# Možnosti technické fotografie pořízené upraveným digitálním fotoaparátem při průzkumu uměleckých děl. Průběh fotografování, postprodukce – ultrafialová a infračervená fotografie, falešné barvy

**Petra Lesniaková, David Svoboda, Jan Vojtěchovský**
Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování

**KLÍČOVÁ SLOVA**
digitální fotografie a dokumentace – technická fotografie – vědecká fotografie – upravený digitální fotoaparát – infračervená fotografie – ultrafialová fotografie – infračervená a ultrafialová fotografie ve falešných barvách

**KEY WORDS**
digital photography and documentation – technical photography – scientific photography – modified digital camera – infrared photography – ultraviolet photography – infrared and ultraviolet false colour photography

## TECHNICAL PHOTOGRAPHY FOR EXAMINATION OF WORKS OF ART. EXPERIMENTAL SET-UP, IMAGE CAPTURING AND POST-PROCESSING – ULTRAVIOLET AND INFRARED REFLECTED PHOTOGRAPHY, FALSE COLOURS IMAGES

Infrared (IRR) and ultraviolet (UVR) photography are widely available imaging methods for the non-invasive investigation of cultural heritage objects, because they can be captured using inexpensive modified digital camera. Similarly, ultraviolet and infrared false colour photographs (UVRFC, IRRFC) can be achieved by modifying images and their combinations with the use of common computer programmes. The paper presents a part of a more extensive survey focusing on the current options of technical (broad-band) imaging using modified digital camera. Fundamental aspects of technical photography in the conservation practice are introduced, including the experimental set-up, radiation sources and setting up equipment, image capturing, post-processing, calibration principles and possibly the options of their standardization. The experimental part is particularly focused on ultraviolet and infrared reflected photography (UVR, IRR), their calibration and the post-processing. It also contains a detailed description of the creation of ultraviolet and infrared false colours images (UVRFC, IRRFC) based on the common method using commercially available *Adobe Photoshop* programme.

## Úvod

Cílem tohoto textu je přiblížit základní aspekty pořizování technické fotografie v praxi, zahrnující průběh snímání, principy kalibrace a standardizace snímků. V textu jsou stručně představeny dva dohledané okruhy metodického zpracování řešené problematiky včetně postprodukčních postupů založené na studiu zahraničí literatury. V teoretické rovině a následně v experimentální části jsou potom podrobně představeny především techniky ultrafialové (UVR) a infračervené (IRR) reflexní fotografie, jejich základní možnosti standardizace a postprodukce. V závěru jsou uvedeny některé procesy tvorby UV a IR reflexních snímků ve falešných barvách (UVRFC, IRRFC) běžným neboli „klasickým" způsobem v komerčně dostupné aplikaci *Adobe Photoshop*. Vybrané postupy, případně jejich rozdíly, byly demonstrovány na tabulce *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2 (X-Rite)*, která byla použita ke kalibraci fotografií, a zkušebním panelu s patnácti poli vybraných pigmentů.

Předkládaná studie[1], která navazuje a doplňuje již dříve publikovaný článek[2], je zaměřena na možnosti technické fotografie pořízené *„full-spectrum"* modifikovaným digitálním fotoaparátem. V předcházejícím článku byly stručně prezentovány základní metody širokospektrální fotografie, jejich principy i využití při průzkumech uměleckých děl. Zároveň zde byl podrobně uveden výběr vhodné fotografické techniky s příslušenstvím. Z běžných metod technické fotografie byla představena fotografie v rozptýleném bílém světle (VIS), infračervená fotografie (IRR), ultrafialová fotografie (UVR) a viditelná luminiscenční/fluorescenční fotografie generovaná UV zářením (tzv. UV luminiscenční/fluorescenční fotografie, UVL/UVF). Zároveň byly v předchozí publikaci stručně popsány méně známé metody technické fotografie zaznamenávající luminiscenci. Jsou jimi viditelná luminiscence generovaná viditelným světlem (VIVL) a infračervená luminiscence generovaná viditelným světlem (VIL).

