelné provést mikroskopický průzkum a dokumentaci neupravených vzorků metodou UV fluorescenční mikrofotografie, případně ve fluorescenci generované modrým světlem.



Obr. 39 Příklad mikroskopické dokumentace vzorku, a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence, c/ viditelná fluorescence generovaná modrým světlem, zvětšení mikroskopu 200 $\times$.



Obr. 40 Příklad fotografické dokumentace většího vzorku.

Ve větším zvětšení se vyzkoumá a ověří charakter, barevnost, případně kompletnost souvrství nebo stratigrafie vrstevnatých vzorků. Na základě prohlídky se vybere vhodný úlomek pro další průzkum nebo se vzorek pomocí jemných nástrojů, případně speciálních přístrojů, rozdělí podle cílů a možností následných průzkumů, respektive analýz. Cíli a možnostmi analýz je částečně řízen nejen způsob odběru vzorků a výběr vhodných úlomků k dalšímu průzkumu, ale také jejich další podoba a zpracování. Vzorky nemusí být nutné pro další analýzy zásadním způsobem upravovat. V těchto případech se zkoumají v podobě, ve které byly odebrány. Ve většině případů je však úprava vzorku nezbytná. Nejčastěji se vzorky zpracovávají do podoby broušených příčných řezů – nábrusů nebo výbrusů. Příčné řezy umožňují vzorky dostatečně detailně zkoumat v rovině kolmé na směr vrstev. Tímto způsobem lze také zpevnit nebo vhodně upravit málo soudržné či velmi malé vzorky do vhodného rozměru, což zaručí jejich snadnou manipulovatelnost a opracovatelnost.

Nábrusy i výbrusy se zhotovují zalitím vzorků vytvrzovací hmotou⁹⁵ ve formě a jejich následným broušením, leštěním nebo řezáním po vytvrzení hmoty. Je zpravidla žádoucí, aby byla polymerní hmota po vytvrzení průhledná, případně poloprůhledná, což umožňuje precizní kontrolu následné úpravy vzorku. Nejčastěji se využívají polymerní systémy na bázi polyakrylátů, polyesterů a epoxidových pryskyřic. Někdy je účelné, aby tvrdnutí polymerní hmoty probíhalo za sníženého tlaku. Tímto způsobem lze docílit průnik polymeru do vnitřní hmoty vzorku a jeho zpevnění. Při přípravě nábrusu se vzorek umístěný v zatvrdlé hmotě sbrousí z jedné strany, pozoruje se nebo analyzuje v odrazu (reflexi).

Výbrus se získá řezáním a broušením vzorku ve vytvrzovací hmotě z obou stran do tak tenkého řezu, až je vzorek poloprůhledný. Účelem takovéto přípravy je umožnění průzkumu vzorku také v procházejícím normálním nebo polarizovaném světle (transmisi). Výbrusy vzorků jsou natolik tenké, že může být jejich barevnost zkreslená.

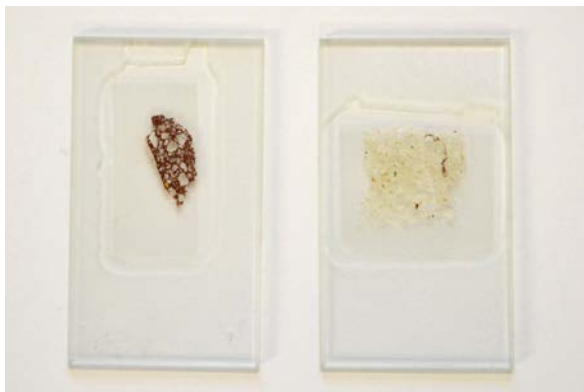
⁹⁵ Pórovité materiály, například horniny a omítky, se podle situace zalévají s využitím podtlaku (vakuově).

Obr. 41 Příprava nábrusu na brusce, leštění vzorku.

Ve většině případů, často u vrstevnatých vzorků polychromií, povrchových úprav a maleb, se připravují nábrusy. Jejich studiem lze nejpřesněji rozkrýt nejvíce požadovaných informací najednou. Příprava nábrusů je snadnější než vyhotovení výbrusů. Nábrusy umožňují současně zkoumat stratigrafii, tedy způsob vrstvení, jednotlivé komponenty a charakter vrstev i jejich skutečnou barevnost. Pro účely detailního mikroskopického průzkumu kovů, tzv. metalografii, se leštěné nábrusy dále mohou upravovat leptáním. Výbrusy se připravují zejména z omítek, tmelů a hornin. U těchto materiálů je možné průzkumem v procházejícím polarizovaném světle získat širší škálu informací včetně identifikace některých složek. Další charakteristickou řešenou problematikou je mikroskopická identifikace dřeva, která vyžaduje tenké vzorky dřeva relativně malé velikosti získané ze tří směrů.



a/



b/



Obr. 42 Leštěné příčné řezy vzorky, a/ výbrusy vzorků béžového a hnědo-červeného štku přilepené na podložní sklo, b/ nábrusy stejných vzorků.

a/



b/



Obr. 43 Optická mikroskopie, a/ nábrus štukových vrstev v odraženém bílém světle (reflexe), b/ výbrus stejného vzorku v procházejícím bílém světle (transmise, II nikoly).

4 Vybrané instrumentální metody invazivního průzkumu

4.1 Zobrazovací optické metody a metody prvkové analýzy

4.1.1 Optická (světelná, polarizační a fluorescenční) mikroskopie (OM) (Optical Microscopy, Optical Microscopy Under Polarized Light, Fluorescence Microscopy)

Optická mikroskopie představuje základní a nejrozšířenější nedestruktivní metodu průzkumu a dokumentace vzorků. V mikroměřítku se běžně studují a fotograficky dokumentují různé typy vzorků, tedy kompaktní úlomky, nábrusy, výbrusy, vlákna i prášky. Komplexní mikroskopický průzkum se většinou provádí pomocí badatelských polarizačních mikroskopů, které bývají opatřeny záznamovou digitální technikou. Tyto mikroskopy disponují dostatečným zvětšením⁹⁶, možností průzkumu v odraženém, procházejícím, polarizovaném světle a dalšími technikami, zejména UV fluorescenční mikrofotografií a fluorescenční mikrofotografií v modrém světle.



Obr. 44 Optický (polarizační badatelský) mikroskop.

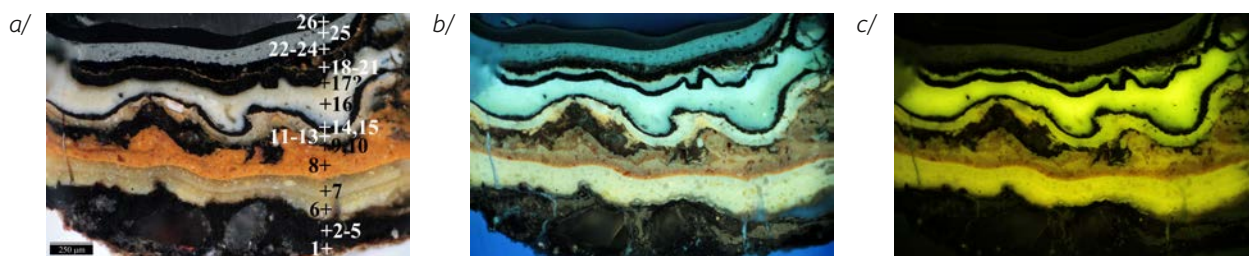
Mikroskopie nachází uplatnění již při dokumentaci a studiu neupravených vzorků, výběru vhodných úlomků a jejich úpravě pro další bádání. Často bývá účelné průzkum i dokumentaci neupravených vzorků realizovat také pomocí fluorescenčních mikroskopických technik, zejména UV fluores-

cenční mikrofotografie. Mikroskopicky lze zjistit charakter, kompletnost a vrstevnatost odebraného vzorku, jeho optické a jiné vlastnosti i to, do jaké míry vzorek vyhovuje cílům plánovaných analýz.

Mikroskopický průzkum je možné úspěšně uplatnit u všech typů předmětů kulturní povahy k zodpovězení různorodých otázek. V mikroměřítku se zkoumají vlastnosti nebo materiálová podstata částí studovaných předmětů, jejich povrchových úprav, polychromií nebo maleb, upřesňuje se typ poškození a jeho příčin nebo se vyhodnocují úkony restaurátorského-konzervátorského zásahu. Mikroskopický průzkum může sloužit k identifikaci textilních vláken a pigmentů a například odhalit jejich přírodní či syntetický původ. Na základě mikroskopického průzkumu se provádí identifikace druhů dřev nebo biologického napadení. V rámci tzv. petrografického průzkumu, který využívá polarizační mikroskopii a pracuje tedy s výbrusy, je možné určit anorganické složky hornin a maltovin. Charakteristické mikroskopické vlastnosti uvedených materiálů jsou uváděny v mnohé přehledové literatuře, odborných článcích nebo internetových databázích.⁹⁷ Průzkumem nábrusů vrstevnatých vzorků lze získat detailní představu o stratigrafii vrstev, tedy způsobu a vzájemné souslednosti vrstvení, nebo jejich optických, morfologických, případně jiných vlastnostech.

⁹⁶ Zvětšení badatelských optických mikroskopů se pohybuje od 25× do 500× nebo 1000×.

⁹⁷ EASTAUGH, WALSH, CHAPLIN, SIDDALL, 2014; ŠIMÚNKOVÁ, BAYEROVÁ, 2014; CAMPBELL, 1999; SCHAFFER, SCHWEINGRUBER, 1990; KOUTNÍK et al., 2015.



Obr. 45 Mikroskopické snímky stratigrafie povrchových úprav: a/ bílé světlo, b/ UV fluorescence, c/ viditelná fluorescence generovaná modrým světlem, zvětšení mikroskopu 200 $\times$.

Průzkum UV fluorescence v mikroměřítu rozšiřuje škálu informací podobně jako metoda UV fluorescenční fotografie (viz 2.1.3.) prováděná na předmětu. Na základě UV fluorescence je například možné na příčném řezu vzorku rozlišit nebo zvýraznit jednotlivé vrstvy, odhalit přítomnost a distribuci organických látek, pigmentů a barviv nebo také rozšířit poznatky o jejich složení.