Fotografie pro účely dokumentace a průzkumu má v oboru konzervování-restaurování svá specifika. Nejzásadnějším hlediskem je bezpochyby výpovědní hodnota, tedy pravdivost nebo také přesnost a jednoznačnost.[3] Ta bývá zajišťována tzv. objektivizačními prvky, což jsou nejčastěji na snímku zachycené kalibrační tabulky. Pomocí nich následně probíhá úprava snímků ve speciálních grafických programech. Zároveň je třeba připomenout, že i nestandardizované snímky mají bezpochyby důležitou výpovědní hodnotu, přestože mohou být problematické z hlediska vzájemné porovnatelnosti.

Podobné předpoklady platí pro všechny techniky širokospektrální (technické, vědecké) fotografie. Širokospektrální zobrazování většinou zaznamenává relativně široké a na sobě nezávislé oblasti elektromagnetického záření. Pokud je získáno pomocí modifikovaného fotoaparátu, výsledkem bývá širokospektrální fotografie v UVA-VIS-NIR[4] oblastech záření. Citlivost upraveného fotoaparátu se při běžné úpravě, tzv. *„full-spectrum"* konverzi, potom pohybuje v přibližném rozsahu vlnových délek 350–1100 nm. V oblasti péče o hmotné kulturní dědictví se využívají záznamy odraženého (reflexe), emitovaného (např. luminiscence/fluorescence), ale také procházejícího (transmise) záření.

**1 |** Tato studie shrnuje a předkládá výsledky diplomové práce: David Svoboda, *Restaurování skleněné mozaiky s motivem racka z dolní stanice lanovky na Pastýřskou stěnu v Děčíně. Restaurování kamenné mozaiky Ptačí rodina v ulici Lidická v Litomyšli. Technická fotografie v UV, IR záření a falešných barvách* (diplomová práce), Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Litomyšl 2020.

**2 |** Petra Lesniaková – David Svoboda – Jan Vojtěchovský, Možnosti technické fotografie pořízené upraveným digitálním fotoaparátem při průzkumu uměleckých děl. Vymezení pojmů a výběr vhodného vybavení, *e-Monumentica* VII, 2, 2019.

**3 |** Ladislav Bezděk – Martin Frouz, *Digitální a digitalizovaná fotografie pro vědecké účely v praxi památkové péče*, Praha 2014, s. 14.

**4 |** Dlouhovlnné ultrafialové záření (UVA), viditelné světlo (VIS) a blízká infračervená oblast záření (NIR).



Na tomto místě je vhodné zopakovat uplatnění diskutovaných zobrazovacích technik, tedy infračervené a ultrafialové reflexní fotografie (IRR, UVR) i snímků ve falešných barvách (UVRFC, IRRFC).[5] Asi nejrozšířenější uplatnění nacházejí tyto techniky při průzkumu a dokumentaci maleb, kreseb, iluminací, polychromií a povrchových úprav či textilií a děl písemné kultury.[6] Pokud bychom měli jmenovat konkrétní příklady, většinou umožňují zvýraznit, zviditelnit či lokalizovat aspekty původní techniky díla, stejně jako druhotné zásahy či poškození. Můžeme se tak dozvědět více o jednotlivých vrstvách díla, jako je podkresba, použité pigmenty[7], inkousty, lazury, či laky, stejně jako o přemalbách, retuších nebo tmelech.[8] Stejně tak můžeme lépe definovat degradované části, defekty nebo biologické napadení a mapovat jejich výskyt. Dalším přínosem je efektivnější lokalizace odběrů vzorků a snížení jejich počtu, jehož výsledkem je citlivější přístup k danému dílu. Tím lze poukázat na zásadní aspekt zobrazovacích technik, kterým je jejich úplná neinvazivnost.

Snímky ve falešných barvách se obecně mohou získat kombinací a úpravou jakýchkoliv snímků. Může tedy existovat nekonečně mnoho možností, jak snímky ve falešných barvách generovat. Záměrem je ještě více zviditelnit a rozlišit různé, zpravidla výše uvedené jevy. Jak bylo naznačeno, předmětem tohoto článku je představit „tradiční" způsob získání tzv. infračervených a ultrafialových snímků ve falešných barvách (UVRFC, IRRFC). Asi největším přínosem těchto snímků je rozlišení a mapování určitých pigmentů, případně jiných materiálů. V mnohem menší míře lze potom některé pigmenty identifikovat i v případě, že se vyznačují stejnou barevností. V této souvislosti je však nutno podotknout, že k identifikaci pigmentů na základě těchto technik je zapotřebí přistupovat s rozvahou a zároveň se doporučuje interpretované výsledky jednoznačně ověřit analytickými metodami.[9]

### Příprava scény, obecná doporučení

Zjednodušeně lze uvést, že se rozmístění fotografického vybavení řídí v běžných situacích obecnými pokyny pro vědeckou dokumentaci uměleckých děl [Obr. 1].[10] Doporučuje se přesně zaznamenat podmínky a parametry, při kterých jsou snímky pořizovány (nežádoucí záření, vzdálenosti), i přesný typ použité techniky s příslušenstvím. Preferuje se snímání za definovaných podmínek, kterého lze dosáhnout především ve fotografickém ateliéru.

Příprava scény zahrnuje optimální rozmístění fotoaparátu s příslušenstvím a zdrojů záření vzhledem k fotografovanému předmětu, ale také výběr a umístění objektivizačních prvků. Při běžných technikách bývá fotoaparát umístěn na stativu většinou před středem díla v pravém úhlu, ve vodorovné pozici a vhodné vzdálenosti, která bývá podmíněna ohniskovou vzdáleností objektivu. Základní sérii širokospektrálních fotografií je žádoucí snímat ze stejné polohy fotoaparátu a pokud možno také ohniskové vzdálenosti. Ozáření předmětu by mělo být rovnoměrné.

**5 |** Viz Lesniaková – Svoboda – Vojtěchovský (pozn. 2), s. 32–35. Jejich využití je obdobné jako u reflektografických metod (UV a IR reflektografie), které se na rozdíl od fotografických technik vyznačují použitím speciálních kamer.

**6 |** Jeffrey Warda (ed.), *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*, Second Edition, Washington DC 2011. Joanne Dyer – Diego Tamburini – Elisabeth R. O'Connell et al., A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt, *PLoS ONE*, 2018, č. 13 (10):e0204699, s. 1–33. Ahmed Abdabrou – Medhat Abdalla – Islam A. Shaheen et al., Investigation of an Ancient Egyptian Polychrome Wooden Statuette by Imaging and Spectroscopy, *International Journal of Conservation Science*, 2018, č. 9, s. 39–54. Antonino Cosentino – Milene Gil – M. Ribeiro et al., Technical photography for mural paintings: The newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy), *Conservar Património*, 2014, č. 20, s. 23–33. Anthony Pamart – Odile Guillon – Jean-Marc Vallet et al., Multispectral Photogrammetric Data Aquisition and Processing for Wall Paintings Studies, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, č. XLII-2/W3, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece.

**7 |** Antonino Cosentino, Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method, *Heritage Science*, 2014, č. 2:8, s. 1–12. Franz Mairinger, Ultraviolet, Infrared and X-ray Imaging, in: Koen Janssens – Rene Van Grieken edd., *Non-destructive Micro Analysis of Cultural Heritage Materials*, Amsterdam, 2004.

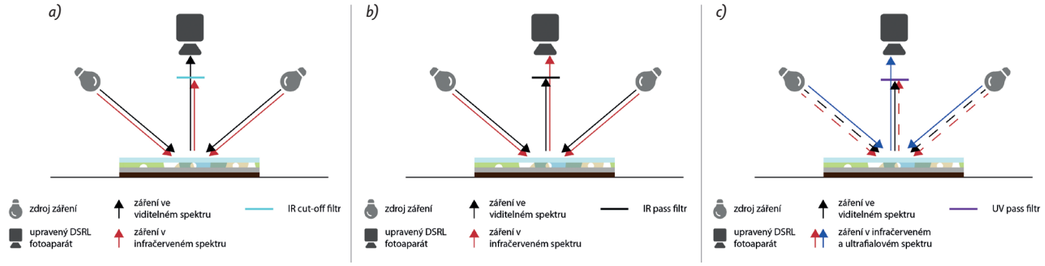
**8 |** Štěpánka Chlumská – Václava Antušková – Helena Dáňová et al., *Materiálový průzkum a dokumentace středověkých děl. Deskové malířství a sochařství 1300–1530. Památkový postup*, Národní Galerie v Praze, 2017. E. Keats Webb, Reflected infrared and 3D imaging for object documentation, *Journal of the American Institute for Conservation*, 2017, s.1–14. Marco Gargano – Nicola Ludwig – Gianluca Poldi, A new methodology for comparing IR reflectographic systems, *Infrared Physics & Technology*, 2007, č. 49, s. 249–253. Štěpánka Chlumská – Helena Dáňová et al., *Očím skryté. Průzkum podkreseb na deskových malbách 14–16. století ze sbírek Národní galerie v Praze*, Národní galerie v Praze, 2018.