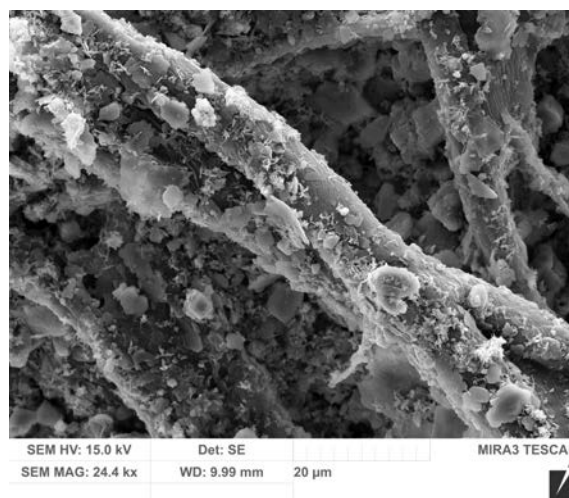
V souvislosti s mikroskopickými technikami nelze opomenout možnost použití stereoskopických mikroskopů. Přestože běžné stereoskopické mikroskopy nedosahují velkých zvětšení, případně variability zobrazovacích technik jako klasické optické mikroskopy, vyznačují se větší hloubkou ostroty, a proto se využívají zejména při prvotní prohlídce a dokumentaci větších vzorků. Dále je nutné poukázat na možnost využití pokročilých digitálních mikroskopů, které disponují dostatečnou hloubkou ostroty a možností digitálního modelování a skládání obrazu (viz 2.1.2.).

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy předmětů a materiálů.

4.1.2 Skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM-EDX) (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy)

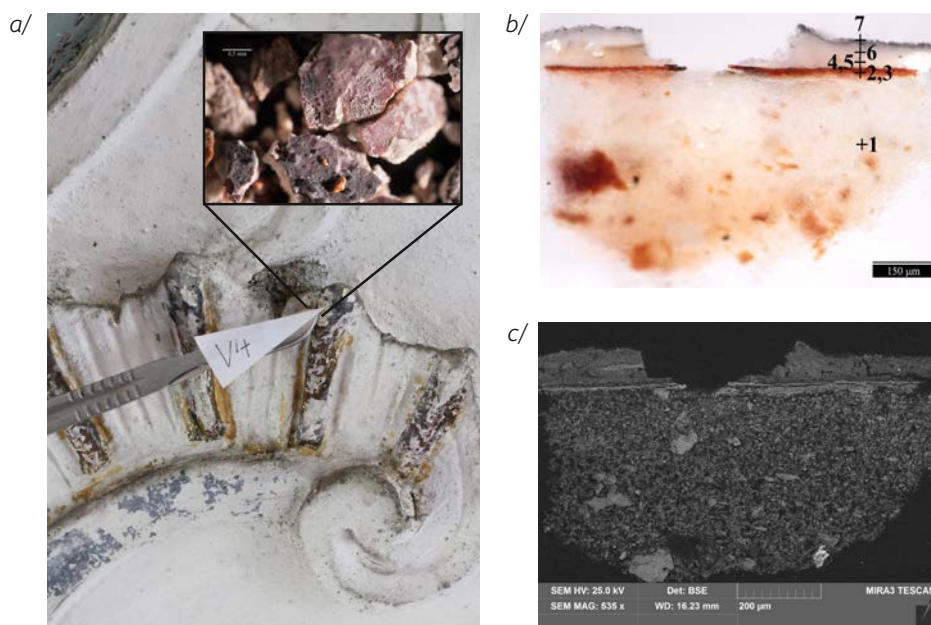
Skenovací elektronová mikroskopie se vyznačuje širokým záběrem použití. Tato špičková mikroskopická technika se využívá k průzkumu a zobrazování veškerých druhů materiálů předmětů kulturního dědictví. Umožňuje studium vzorků ve vysokém zvětšení a s velkou hloubkou ostroty. Získaný obraz je monochromatický. Ve spojení s prvkovou mikroanalýzou nachází tato metoda značné uplatnění při identifikaci anorganických látek. Interpretaci prvkové analýzy je nutné provádět na základě komparace se snímky z optického mikroskopu, které poskytují nepostradatelné informace zejména o barevnosti analyzovaných míst.

Pomocí skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou lze relativně rychle a snadno zkoumat mikrostrukturu a prvkové složení jednotlivých komponent kompaktních vzorků nebo příčných řezů. Například je možné identifikovat základní anorganické nekovové materiály i kovy, pozlacovačské techniky, většinu běžných anorganických pigmentů, plniv a pojiv. Dalšími příklady využití mohou být upřesnění stratigrafie vrstev, výtvarných technik, identifikace druhotných zásahů, nebo odhalení příčin a projevů poškození i produktů degradace atd.



Obr. 46 Snímek části bavlněného vlákna pokrytého červenou hlinkou. Skenovací elektronová mikroskopie, vysoké vakuum, sekundární elektrony (SE).

K zobrazování i analýze se využívá svazek elektronů, který se vyznačuje menší vlnovou délkou, a tedy i mnohem větší energií než světlo používané optickou mikroskopií. Proto je možné získat pomocí elektronových mikroskopů nesrovnatelně větších zvětšení i hloubky ostrosti. Prvková analýza je umožněna přidáním detektoru rentgenového záření k mikroskopu, používá tzv. rentgenový energiově-disperzní (EDX) analyzátor.⁹⁸ Prvkovou analýzu lze provádět v libovolně vybraném místě zájmu, kterým může být bod i plocha nebo prvkovým mapováním. Velikost zkoumaného vzorku je limitována velikostí komory mikroskopu, většinou se zkoumají vzorky do velikosti jednotek centimetrů, prakticky zhruba do deseti centimetrů. Přes velmi vysokou cenu techniky je skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou poměrně dobře dostupnou a rozšířenou metodou. Skenovacími elektronovými mikroskopy většinou disponují oborové instituce a větší laboratoře. Kromě skenovací (řádovací, rastrovací) elektronové mikroskopie existuje transmisní elektronová mikroskopie (TEM). Tato technika se při průzkumech materiálů kulturního dědictví využívá ojediněle.



Obr. 47 Detailní snímek místa odběru vzorku a snímek vzorku a/. Mikrosnímky nábrusu vzorku získané optickou mikroskopií (b/ bílé světlo) a elektronovou skenovací mikroskopií (c/ BSE). Stratigrafie a materiálové složení povrchových úprav štukového prvku: vrstvy 1–3 sádrový podklad s křemičitým pískem, poliment, plátkové zlato; vrstvy 4–6 druhotné bílé vápenné nátěry, vrstva 7 druhotná vápenná šedo-modrá alterovaná vrstva se smaltom a uhlíkatou černí.

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: všechny druhy předmětů i materiálů.

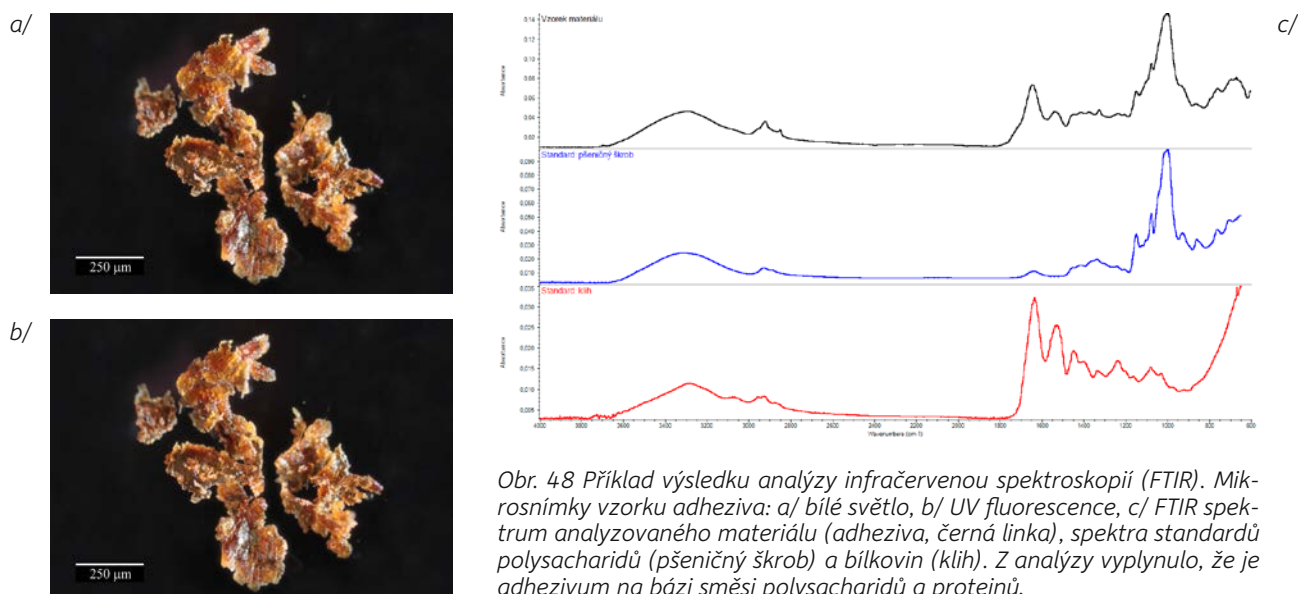
4.2 Metody molekulové analýzy

4.2.1 Infračervená spektroskopie (FTIR) a mikrospektroskopie (µFTIR) s Fourierovou transformací (Infrared Spectroscopy, Infrared Microspectroscopy with Fourier Transformation)

Infračervená spektroskopie a mikrospektroskopie se používá především k identifikaci, případně určení množství organických složek. Metodou lze analyzovat také mnohé anorganické látky, nicméně u složitějších systémů, kterými jsou například barevné vrstvy, se k přesné anorganické analýze volí jiné metody průzkumu, respektive bývá v těchto situacích infračervená spektroskopie doplňkovou technikou. Metoda nachází největší uplatnění při identifikaci laků, organických pojiv, barviv, některých pigmentů organického i anorganického charakteru, fixativ, adheziv nebo různých organických příměsí. Využívá se například při průzkumu textilií, papíru a vláken, degradačních procesů i restaurátorských materiálů.⁹⁹

⁹⁸ Dalším rozšířením detekčních systémů je teoreticky možné získat i jiné analytické informace, například o fázovém, respektive molekulovém složení, prakticky jsou však tyto metody málo využitelné.

⁹⁹ DERRICK, STULÍK, LANDRY, 1999, s. 18–19.