**9 |** Antonino Cosentino, Infrared Technical Photography For Art Examination, *E-Preservation Science*, 2016, č. 13, s. 1–6. Valentina Venuti – Barbara Fazzari – Vincenza Crupi, In situ diagnostic analysis of the XVIII century Madonna della Lettera panel painting (Messina, Italy), *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2020, č. 228.

**10 |** Joanne Dyer – Giovanni Verri – John Cupitt, *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual*, London 2013, s. 59. Viz Warda (pozn. 6).

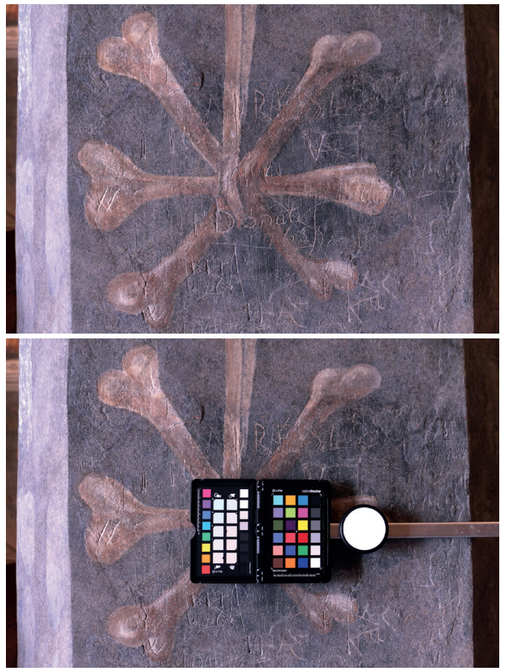
**11** | Viz Warda (pozn. 6), s. 113, 135. Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 59. Úhel svírající směr záření s rovinou předmětu 45° Warda nedoporučuje kvůli neakceptovatelné intenzitě lesků, doporučuje menší úhel, optimálně asi 25°.

Proto se většinou používají dva identické zářiče (světla) vhodné pro danou techniku. Jejich umístění bývá zrcadlové, přičemž v základních publikacích zaměřených na danou problematiku se doporučuje zdroje záření umístit v přibližném úhlu 25° až 45° k pomyslné rovině předmětu.[11] Vzdálenost zdrojů záření od objektu ovlivňuje výslednou expozici a řídí se výkonem použitých zářičů nebo také velikostí snímané plochy.




*Obr. 1* **Schéma snímání modifikovaným digitálním fotoaparátem: a) fotografie ve viditelném světle (VIS); b) infračervená reflexní fotografie (IRR); c) ultrafialová reflexní fotografie (UVR).** Autor schémat: David Svoboda

Objektivizační prvky (kalibrační tabulky, cíle) by měly být umístěny v rovině předmětu. Existují dva základní způsoby jejich použití. Mohou být prezentovány na okraji fotografie, kde jsou situovány tak, aby nezasahovaly do zájmové oblasti. Druhá možnost zahrnuje pořízení dvou paralelních snímků za naprosto stejných podmínek. V tomto případě se potom podle pomocné fotografie s objektivizačními prvky upravuje hlavní fotografie, ve které nejsou objektivizační prvky přítomny. Bývá žádoucí, aby byly objektivizační prvky na pomocné fotografii umístěny přibližně v její středové části [Obr. 2].




*Obr. 2* **Použití objektivizačních prvků při práci s dvěma paralelními fotografiemi: a) hlavní snímek; b) pomocný snímek.** Foto: Petra Lesniaková



## Zdroje záření

U zdrojů záření je zásadní distribuce a intenzita vyzařovaného spektra. Zdroje záření často vyzařují také nežádoucí oblasti spektra z hlediska aktuálního použití, tzv. *„parazitní"* záření. Parazitní záření se snažíme spolu s nežádoucím zářením z okolí eliminovat. V praxi se problematika nežádoucího záření, ať už parazitního či z okolí, řeší několika způsoby. Patří mezi ně výběr optimálního zdroje záření, použití filtrů předsazených před zdroj záření či fotografických filtrů před objektivem, zatemnění místnosti nebo posečkání na vhodné světelné podmínky, zpravidla až se setmí. Často je nutná i kombinace vyčkání na tmu i zatemnění, obzvláště pokud nejsme schopni zabránit ovlivnění umělým světlem z exteriéru, např. pouličním osvětlením. Při snímání v interiéru staveb s velkými okny nebo v exteriéru může být dokonce nezbytné vypnutí pouličního osvětlení.

Výběr zdroje záření, ale i doba ozařování, by měly být podmíněny citlivostí studovaného předmětu. Například teplotní zdroje záření (žárovky)[12] často produkují ve větší míře tepelnou energii. Proto se musí při průzkumu předmětů citlivých na teplo používat obezřetně. Dále je důležité vyvarovat se dezinterpretacím kvůli nerovnoměrnému ozáření snímané plochy či vzniku odlesků a stínů.

### *Zdroje viditelného světla (VIS)*

Velmi stručně lze uvést, že při snímání odraženého viditelného světla se používají běžné světelné zdroje, mezi které patří teplotní zdroje (žárovky), výbojky (např. vysokotlaké či nízkotlaké rtuťové výbojky) a LED světla v různorodém profesionálním uspořádání. Každá varianta se vyznačuje jistými výhodami i nevýhodami, které jsou diskutovány v mnohých fotografických příručkách a manuálech.[13]

### *Zdroje infračerveného (IR) záření*

Některé zdroje viditelného světla, zejména teplotní (např. žárovky), bývají zároveň vyhovujícími zdroji infračerveného záření. Kromě teplotních zdrojů se využívají infračervené LED, které se vyznačují minimálním podílem tepelného záření. Jsou dostupné v různé intenzitě v ohraničených spektrálních intervalech produkovaného IR záření. Z hlediska dosažení vysoké transparentnosti pigmentů jsou potom vhodné LED s maximální intenzitou záření na okraji citlivosti upraveného fotoaparátu (940 či 850 nm). Lze použít také fotografické blesky, avšak spíše jen při fotografování z blízkosti, protože produkují IR záření v relativně malé intenzitě.[14]

### *Zdroje ultrafialového (UV) záření*

Používají se především zdroje UVA záření, které je v porovnání s ostatními oblastmi UV záření (UVB, UVC) bezpečnější pro lidské zdraví. Většinou jsou to vysokotlaké a nízkotlaké rtuťové výbojky a stále častěji také UV LED zářiče [Obr. 3]. Při výběru zdroje UVA záření je nutné brát v úvahu, že výbojky, přestože jsou opatřeny vhodnými filtry, mohou produkovat parazitní záření.[15] Dalším důležitým parametrem, který má vliv na výběr zdroje, je jeho intenzita. Nízkotlaké rtuťové výbojky, respektive UV zářivky, se vyznačují nejen nízkou cenou, ale také

**12** | Teplotní (žhavící) zdroje jsou skupinou zdrojů záření, zejména viditelného světla. Patří sem žárovky. Nemyslí se tím tepelné lampy či infralampy apod., které mohou způsobit zásadní poškození objektu. Viz Warda (pozn. 6), s. 135.

**13** | Carl Bigras – Milene Choquette – Jeremy Powell, *Lighting methods for photographing museum objects*, Ottawa 2010. Viz Bezděk – Frouz (pozn. 3), s. 50. Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 52.