Obecně je možné metodou infračervené spektroskopie v závislosti na typu přístroje měřit prášky, filmy, kapaliny, ale také povrchy díla. S běžným typem spektrometrů bez možnosti mikroskopického pozorování je v podstatě měřen celý vzorek, výsledkem analýzy je tedy jeho průměrné složení. Minimální velikost vzorku se v tomto případě pohybuje okolo jednoho milimetru. V poslední době jsou již relativně dobře dostupné infračervené mikrospektrometry (μ FTIR), které propojují analýzu s možností pozorování a výběru měřeného místa v mikroměřítku. To je nanejvýš výhodné při průzkumu vrstevnatých vzorků a příčných řezů. Infračervené mikrospektrometry umožňují měření vrstev, jejich částí a jednotlivých komponent průměrné velikosti asi 5–10 μ m i materiálové mapování plochy. Při studiu souvrství bývá infračervená mikroskopie komplementární technikou k základnímu průzkumu metodami optické a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou.

Podstatou metody je měření prošlého nebo odraženého infračerveného záření vzorkem. Analytickým výstupem měření je infračervené spektrum, které je porovnáváno s databázemi a přiřazeno ke konkrétním látkám. U čistých látek je pravděpodobná velmi dobrá čitelnost spektra a přesná identifikace. Při měření reálných vzorků jsou většinou analyzovány směsi různých látek, které je sice možné identifikovat zároveň, analýza je však složitější a v mnohých případech není možné získat uspokojivý, případně dostatečně přesný výsledek měření nebo interpretaci spektra. Je třeba zmínit také možnost využití přenosných infračervených spektrometrů k neinvazivní analýze (viz 2.2.2.).

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: povrchové úpravy, polychromie, malba, textilie – především k průzkumu organických pojiv, pigmentů nebo barviv či jako doplňková metoda k průzkumu anorganických pigmentů, plniv nebo pojiv, orientační nebo přesná identifikace základních materiálů keramiky, skla, malt nebo umělého kamene.

4.2.2 Ramanova spektroskopie (RS) a mikrospektroskopie (μ RS) (Raman Spectroscopy, Raman Microspectroscopy)

Ramanova spektroskopie a mikrospektroskopie se používá k analýze anorganických i organických látek. Metoda má v oblasti průzkumu památek všestranné využití. Nalézá běžné uplatnění při identifikaci pigmentů a dalších výtvarných materiálů včetně organických pigmentů nebo barviv. Využívá se při průzkumech povrchových úprav, polychromií a maleb, textilu, skla, minerálů a hornin, omítek, keramiky nebo archeologických předmětů. Ramanova spektroskopie bývá komplementární technikou k dalším analytickým metodám průzkumu.

K analýze vzorků se zpravidla používá propojení s mikroskopem, které podobně jako ostatní mikroanalytické metody umožňuje analyzovat přesně vybrané místo na povrchu vzorku a jeho

příčného řezu v mikroměřítu nebo mapovat zvolenou plochu. Minimální velikost měřeného místa je asi $1 \times 1 \mu\text{m}^2$. Pomocí optických vláken je možné Ramanovými spektrometry provádět měření na díle, ať už v laboratoři nebo *in situ*, a to i při větším zvětšení (viz 2.2.2.).¹⁰⁰

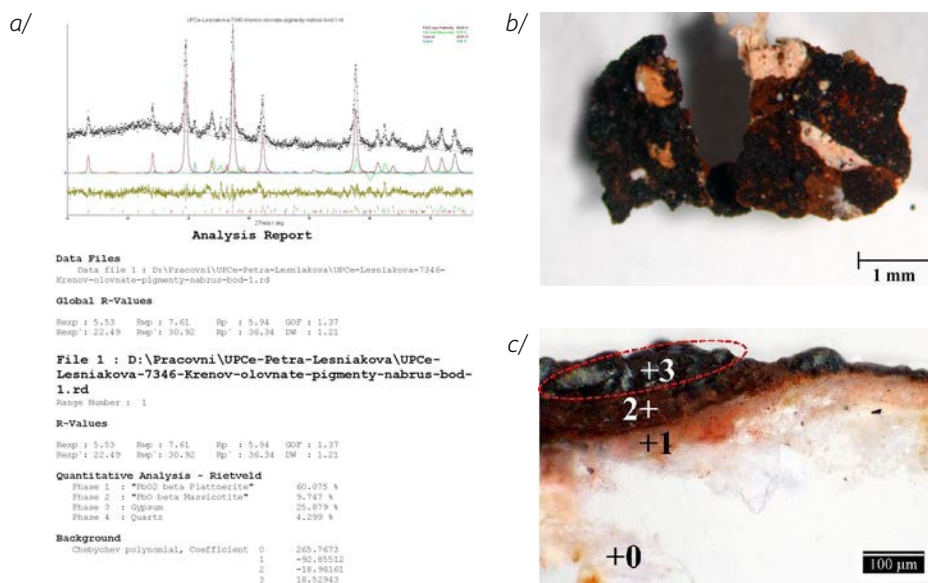
Podstatou analýzy je ozáření místa zájmu vybraným laserem a detekce rozptýleného záření, u kterého došlo ke změně vlnové délky po interakci se vzorkem. Úspěšnost, ale také šetrnost měření závisí na vhodných podmínkách nastavení přístroje, především na vlnové délce použitého laseru. Při nevhodných podmínkách analýzy může dojít k poškození měřeného místa kvůli vysoké teplotě generované laserem.¹⁰¹ Ramanova mikroskopie umožňuje mapování v ploše, na jehož základě lze získat představu o rozložení materiálů a komponent například v rámci barevných vrstev. K identifikaci složení analyzovaného místa dochází porovnáním získaného spektra s databází spekter známých materiálů. Interpretace spekter Ramanových – podobně jako infračervených – je poměrně náročná nejen z hlediska znalostí a zkušenosti analytika, ale také proto, že vyžaduje dostatečné množství vhodných srovnávacích spekter. V nedávné době se k průzkumu památek začaly v zahraničí používat také techniky Ramanovy spektroskopie s prohloubenou citlivostí. Jsou jimi metody **povrchem zesíleného Ramanova rozptylu** (Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, SERS) a **povrchem zesíleného rezonančního Ramanova rozptylu** (Surface-Enhanced Resonance Raman Scattering, SERRS).¹⁰²

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: k průzkumu jednotlivých komponent, především pigmentů, plniv a barviv povrchových úprav, polychromií, malby a textilií.

4.2.3 Rentgenová prášková difrakce (XRD) a mikrodifrakce (μXRD) (X-Ray Diffraction, X-Ray Microdiffraction)

Prášková rentgenová difrakce a mikrodifrakce umožňuje kvantitativní a kvalitativní analýzu krystalických látek. Nachází uplatnění při určení různých fází a mineralogického složení anorganických materiálů. Tyto metody se používají především k analýze anorganických pojiv, vybraných pigmentů a plniv, produktů degradace nebo například hornin a minerálů.

Zároveň může rentgenová difrakce poskytovat orientační i přesnou kvantitativní analýzu nejen krystalických složek, ale do jisté míry také celkového amorfního podílu. Při řešení komplexních materiálůvých průzkumů vrstevnatých heterogenních systémů výtvarných materiálů se spíše využívají jiné metody průzkumu a jejich kombinace. Rentgenová difrakce potom nachází uplatnění při řešení specifických otázek nebo jako doplňková metoda.



Obr. 49 Příklad výstupu rentgenové mikrodifrakce (XRD) alterované malby: a/ získané výsledky včetně spektr¹⁰³, b/ mikroskopická dokumentace vzorku, c/ nábrus vzorku s vyznačeným místem měření v alterované tmavé vrstvě 3 (červená elipsa). Vrstva byla původně zřejmě provedena ve žlutých nebo červených odstínech, časem došlo ke ztmavnutí olovnatých pigmentů přeměnou na plattnerit, který byl ve vrstvě metodou rentgenové mikrodifrakce identifikován jako hlavní složka.

100 PERARDI, APOLLONIA, MIRT, 2003, s. 317–318; LAUWERS et al., 2014, s. 394–395.

101 CHLUMSKÁ et al., 2017.

102 SMITH, THOMPSON, LENNARD, 2017, s. 257–258; ZÁRUBA, 2016, s. 110.

103 LESNIAKOVÁ, 2014.

Běžnou práškovou rentgenovou difrakcí je zjišťováno průměrné složení celého vzorku, který je analyzován v podobě prášku. Minimální množství vzorku se může lišit podle typu řešené problematiky, optimálně bývá asi 200 mg. Servisní měření rentgenovou práškovou difrakcí poskytují mnohé analytické laboratoře. Metoda rentgenové mikrodifrakce prozatím tolik dostupná není, přestože se nabídka servisních měření v současnosti postupně rozšiřuje. Při mikrodifrakci je analyzována mikroskopicky vybraná plocha povrchů kompaktních vzorků a příčných řezů s přibližnou minimální velikostí 100 μm .

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: krystalické látky, malty, umělý mramor, keramika, v jistých případech doplňková metoda průzkumu jednotlivých komponent, především pigmentů, plniv a barviv povrchových úprav, polychromií, malby.

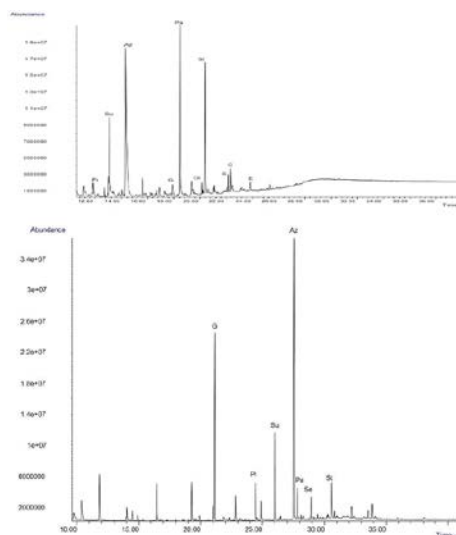
4.2.4 Plynová chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektrometrií (GC-MS) (Gas Chromatography–Mass Spectrometry)

Kombinace plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie umožňuje velmi precizní identifikaci organických látek. Využívá se především k analýze organických pojiv, které jsou součástí rozmanitých výtvarných technik, laků, konsolidantů nebo například adheziv.

a/



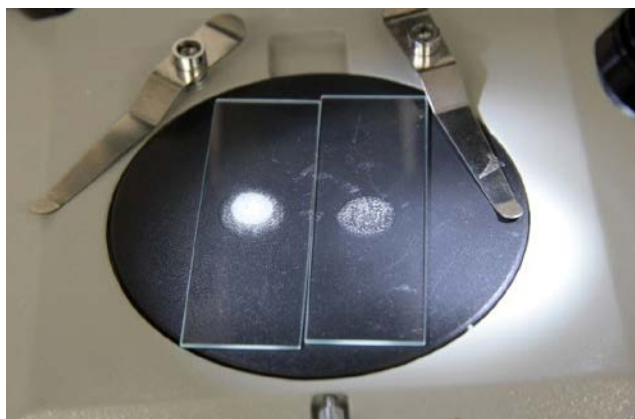
b/



Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: přesná identifikace organických látek – především pojiv, které bývají součástí povrchových úprav, polychromie, laků, maleb, adheziv, konsolidačních a fixačních prostředků atd.

4.2.5 Selektivní mikrochemické reakce a důkazové testy (Microchemical Tests, Spot Tests)

Selektivní mikrochemické a důkazové testy se uplatňují zejména při identifikaci přírodních organických látek a v menší míře k určení látek anorganických. Většinou se využívají k doplnění a kontrole ostatních analytických metod nebo v případech, kdy není možné požadovaný výsledek prakticky získat jinou cestou.¹⁰⁷ Mohou se provádět s kompaktními vzorky, prášky nebo na příčných řezech vzorků. Mikrochemické testy jsou ke vzorku destruktivní.



Obr. 51 Mikrochemická reakce na podložním skle – identifikace olejů.

Většinou bývá podstatou identifikace použití charakteristické reakce nebo sekvence reakcí, které se vyznačují specifickým projevem pro danou skupinu chemicky obdobných látek nebo pro jednu určitou látku či prvek. Identifikace bývá založena na změně barevnosti, případně

UV fluorescence, které se v závislosti na velikosti, podobě vzorku a typu stanovení vyhodnocují mikroskopicky nebo prostým pozorováním. Na nábrusech se v mikroměřítku uplatňují vybarvovací (histochemické) reakce, které mohou sloužit nejenom k orientační identifikaci, ale také k lokalizaci (distribuci) přírodních organických látek, respektive pojiv v jednotlivých vrstvách.

Do skupiny mikrochemických testů lze dále zařadit zkoušky rozpustnosti nebo stanovení teploty tání vybraných organických materiálů. Testy rozpustnosti slouží k orientačnímu zařazení zejména přírodních organických látek podle jejich druhu. Obecně se při průzkumech povrchových úprav, polychromií a maleb často nejprve zjišťuje rozpustnost organických pojiv a až poté se stanovuje postup a použití další analytických metod materiálového průzkumu. Stanovením tavitelnosti je možné v optimálních případech blíže určit druh některých vosků, případně přírodních pryskyřic.

Úspěšnost identifikace může být značně závislá na zkušenosti a není vždy zcela objektivní. Proto někdy poskytuje pouze orientační představu o možné přítomnosti látky, a jak bylo uvedeno, často vyžaduje ověření jinou metodou. Vzhledem ke skutečnosti, že jsou mikrochemické i vybarvovací testy většinou realizovány na specializovaných oborových pracovištích, nemusí být finančně ani přístrojově náročné. K jejich provedení jsou zapotřebí určité chemikálie, respektive činidla. K vyhodnocení v mikroměřítku se podle potřeby používají mikroskopy a stereomikroskopy.

Oblasti využití, druhy předmětů, případně jejich specifických částí, pro které je metoda vhodná: orientační identifikace organických látek – především pojiv, které bývají součástí povrchových úprav, polychromie, laků, maleb, adheziv, konsolidačních a fixačních prostředků, identifikace nebo vyloučení některých pigmentů.

¹⁰⁷ Zpravidla se využívají infračervená spektrometrie (FTIR) a plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS).

4.3 Méně využívané analytické metody

Mezi vybrané instrumentální techniky prvkové analýzy lze zařadit **atomovou absorpční spektrometrii** (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS), **atomovou emisní spektrometrii** (Atomic Emission Spectroscopy, AES), **atomovou fluorescenční spektrometrii** (AFS) a **neutronovou aktivační analýzu** (Neutron Activation Analysis, NAA). Tyto metody se k průzkumu památek používají zřídka, většinou se jimi zjišťují stopová množství prvků anorganických materiálů.

Ke kvalitativní a kvantitativní analýze anorganických látek, zejména pojiv a plniv malt, které bývají součástí omítek, štuků nebo například tmelů, jsou dále vhodné termické metody **diferenční termické analýzy** (Differential Thermal Analysis, DTA) a **termogravimetrie** (Thermogravimetry, TG) apod.

Organické i anorganické materiály lze identifikovat, ale také kvantifikovat pomocí metod **absorpční UV-VIS spektrometrie**¹⁰⁸ (UV-VIS Absorption Spectroscopy) a **fluorescenční spektrometrie** (Fluorescence Spectrometry). Využívají se k analýze výtvarných materiálů, zejména pojiv, plniv a pigmentů.

V dnešní době je stále častěji využívána při detailní analýze zejména přírodních proteinových, případně pryskyřičných pojiv technika **hmotnostní spektrometrie MALDI-TOF** (Matrix Assisted Laser Desorption/Ionisation – Time Of Flight). K přesné identifikaci vybraných organických látek lze dále aplikovat chromatografické metody a jejich kombinace s dalšími technikami, zejména **tenkovrstvou chromatografií** (Thin Layer Chromatography, TLC), **vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií** (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) nebo **pyrolyzní plynovou chromatografií v kombinaci s hmotnostní spektrometrií** (Pyrolysis Gas Chromatography–Mass Spectrometry, PyGC-MS). Vzhledem k rozvoji, dostupnosti i efektivitě ostatních instrumentálních technik je jejich využití méně časté a spíše se omezuje na úzkou skupinu organických materiálů, například organická barviva, která bývají nejčastěji součástí barevných vrstev a textilií. Spíše ojediněle se k organické analýze využívá také **nukleární magnetická rezonanční spektroskopie** (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR).¹⁰⁹

Většina z uvedených analytických metod je ke vzorku destruktivní. V dalších specifických případech materiálového průzkumu předmětů kulturního dědictví nacházejí využití i jiné instrumentální analytické metody, jejichž podrobný přehled je možné nalézt v odborné literatuře.¹¹⁰

4.4 Vybrané datovací metody

Datovací metody slouží k určení stáří. Z exaktních, respektive absolutních, metod datování historických materiálů se nejčastěji využívají dendrochronologické datace dřeva, datace pomocí izotopu uhlíku ¹⁴C, případně luminiscenční metody, zejména termoluminiscenční a opticky stimulované luminiscenční datování. Každá datovací metoda využívá různé instrumentální techniky.

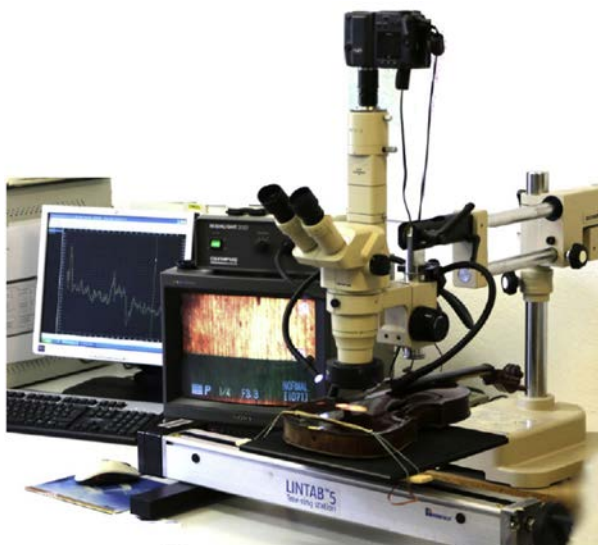
Dendrochronologie (Dendrochronology) je metoda datování dřeva založená na měření šířek letokruhů. Princip datace spočívá v porovnání letokruhového řady zkoumaného předmětu s databází letokruhových řad známé datace, tzv. standardní chronologií. Touto metodou lze teoreticky datovat všechny druhy dřevěných předmětů, tedy například deskové obrazy, nábytek, rámy nebo dřevořezby. Standardně se dendrochronologie využívá při dataci staveb a jejich částí. Letokruhovému řadu může být měřena v laboratoři na odebraném vzorku (většinou vrtu) nebo přímo na objektu. Úspěšnost datace závisí na několika faktorech, zejména na počtu letokruhů získané letokruhovému řady, přítomnosti podkorního letokruhu, typu dřeviny a regionu. Minimální počet letokruhů postačující k dataci se podle situace může lišit. V odborné literatuře se většinou pro orientaci uvádí průměrný počet asi 40 letokruhů, na jehož základě lze většinou v optimální situaci dřevo datovat. Přesné datování dřeva je možné na letokruhových řadách obsahujících podkorní letokruh, který datuje rok smýcení stromu. Pokud se tento letokruh na předmětu ne-

108 Měření neinvazivní reflexní spektrometrií se většinou realizuje v různých kombinacích ultrafialové (UV), viditelné (VIS) a blízké (NIR) infračervené oblasti elektromagnetického spektra. Při průzkumech *in situ* se často můžeme setkat s použitím spektrometrů s vláknovou optikou, metoda potom nese název Fiber Optic Reflectance Spectroscopy (FORS).

109 PECHÁČKOVÁ, 2010; MAZZEO ed., 2016, s. 81.

110 VARELLA ed., 2013; NOVOTNÁ, KARHAN, PECHOVÁ, 2001; ARTIOLI, 2010; JANSSENS, VAN GRIEKEN, eds., 2004; MAZZEO ed., 2016; KOPECKÁ, NEJEDLÝ, 2005; STUART, 2007.

nachází, většinou se stanovuje poslední rok, po kterém byl strom skácen. Vyhodnocené se provádí pomocí datovacího programu.¹¹¹ Šířku letokruhů lze měřit neinvazivně přímo na předmětu nebo jeho tomografickém záznamu, případně invazivně na odebraném vzorku.



Obr. 52 Technika pro dendrochronologickou dataci zahrnující stereoskopický mikroskop s digitálním záznamem, pohyblivý měřicí stůl a vyhodnocení počítačem.¹¹²

Datace izotopem uhlíku ^{14}C (Radiocarbon ^{14}C dating), jinak **radiokarbonovou metodou**, se úspěšně využívá při datování organických materiálů. Pomocí této metody je například možné datovat dřevo včetně uhlíků, papír, pergamen, textilie, useň, organická adheziva, laky, záznamové prostředky atd. Metodu lze dále použít k dataci organických pojiv barevných vrstev a ve výjimečných případech také při datování anorganických materiálů. Jedním ze zásadních problémů datace je výběr a selekce vhodného vzorku.¹¹³ Zjednodušeně lze uvést, že při výběru vhodné metody a při optimálních podmínkách

měření lze dospět k chybě datování přibližně 0,2 % se vzorkem o hmotnosti několika miligramů¹¹⁴. Princip metody je založen na stanovení množství radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C v materiálu, které se postupem doby v neživém materiálu definovaně snižuje v důsledku postupného přirozeného rozpadu izotopu. Aktuální množství izotopu ^{14}C potom odpovídá stáří materiálu.¹¹⁵

Metody datování na bázi **termoluminiscence** (Thermoluminescence, TL) a **opticky stimulované luminiscence** (Optically Stimulated Luminescence, OSL) jsou vhodné k dataci anorganických materiálů, především malt nebo keramiky. Termoluminiscenční metodou se zjišťuje doba od tepelného opracování materiálu vysokými teplotami, například pálení keramiky, tavení apod. Je zapotřebí znát historii vzorku například z hlediska opětovného namáhání vysokými teplotami materiálu, například v důsledku požáru, které by dataci mohlo znemožnit. Při opticky stimulované luminiscenci se stanovuje okamžik posledního vystavení vzorku osvit. Toho lze využít zejména při dataci omítek, přesněji řečeno křemenných a jiných silikátových zrn, které jsou součástí jejich plniva. Klíčové je pro tyto datovací metody vhodně provedený výběr i odběr vzorků.¹¹⁶

4.5 Další metody invazivního průzkumu

Z invazivních diagnostických metod se v praxi nejčastěji používají metody **odporového vrtání** (Drilling Resistance) nebo **zarážení trnu** (Impact Resistance), další zkoušky **mechanických vlastností** (Mechanical Testing) materiálů a dále metody zaměřené na povrchové úpravy, případně jiné vrstvy, kterými lze například vyhodnotit jejich soudržnost nebo přídržnost. Uvedené metody jsou spíše využívány k řešení specifických problematik.¹¹⁷ Dále se invazivním způsobem stanovuje **vlhkost** materiálů, například dřeva, kamene a omítek. Použití odporových vlhkoměrů je možné považovat za částečně invazivní metodu, jelikož měření vyžaduje zabodnutí dvou kovových sond (trnů) do materiálu. Nejpresnější je **vážková metoda stanovení obsahu vlhkosti**, která ovšem vyžaduje odběr vzorku. Metoda je založena na zjištění rozdílu hmotnosti odebraného a vysušeného vzorku, jež odpovídá množství vlhkosti v materiálu.

¹¹¹ JURČÍK, 2012.

¹¹² ČUFAR, BEUTING, DEMŠAR, MERELA 2017.

¹¹³ HENDRIKS et al., 2018.

¹¹⁴ IENA, 2011 s. 9.

¹¹⁵ DOMÉNECH-CARBO et al., 2009, s. 29–30; IENA, 2011 s. 86. Radiouhlíkové datování je prakticky použitelné pro vzorky, které nejsou starší než 55 000–60 000 let. Někdy lze datovat starší vzorky, měření ale bývá zatíženo větší chybou.

¹¹⁶ ARTIOLI 2010, s., 189–191.

¹¹⁷ KLOIBER, 2007; UNGER, A., SCHNIEWIND, UNGER, W., 2001, s. 144–148; DRDÁČKÝ, SLÍŽKOVÁ, VALACH ed., 2015.

5 Seznam zkratek

zkratka	český název	anglický název
μ	mikro	Micro
AAS	atomová absorpční spektrometrie	Atomic Absorption Spectroscopy
AES	atomová emisní spektrometrie	Atomic Emission Spectroscopy
AFS	atomová fluorescenční spektrometrie	Atomic Fluorescence Spectroscopy
^{14}C	izotop uhlíku ^{14}C	Carbon-14, Radiocarbon ^{14}C
CT	výpočetní tomografie	Computed Tomography
DTA	diferenční termické analýzy	Differential Thermal Analysis
FC	falešné barvy	False Color
FORS	reflexní spektroskopie s vláknovou optikou	Fiber Optic Reflectance Spectroscopy
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
μFTIR	infračervená mikrospektroskopie	Infrared Microspectroscopy
pFTIR	přenosná infračervená spektroskopie	Portable Infrared Spectroscopy
GC	plynová chromatografie	Gas Chromatography
GC-MS	plynová chromatografie – hmotnostní spektrometrie	Gas Chromatography-Mass Spectrometry
HPLC	vysokoúčinná kapalinová chromatografie	High-Performance Liquid Chromatography
IR	infračervený	Infrared
IRR	infračervená reflektografie	Infrared Reflectography
IRR-FC	infračervená reflektografie ve falešných barvách	Infrared-Reflected False-Color
λ	vlnová délka	Wavelength
MALDI-TOF	hmotnostní spektrometrie MALDI-TOF	Matrix Assisted Laser Desorption /Ionisation-Time Of Flight
MS	hmotnostní spektrometrie	Mass Spectrometry
NAA	neutronová aktivací analýza	Neutron Activation Analysis
NIR	blízká infračervená oblast	Near Infrared
NMR	nukleární magnetická rezonance	Nuclear Magnetic Resonance
OCT	optická koherentní tomografie	Optical Coherence Tomography
OM	optická mikroskopie	Optical Microscopy
OSL	opticky stimulovaná luminiscence	Optically Stimulated Luminescence
p	přenosný	Portable
PIXE	protony indukovaná rentgenová emise	Proton Induced X-Ray Emission
pPIXE	přenosná protony indukovaná rentgenová emise	Portable Proton Induced X-Ray Emission
PyGC-MS	pyrolýzní plynová chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektrometrií	Pyrolysis Gas Chromatography-Mass Spectrometry
pRFA	přenosná (ruční) rentgenová analýza	Portable Hand-Held X-ray Analysis
RGB	červená-zelená-modrá	Red-Green-Blue
RS	Ramanova spektroskopie	Raman Spectroscopy
μRS	Ramanova mikrospektroskopie	Raman Microspectroscopy
pRS	přenosná Ramanova spektroskopie	Portable Raman Spectroscopy
SEM	skenovací elektronová mikroskopie	Scanning Electron Microscopy
SEM-EDX	skenovací elektronová mikroskopie s rentgenovou energiově disperzní analýzou	Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Analysis
SERS	povrchem zesílený Ramanův rozptyl	Surface-Enhanced Raman Spectroscopy
SERRS	povrchem zesílený rezonanční Ramanův rozptyl	Surface-Enhanced Resonance Raman Scattering
TA	termická analýza	Thermal Analysis

TEM	transmisní elektronové mikroskopie	Transmission Electron Microscopy
TG	termogravimetrie	Thermogravimetry
TL	termoluminiscenční	Thermoluminescence
TLC	tenkovrstvá chromatografie	Thin-Layer Chromatography
UV	ultrafialový	Ultraviolet
UVA	dlouhovlnné ultrafialové záření	Ultraviolet A
UVB	středněvlnné ultrafialové záření	Ultraviolet B
UVC	krátkovlnné ultrafialové záření	Ultraviolet C
UVF	ultrafialová fluorescence	Ultraviolet Fluorescence
UVL	ultrafialová luminiscence	Ultraviolet Luminescence
UVR	ultrafialová reflektografie	Ultraviolet Reflectography
UVR-FC	ultrafialová reflektografie ve falešných barvách	Ultraviolet-Reflected False-Color
VIL	infračervená luminiscence buzená viditelným světlem	Visible-Induced Infrared Luminescence
VIS	viditelný	Visible
XRD	rentgenová difrakce	X-ray Diffraction
pXRF	přenosná (ruční) rentgenová fluorescence	Portable Hand-Held X-ray Fluorescence

6 Seznam pojmů¹¹⁸

pojem	popis pojmu
analytické (<i>analytical</i>) metody	metody, které poskytují informace o kvantitativním nebo kvalitativním chemickém složení
„benchtop“ přístroj	stacionární, laboratorní přístroj, který není určen k přenášení nebo transportu
destruktivní (<i>destructive</i>) metoda	použitím metody dochází ke změně nebo zničení vzorku
diagnostický (<i>diagnostic</i>) průzkum	pro účely textu je pojem zúžen na zjišťování mechanických a fyzikálních veličin, které přinášejí poznatky o stavu zkoumaného předmětu
elektromagnetické (<i>electromagnetic</i>) záření	projev elektromagnetického pole, skládá se z elektrické a magnetické složky
<i>ex situ</i>	mimo místo, mimo místo uložení předmětu
fluorescence (<i>fluorescence</i>)	vyzařované záření s menší vlnovou délkou, než má budící zdroj
gama (<i>gamma</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 10 fm – 0,001 nm
hloubkový profil	sled superponovaných vrstev
hyperspektrální zobrazování (<i>hyperspectral imaging</i>)	sbírá stovky záznamů (obrazů) v mnoha spektrálních oblastech
<i>in situ</i>	na místě, v místě uložení předmětu
infračervené (<i>infrared</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 760 nm – 1 mm
invazivní (<i>invasive</i>)	dochází ke změně předmětu, poškození nebo úbytku materiálu, bývá pro něj charakteristický odběr vzorku
kvalitativní (<i>quantitative</i>) analýza	výsledkem je informace o množství (např. látek, prvků)
kvantitativní (<i>qualitative</i>) analýza	výsledkem je informace o druhu (látek, prvků), čím je materiál tvořen
mapování (<i>mapping</i>)	záznam plošné distribuce jevu, např. analytické informace
mikrodestruktivní (<i>microdestructive</i>) metoda	změna nebo úbytek vzorku jsou velmi malé, zanedbatelné
mikrofotografie (<i>microphotography</i>)	fotografie získaná mikroskopickou technikou, v mikroměřítku
mikroinvazivní (<i>microinvasive</i>) průzkum	dochází k zanedbatelné změně zkoumaného předmětu, respektive k odběru vzorků mikroskopické velikosti

¹¹⁸ ISO 21348, 2007. International standard: Space environment (natural and artificial). Process for determining solar irradiances. Technical Committee ISO/TC 20/SC 14 Space systems and operations, ZÁRUBA, 2016; KUBIČKA, ZELINGER, 2004; BERSANI, 2016; MAZZEO ed., 2016; VANDENABEELE, EDWARDS, JEHLIČKA, 2014.

mikrovlnné (<i>microwave</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 1–15 mm
mobilní (<i>mobile</i>) přístroje	určeny k opakovanému snadnému přemístění, větší než přenosný nebo může být synonymem k pojmu přenosný
molekulová (<i>molecule</i>) analýza	poskytuje informace o molekulovém kvalitativním nebo kvantitativním zastoupení
monochromatický (<i>monochromatic</i>)	jednobarevný
multispektrální zobrazování (<i>multispectral imaging</i>)	sbírány desítky záznamů (obrazů) v mnoha spektrálních oblastech
nábrus (<i>cross section</i>)	příčný řez vzorkem z jedné strany, nelze pozorovat v průchodu
nedestruktivní (<i>nondestructive</i>) metoda	použitím metody nedochází ke změně nebo zničení vzorku
neinvazivní (<i>noninvasive</i>)	nedochází ke změně předmětu nebo úbytku materiálu
„palm“ přístroj	přístroj menší velikosti a hmotnosti než ruční přístroj, vejde se téměř celý do ruky
pentimenti	autorská změna
polarizované (<i>polarized</i>) světlo	světlo kmitající v jedné rovině
polychromatický (<i>polychromatic</i>)	mnohobarevný
prvková (<i>elemental</i>) analýza	poskytuje informace o prvkovém kvalitativním nebo kvantitativním zastoupení
přenosné (<i>portable</i>) přístroje	jsou uzpůsobeny ke snadnému a opakovanému převozu a přenášení
příčný řez vzorkem (<i>section</i>)	řez vzorkem v rovině kolmé na jeho vrstvy
radiové (<i>radio</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 0,1 nm – 100 m
reflexe (<i>reflection</i>)	odraz
rentgenové (<i>roentgen</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 0,001–0,1 nm
reprezentativní vzorek	vzorek nesoucí informaci o celku, případně studovaném jevu
rozlišovací schopnost mikroskopická	minimální vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů
rozlišovací schopnost spektrální	minimální šířka ještě rozlišitelných spektrálních čar nebo píků spektra
ruční (<i>hand-held</i>) přístroje	malé, lehké a kompaktní přístroje, kterými lze měření uskutečnit z ruky
skenovací (<i>scanning</i>) techniky	dochází k postupnému snímání nebo analýze předmětu, případně jeho části, výstup je složením dílčích měření nebo zobrazení
spektrum (<i>spectrum</i>)	zobrazení závislosti intenzity na veličině charakterizující energii
stratigrafie (<i>stratigraphy</i>)	vrstevnatost
stratigrafické plošné sondy	postupný plošný odkryv vrstev za účelem odhalení způsobu vrstvení
širokospektrální (<i>broadband</i>) záření	zahrnující větší oblast elektromagnetického spektra
transmise (<i>transmission</i>)	průchod
transportovatelné (<i>transportable</i>) přístroje	přemístění přístroje k předmětu je zejména kvůli robustnosti a hmotnosti obtížnější
vláknová optika (<i>fiber optics</i>)	umožňuje měření mimo přístroj pomocí optického vlákna
viditelné (<i>visible</i>) světlo	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 380–760 nm
výbrus (<i>thin section</i>)	tenký příčný řez vzorkem ze dvou stran, lze pozorovat v průchodu
ultrafialové (<i>ultraviolet</i>) záření	elektromagnetické záření s vlnovými délkami 100–400 nm
zobrazovací (<i>imaging</i>) metody	výstupem metody je obraz, výsledek lze zhodnotit vizuálně

7 Vybraná literatura

- ARTIOLI, Gilberto. *Scientific methods and cultural heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*. Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0199548262.
- BEZDĚK, Ladislav a FROUZ, Martin. *Digitální a digitalizovaná fotografie pro vědecké účely v památkové péči*. Praha: Národní památkový ústav, 2014. ISBN 978-80-7480-017-7.
- BREJCHA, Marcel et al. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*. Národní památkový ústav, 2015.
- ČERMÁKOVÁ, Zdeňka a KOSAŘOVÁ, Veronika. *Přenosné přístroje pro infračervenou a Ramanovu spektroskopii. Metodika pro jejich použití v neinvazivním průzkumu malířských děl in situ*. Akademie výtvarných umění v Praze, laboratoř ALMA, 2015.
- ČSN EN 15758, 2011. Ochrana kulturního dědictví – Postupy a přístroje pro měření teploty vzduchu a teploty povrchů objektů. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.
- DERRICK, Michele R., STULÍK, Dušan a LANDRY, James M. *Infrared spectroscopy in conservation science (scientific tools for conservation)*. J. Paul Getty Trust, 1999. ISBN 0-89236-469-6.
- DAVIES, Adrian. *Digital ultraviolet and infrared photography*. 2018. ISBN: 9 78-1-138-20016-6.
- DRYER, Joanne, VERRI, Giovanni a CUPITT, John. *Multispectral imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A user Manual*. The British Museum, Version 1.0, 2013.
- DRYER, Joanne, TAMBURINI, Diego, O'CONNELL, Elisabeth R. a HARRISON, Anna. A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLoS ONE*. 13, 10: e0204699, 2018.
- DRDÁČKÝ, Miloš, SLÍŽKOVÁ, Zuzana a VALACH, Jaroslav ed. *Příspěvek technických věd k záchraně a restaurování památek*. 2015. e-ISBN 978-80-86246-49-9. Roles Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing – review & editing
- EASTAUGH, Nicholas, WALSH, Valentine, CHAPLIN, Tracey a SIDDALL, Ruth. *Pigment Compendium*. Routledge, New York, 2013. ISBN 978-0-7506-8980-9.
- EN 16085, 2012. Conservation of Culture property – Methodology for sampling for materials of culture property – General rules. Technical Committee CEN/TC 346 Conservation of cultural property.
- HRADLOVÁ, Janka a HRADIL, David. *Neinvazivní průzkum malířských výtvarných děl radiografickými a rentgen-fluorescenčními metodami*. Praha: Akademie výtvarných umění, 2015. ISBN 978-80-87108-60-4.
- CHLUMSKÁ, Štěpánka et al. *Materiálový průzkum a dokumentace středověkých děl. Deskové malířství a sochařství 1300–1530. Památkový postup*. Národní Galerie v Praze, 2017. ISBN 978-80-7035-670-8.
- ISO 21348, 2007. International standard: Space environment (natural and artificial). Process for determining solar irradiances. Technical Committee ISO/TC 20/SC 14 Space systems and operations.
- JANSSENS, Koen a VAN GRIEKEN, Rene, eds. *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials*. Elsevier. 2004, s. 44–54. ISBN 0-444-50738-8.
- KOPECKÁ, Ivana a NEJEDLÝ, Vratislav. *Průzkum historických materiálů: analytické metody pro restaurování a památkovou péči*. Praha: Grada Publishing a. s., 2005. ISBN 80-247-1060-9.
- MAZZEO, Rocco ed. *Analytical chemistry for cultural heritage*. Springer, 2016. ISBN 978-3-319-52802-1.
- NOVOTNÁ, Miroslava, KARHAN, Jiří a PECHOVÁ, Dorothea. *Metody instrumentální analýzy při průzkumu památek*. STOP, 2001.
- STONER, Joyce Hill a RUSHFIELD, Rebecca Anne. *Conservation of easel painting*. Routledge, 2012. ISBN 978-0-7506-8199-5.
- STUART, Barbara. *Analytical techniques in materials conservation*. John Wiley & Sons Ltd. 2007. ISBN 978-0-470-01280-2.
- ŠIMŮNKOVÁ, Eva a BAYEROVÁ, Tatiana. *Pigmenty*. STOP, 2014. ISBN 978-80-86657-17-2.
- VARELLA, Evangelia A., ed. *Conservation science for the cultural heritage. Application of instrumental analysis*. Springer, 2013. ISBN 978-3-642-30984-7.
- VERRI, Giovanni a SAUNDERS, David. Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Research Bulletin*. 8, 2014, s. 83–92.
- ZÁRUBA, Kamil et al. *Analytická chemie (1. díl)*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2016. ISBN 978-80-7080-950-1.
- ZÁRUBA, Kamil et al. *Analytická chemie (2. díl)*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2016. ISBN 978-80-7080-951-8.

8 Seznam literatury

- ABDRABROU, Ahmed et al. Investigation of an ancient Egyptian polychrome wooden statuette by imaging spectroscopy. *International Journal of Conservation Science*, 9, 1, 2018, s. 39–54.
- ADRIAENS, Annemie. Non-destructive analysis and testing of museum objects: An overview of 5 years of research. *Spectrochimica Acta Part B*. 60, 2005. s. 1503–1516.
- ALFELD, Matthias a BROEKAERT, José A. C. Mobile depth profiling and sub-surface imaging techniques for historical paintings. A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 88, 2013. s. 211–230.
- AMBROSINI, Dario et al. Integrated reflectography and thermography for wooden paintings diagnostics. *Journal of Cultural Heritage*. 11, 2010, s. 196–204.
- ANDERSSON, Elise a CATTERSEL, Vincent. A Dutch seventeenth-century European lacquer cabinet. Material-technical analysis to gain insight into the deteriorated surface. Thirteenth International Symposium on Wood and Furniture Conservation. 2017, s. 190–206. Dostupné z: http://www.ebenist.org/wp-content/uploads/2017/11/Andersson_LR.pdf
- ARTIOLI, Gilberto. *Scientific methods and cultural heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*. Oxford University Press, 2010. ISBN 978–0199548262.
- BERSANI, Danilo et al. Methodological evolutions of Raman spectroscopy in art and archaeology. *Analytical Methods*. 8, 2016, s. 8395–8409.
- BEZDĚK, Ladislav a FROUZ, Martin. *Digitální a digitalizovaná fotografie pro vědecké účely v památkové péči*. Praha: Národní památkový ústav, 2014. ISBN 978–80–7480–017–7.
- BIGRAS, Carl, CHOQUETTE, Milene a POWELL, Jeremy. *Lighting methods for photographing museum objects*. Canadian Conservation Institute, 2010. ISBN 978–0–660–19995–5.
- BONIZZONI, Letizia et al. A multidisciplinary materials characterization of a Joannes Marcus viol (16th century). *Heritage Science*. 2:15, 2014.
- BOUTE, Rosa et al. Revisiting reflectance transformation imaging (RTI): A tool for monitoring and evaluating conservation treatments. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 364, 1, 2018, s. 1–11.
- BRECOULAKI, Hariclia et al. Characterization of organic media in the wall-paintings of the “Palace of Nestor” at Pylos, Greece: evidence for a secco painting techniques in the Bronze Age. *Journal of Archaeological Science*. 39, 9, 2012, s. 2866–2876.
- BREJCHA, Marcel et al. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*. Národní památkový ústav, 2015.
- BURGIO, Lucia et al. Identification, characterisation and mapping of calomel as ‘mercury white’, a previously undocumented pigment from South America, and its use on a *barniz de Pasto* cabinet at the Victoria and Albert Museum. *Microchemical Journal*. 143, 2018, s. 220–227.
- CALLIGARO, Thomas, GONZALEZ, Victor a PICHON, Laurent. PIXE analysis of historical paintings: Is the gain worth the risk? *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 363, 2015, s. 135–143.
- CAMPBELL, Donald H. *Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker*. Portland Cement Association, 1999.
- COMELLI, Daniela et al. Insights into Masolino’s wall paintings in Castiglione Olona: Advanced reflectance and fluorescence imaging analysis. *Journal of Cultural Heritage*. 12, 2011, s. 11–18.
- CONSTANTINI, Ilaria, CASTRO, Kepa a MADARIAGA, Juan Manuel. Portable and laboratory analytical instruments for the study of materials, techniques and environmental impacts in mediaeval mural paintings. *Analytical Methods*. 10, 2018, s. 4854–4870.
- COSENTINO, Antonio. Macro photography for reflectance transformation imaging: a practical guide to the highlights method. *E-conservation Journal*, 1, 2013, s. 71–85.

- COSENTINO, Antonio. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*. 2:8, 2014.
- COSENTINO, Antonio. Panoramic infrared reflectography. Technical recommendations. *International Journal of Conservation science*. 5, 1, 2014, s. 51–60.
- COSENTINO, Antonio. Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*. 21, 2015, s. 53–62.
- COSENTINO, Antonio. Effects of different binders on technical photography and infrared reflectography of 54 historical pigments. *International Journal of Conservation Science*. 6, 3, 2015, s. 287–298.
- COSENTINO, Antonio. Panoramic, macro and micro multispectral imaging: An affordable system for mapping pigments on artworks. *Journal of Conservation and Museum Studies*. 13(1), 6, 2015 s. 1–17.
- COSENTINO, Antonio. Terahertz and cultural heritage science: examination of art and archaeology. *Technologies*. 4 (1), 6, 2016.
- ČERMÁKOVÁ, Zdeňka a KOSAŘOVÁ, Veronika. *Přenosné přístroje pro infračervenou a Ramanovu spektroskopii. Metodika pro jejich použití v neinvazivním průzkumu malířských děl in situ*. Akademie výtvarných umění v Praze, laboratoř ALMA, 2015.
- ČSN EN 15758, 2011. Ochrana kulturního dědictví – Postupy a přístroje pro měření teploty vzduchu a teploty povrchů objektů. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.
- DAFFARA, Claudia a FONTANA, Raffaella. Multispectral infrared reflectography to differentiate features in paintings. *Microscopy and Microanalysis*, 17, 5, 2011, s. 691–695.
- DANDOLO, Corinna Ludovica Koch, JEPSEN, Peter Uhd and CHRISTENSEN, Mads C. Characterization of European lacquers by terahertz (THz) reflectometric imaging. In: *IEEE Proceedings of the 1st Digital Heritage Conference*, 2013, s. 89 – 94. [EEE.10.1109/DigitalHeritage.2013.6743717](https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743717)
- DAVERI, Alessia et al. Visible-induced luminescence imaging: A user-friendly method based on a system of interchangeable and tunable LED light sources. *Microchemical Journal*, 125, 216, s. 130–141.
- DAVIES, Adrian. *Digital ultraviolet and infrared photography*. 2018. ISBN: 9 78-1-138-20016-6.
- DRDÁČKÝ, Miloš, SLÍŽKOVÁ, Zuzana a VALACH, Jaroslav ed. *Příspěvek technických věd k záchraně a restaurování památek*. 2015. e-ISBN 978-80-86246-49-9.
- DRYER, Joanne, VERRI, Giovanni a CUPITT, John. *Multispectral imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A user Manual*. The British Museum, Version 1.0, 2013.
- DRYER, Joanne, TAMBURINI, Diego, O'CONNELL, Elisabeth R. a HARRISON, Anna. A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLoS ONE*. 13, 10: e0204699, 2018. Roles Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing – review & editing
- DERRICK, Michele R., STULÍK, Dušan a LANDRY, James M. *Infrared spectroscopy in conservation science (scientific tools for conservation)*. J. Paul Getty Trust, 1999. ISBN 0–89236–469–6.
- DONI, Giulia et al. Thermographic study of the illuminations of a 15th century antiphonary. *Journal of Cultural Heritage*, 2014, 15, s. 692–697.
- DUNKERTON, Jill a WHITE, Raymond. The discovery and identification of an original varnish on a panel of Carlo Crivelli. *National Gallery Technical Bulletin*. London, 21, 2000. s. 70–76.
- EASTAUGH, Nicholas, WALSH, Valentine, CHAPLIN, Tracey a SIDDALL, Ruth. *Pigment Compendium*. Routledge, New York, 2013. ISBN 978–0–7506–8980–9.
- ELIAS, Mady, MAS, Nadejda a COTTE, Pascal. Review of several optical non-destructive analyses of an easel painting. Complementarity and crosschecking of the results. *Journal of Cultural Heritage*. 12, 2011, s. 335–345.
- EN 16085, 2012. Conservation of Culture property – Methodology for sampling for materials of culture property – General rules. Technical Committee CEN/TC 346 Conservation of cultural property.

- ENGEL, Joakim. *3D applications in museological context*. København, 2011. Diplomová práce. The Royal Danish Academy of Fine Arts, Denmark.
- FAVERO, Patricia et al. Reflectance imaging spectroscopy and synchrotron radiation X-ray fluorescence mapping used in a technical study of The Blue Room by Pablo Picasso. *Heritage Science*, 5:13, 2017.
- FERRI, Lavinia et al. Non-invasive study of natural dyes on historical textiles from the collection of Michelangelo Guggenheim. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 204, 2018, s. 548–567.
- GARGANO, Marco et al. Study the Giotto's workshop in the XXI century: looking inside the "God the Father with Angels" gable. *Journal of Cultural Heritage*, 36, 2019, s. 255–263.
- GUIDI, Gabriele, ATZENI, Carlo, SERACINI, Maurizio a LAZZARI, Sara. Painting Survey by 3D Optical Scanning. The case of adoration of the magi by Leonardo da Vinci. *Studies in Conservation*. 42, 2004, s. 1–12.
- HAYEM-GHEZ, Anita et al. Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Applied Physics A*. 121, 2015, s. 939–947.
- HENDRIKS, Laura et al. Combined ¹⁴C analysis of canvas and organic binder for dating a painting. *Radiocarbon*, 60, 1, 2018, s. 207–218.
- HIRAYAMA, Airi. Development of a new portable X-ray powder diffractometer and its demonstration to on-site analysis of two selected old master paintings from the Rijksmuseum. *Microchemical Journal*. 138, 2018, s. 266–272.
- HRADILOVÁ, Janka a HRADIL, David. *Neinvazivní průzkum malířských výtvarných děl radiografickými a rentgen-fluorescenčními metodami*. Praha: Akademie výtvarných umění, 2015. ISBN 978–80–87108–60–4.
- HRADILOVÁ, Janka, HRADIL, David, TRMALOVÁ, Olga a ŽEMLIČKA, Jan. *Metodika pro vizualizaci vnitřní struktury malířského díla s využitím nových metod na bázi rentgenového záření*. Akademie výtvarných umění v Praze a Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT, 2015.
- CHLUMSKÁ, Štěpánka et al. *Materiálový průzkum a dokumentace středověkých děl. Deskové malířství a sochařství 1300–1530. Památkový postup*. Národní galerie v Praze, 2017. ISBN 978–80–7035–670–8.
- CHIARI, Giacomo, SARRATIN, Philippe a HEGINBOTHAM, Arlen. Non-conventional applications of a noninvasive portable X-ray diffraction/fluorescence instrument. *Applied Physics A*. 122:990, 2016.
- IEA – International Atomic Energy Agency. *Nuclear techniques for cultural heritage research*. Vienna International Atomic Energy Agency, 2011. ISBN 978–92–0–114510–9.
- ISO 21348, 2007. International standard: Space environment (natural and artificial). Process for determining solar irradiances. Technical Committee ISO/TC 20/SC 14 Space systems and operations.
- IWANICKA, Magdalena, SYLWESTRZAK, Marcin and TARGOWSKI, Piotr. Chapter 4 Optical coherence tomography (OCT) for examination of artworks. In: *Advanced characterization techniques, diagnostic tools and evaluation methods in heritage science*. 2018. ISBN: 978-3-319-75315-7.
- JANSSENS, Koen a VAN GRIEKEN, Rene, eds. *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials*. Elsevier. 2004, s. 44–54. ISBN 0–444–50738–8.
- JURČÍK, Josef. *Dendrochronologické datování a stavebně historické hodnocení krovu kostela sv. Anny v Rychvaldě*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, s. 7–20.
- KLOIBER, Michal. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007. Disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, s. 27.
- KOPECKÁ, Ivana a NEJEDLÝ, Vratislav. *Průzkum historických materiálů: analytické metody pro restaurování a památkovou péči*. Praha: Grada Publishing a.s., 2005. ISBN 80–247–1060–9.
- KOUTNÍK, Petr et al. *Dekorační kameny Čech, Moravy a Slezska*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015. ISBN 978–80–7414–974–0.
- KUBIČKA, Roman, ZELINGER, Jiří. *Výkladový slovník malířství, grafiky a restaurování*. Grada Publishing a. s. 2004. ISBN 80–247–9046–7.

- LANTERI, Luca, AGRESTI, Giorgia a PELOSI, Claudia. A New practical approach for 3D documentation in ultraviolet fluorescence and infrared reflectography of polychromatic sculptures as fundamental step in restoration. *Heritage*. 2, 2019, s. 207–215.
- LAUWERS, Debbie et al. Characterisation of a portable Raman spectrometer for *in situ* analysis of art objects. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 118, 2014, s. 294–301.
- LESNIAKOVÁ, P. Chemicko-technologický průzkum nástrovní malby Devíti kůrů andělských, Klenba hřbitovní kaple sv. Isidora v Křenově. Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2014. Součástí zprávy je protokol z měření metodou rentgenové mikrodifrakce, které provedl a protokol vypracoval RNDr. Petr Bezdička, Ph.D., z Ústavu anorganické chemie AV ČR, v.v.i. v Praze.
- LESNIAKOVÁ, P. Přírodovědný průzkum, Křenov, kaple sv. Isidora – pilastry. Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2014. Součástí zprávy je protokol z měření metodou GC–MS, který vypracoval a měření provedl Dr. Václav Pitthard z Kunst Historische Museum Wien.
- LIANG, Haida. Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation. *Applied Physics A*. 106, 2012, s. 309–323.
- LLUVERAS, Anna, BONADUCE, Ilaria, ANDREOTTI, Alessia a COLOMBINI, Maria Perla. GC/MS analytical procedure for the characterization of glycerolipids, natural waxes, terpenoid resins, proteinaceous and polysaccharide materials in the same paint microsample avoiding interferences from inorganic media. *Analytical Chemistry*. 82, 1, 2010, s. 376–386.
- MAC DONALD, Lindsay W. et al. Assessment of multispectral and hyperspectral imaging systems for digitisation of a Russian icon. *Heritage Science*. 5:41, 2017.
- MAZZEO, Rocco ed. *Analytical chemistry for cultural heritage*. Springer, 2016. ISBN 978–3–319–52802–1.
- MERCURI, Fulvio et al. Infrared emission contrast for the visualization of subsurface graphical features in artworks. *Infrared Physics & Technology*, 89, 2018, s. 223–230.
- MILIONOVÁ, Ivana. *Restaurování nástěnné malby na čelní stěně vítězného oblouku v kostele sv. Víta v Zahrádce. Průzkum nástěnných maleb pomocí UV luminiscence*. Litomyšl, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.
- MOUNIER, Aurélie et al. Hyperspectral imaging, spectrofluorimetry, FORS and XRF for the non-invasive study of medieval miniatures materials. *Heritage Science*. 2:24, 2014.
- NAKAI, Izumi a ABE, Yoshinari. Portable X-ray powder diffractometer for the analysis of art and archaeological materials. *Applied Physics A*. 106, 2, 2011, s. 279–293.
- NEJEDLÝ, Vratislav a GLÁSER, Petr. *Mariánský sloup v Poličce*. 1. Interdisciplinární restaurátorský průzkum. 2017. ISBN: 978–80–7480–094–8.
- NOVOTNÁ, Miroslava, KARHAN, Jiří a PECHOVÁ, Dorothea. *Metody instrumentální analýzy při průzkumu památek*. STOP, 2001.
- PALOMAR, Teresa, AGUA, Fernando a GOMES-HERAS, Miguel. Comparative assessment of stained-glass windows materials by infrared thermography. *International Journal of Applied Glass Science*, 9, 2018, s. 530–539.
- PECHÁČKOVÁ, Soňa. *Biochemické aspekty materiálového průzkumu přírodních poživ a laků v barevné vrstvě starých výtvarných děl*. Praha 2010. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- PERARDI, Alessandra, APOLLONIA, Lorenzo a MIRTÍ, Piero. Non-destructive *in situ* determination of pigments in 15th century wall paintings by Raman microscopy. *Analytica Chimica Acta*. 480, 2003, s. 317–325.
- PICOLLO, Marcello, FUKUNAGA, Kaori and LABAUNE, Julien. Obtaining noninvasive stratigraphic details of panel paintings using terahertz time domain spectroscopy imaging system. *Journal of Cultural Heritage*, 2015, 16, s. 73–80.
- PLZÁK, Jindřich. Dokumentace mincí výpočetní fotografickou metodou RTI. *Numismatické listy*. 71, 3–4, 2016, s. 169–174. ISSN 0029–6074.
- POLAK, Adam et al. Hyperspectral imaging combined with data classification techniques as an aid for artwork authentication. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 2017, s. 1–11.

- POTTIER, Fabien et al. Macroscopic reflectance spectral imaging to reveal multiple and complementary types of information for the non-invasive study of an entire polychromatic manuscript. *Journal of Cultural Heritage*. 35, 2019, s. 1–15.
- RE, Alessandro et al. X-ray tomography of large wooden artworks: the case study of „Doppio corpo“ by Pietro Pi-fetti. *Heritage Science*, 2:19. 2014.
- RIE, E. Rene. Fluorescence of paint and varnish layers (part 1). *Studies in Conservation*. 27, 1982, s. 1–7.
- RIVERS, Shayne a UMNEY, Nick. *Conservation of furniture*. Butterworth-Heinemann, 2003.
ISBN 10: 0–7506–09583.
- ROMANI, Aldo, CLEMENTI, Catia, MILIANI, Costanza a FAVARO, Gianna. Fluorescence Spectroscopy: A Powerful Technique for the Noninvasive Characterization of Artwork. *Accounts in Chemical Research*. 43, 6, 2010, s. 837–846.
- SALERNO, Emanuele et al. Analysis of multispectral images in cultural heritage and archaeology. *Journal of Applied and Laser Spectroscopy*, 1, 2014, s. 22–27.
- SANDU, Irina Crina Anca, JOOSTEN Ineke a LEAL Nuno. Optical imaging applications for the study of cultural heritage artifacts. *Advances in Laser and Optics Research*. 11, 2015, s. 1–46. ISBN 978–1–63463–494–6.
- SCIUTTO, Giorgiam A. et al. From macro to micro: An advanced macro X-ray fluorescence (MA-XRF) imaging approach for the study of painted surfaces. *Microchemical Journal*. 137, 2018, s. 277–284.
- SFARRA, Stefano et al. Subsurface imaging for panel paintings inspection: A comparative study of the ultraviolet, the visible, the infrared and the terahertz spectra. *Opto-Electronics Review*, 2015, 23, 1, s. 88–99.
- SCHAFFER, Erika. Fiber identification in ethnological textile artifacts. *Studies in Conservation*. 26, 1981, s. 119–129.
- SCHALM, Olivier et al. Improved radiographic methods for the investigation of paintings using laboratory and synchrotron X-ray sources. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 26, 2011, s. 1068–1077.
- SCHWEINGRUBER, Fritz Hans. *Microscopic wood anatomy; structural variability of stems and twigs in recent and subfossil woods from Central Europe*. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1990. ISBN 978–3–945–94113–3.
- SIMPSON GRANT, Martha. The use of ultraviolet induced visible-fluorescence in the examination of museum objects, Part I. *Conserve O Gram*. 1/9, 2000.
- SIMPSON GRANT, Martha. The use of ultraviolet induced visible-fluorescence in the examination of museum objects, Part II. *Conserve O Gram*. 1/10, 2000.
- SMITH, Margaret, THOMPSON, Karen a LENNARD Frances. A literature review of analytical techniques for materials characterisation of painted textiles—Part 2: spectroscopic and chromatographic analytical instrumentation. *Journal of the Institute of Conservation*. 40, 3, 1, 2017, s. 252–266.
- SPRING, Marika et al. Optical coherence tomography – a tool for high resolution non-invasive 3D-imaging of the subsurface structure of paintings. *ICOM COMMITTEE FOR CONSERVATION*. 2, 2008, s. 633–640.
- STONER, Joyce Hill a RUSHFIELD, Rebecca Anne. *Conservation of easel painting*. Routledge, 2012.
ISBN 978–0–7506–8199–5.
- STUART, Barbara. *Analytical techniques in materials conservation*. John Wiley & Sons Ltd. 2007.
ISBN 978–0–470–01280–2.
- SVAHN, Helene. *Non-destructive field tests in stone conservation. Final report for the research and development project*. 2006. ISBN 978–91–7209–434–5.
- ŠIMŮNKOVÁ, Eva a BAYEROVÁ, Tatiana. *Pigmenty*. STOP, 2014. ISBN 978–80–86657–17–2.
- TAMBURINI, Diego a DRYER, Joanne. Fibre optic reflectance spectroscopy and multispectral imaging for the non-invasive investigation of Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th–10th century AD). *Dyes and Pigments*. 162, 2019, s. 494–511.

- TONAZZINI, Anna et al. Analytical and mathematical methods for revealing hidden details in ancient manuscripts and paintings: A review. *Journal of Advanced Research*, 17, 2019.
- UNGER, Achim, SCHNIEWIND, Arno P., UNGER, Wibke. *Conservation of wooden artefacts A handbook*. Springer, 2001. ISBN 3-540-41580-7.
- VARELLA, Evangelia A., ed. *Conservation science for the cultural heritage. Application of instrumental analysis*. Springer, 2013. ISBN 978-3-642-30984-7.
- VERRI, Giovanni a SAUNDERS, David. Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Research Bulletin*. 8, 2014, s. 83-92.
- VANDENABEELE, Peter, EDWARDS, Howell G. M., JEHLIČKA, Jan. The role of mobile instrumentation in novel applications of Raman spectroscopy: archaeometry, geosciences, and forensics. *Chemical Society Reviews*, 43, 2014, s. 2628-2649.
- VANDENABEELE, Peter a DONAIS, Mary Kate. Mobile spectroscopic instrumentation in archaeometry research. *Applied Spectroscopy*, 70, 2016, s. 27-41.
- WARDA, Jeffrey, ed. *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. Washington, D.C.: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2011. ISBN 0-9760501-3-7.
- WEB, E. Keats et al. Spectral and 3D cultural heritage documentation using a modified camera. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2, 2018.
- ZAFFINO, Chiara et al. In-situ spectrofluorimetric identification of natural red dyestuffs in ancient tapestries. *Microchemical Journal*. 132, 2017, s. 77-82.
- ZÁRUBA, Kamil et al. *Analytická chemie (1. díl)*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2016. ISBN 978-80-7080-950-1.
- ZHANG, Hai et al. Non-destructive investigation of paintings on canvas by continuous wave terahertz imaging and flash thermography. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2017, 36 : 34.