**14** | Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 46. Viz Svoboda (pozn. 1), s. 48.

**15** | UV záření je ve všech svých oblastech nebezpečně lidskému zdraví, především zraku a při jeho použití je nezbytné nosit ochranné pomůcky, jako jsou speciální brýle, případně rukavice a vhodně zvoleny oděv. UVC i UVB záření jsou oproti UVA záření mnohem více nebezpečné a neměly být zbytečně využívány.

nízkou intenzitou záření. Sdružují se proto na panelech ve větším počtu. Jejich nevýhodou může být potom nadměrná rozměrnost panelu. Naopak zářiče s vysokotlakými rtuťovými výbojkami mohou být vysoce výkonné i při relativně malých rozměrech. Po zapnutí však trvá několik minut, než dosáhnou plné intenzity a před opětovným zapnutím se také musí počkat několik minut, než zářič zchladne. Lze je uplatnit při ozařování rozměrných předmětů, například nástěnných maleb nebo kamenosochařských děl. V současnosti se stále více používají také UV LED zářiče s nízkou emisi parazitního záření.[16]

16 | Antonino Cosentino, Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination, *Conservar Património*, 2015, č. 21, s. 53–62. Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 24.

17 | a) Deffner & Johann, UV Tube Long Wave, 366 nm, 18 watt, length 60 cm, https://deffner-johann.de/en/uv-tube-long-wave-366-nm-18-watt-length-60-cm.html, vyhledáno 7. 3. 2022; b) Hönle UV Technology, UVASPOT - Modular high intensity UV units, https://www.hoenle.com/products/uv-equipment-uv-systems-uv-units/uvaspot, vyhledáno 7. 3. 2022; c) Deffner & Johann, UV Flood Light LED with Handle, https://deffner-johann.de/en/uv%20flood%20light%20led%20with%20handle.html, vyhledáno 7. 3. 2022.

*a)* *b)* *c)*

*Obr. 3* **Základní typy UV zářičů: a) UVA zářivka s nízkotlakou rtuťovou výbojkou; b) vysoce výkonný zářič s vysokotlakou rtuťovou výbojkou a předřadníkem (na snímku s filtrem propouštějícím UVA záření 315–400 nm); c) zářič s několika UVA LED.** Foto: Deffner & Johann, Petra Lesniaková, Hönle UV Technology[17]

## Standardizace a korekce, objektivizační prvky[18]

Pro účely vědecké fotografie je zapotřebí pořízené snímky kalibrovat, korigovat a standardizovat. K tomu většinou slouží různé kalibrační pomůcky / objektivizační prvky, speciální postupy a programy. Spíše ojediněle se v praxi fotoaparát kalibruje pomocí spektrofotometrických přístrojů. Zpravidla je nutné korigovat spektrální rozsah a intenzitu použitého zdroje záření, nelineární odezvu fotoaparátu a (v případě záznamu odraženého světla) také barevnou odezvu snímače, jak bude vysvětleno dále. U luminiscenčních technik může optimální postup zahrnovat korekci vlivu nežádoucího záření pocházejícího buď z okolí, nebo ze zdroje. Jednotlivé širokospektrální techniky mohou mít různé nároky na postupy korekce včetně kalibračních pomůcek. Značná část této problematiky spadá do postprodukce. V následujících odstavcích jsou nastíněny vybrané příklady oblastí kalibrace a korekce širokospektrálních fotografií, jejichž řešení se může vzájemně prolínat.

18 | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 8–38. Viz Bezděk – Frouz (pozn. 3), s. 34–37.

19 | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 10–12.

### *Prostorová rovnoměrnost ozáření*

Prostorová homogenita ozáření je žádoucí ve všech diskutovaných případech technické fotografie. Ke zjištění rovnoměrnosti ozáření slouží radiometry a luxmetry nebo například tzv. standardně (homogenně) odrazivé desky. Zjednodušeně řečeno je nutné kontrolovat, aby nebyl snímek v jedné části ozářen s jinou intenzitou než v částech ostatních. Pokud nelze zajistit rovnoměrnost ozáření již při procesu pořizování snímků, je možné tento nedostatek řešit programovými korekcemi v postprodukci, zejména potom pomocí záznamu zmíněných homogenně odrazivých desek.[19]

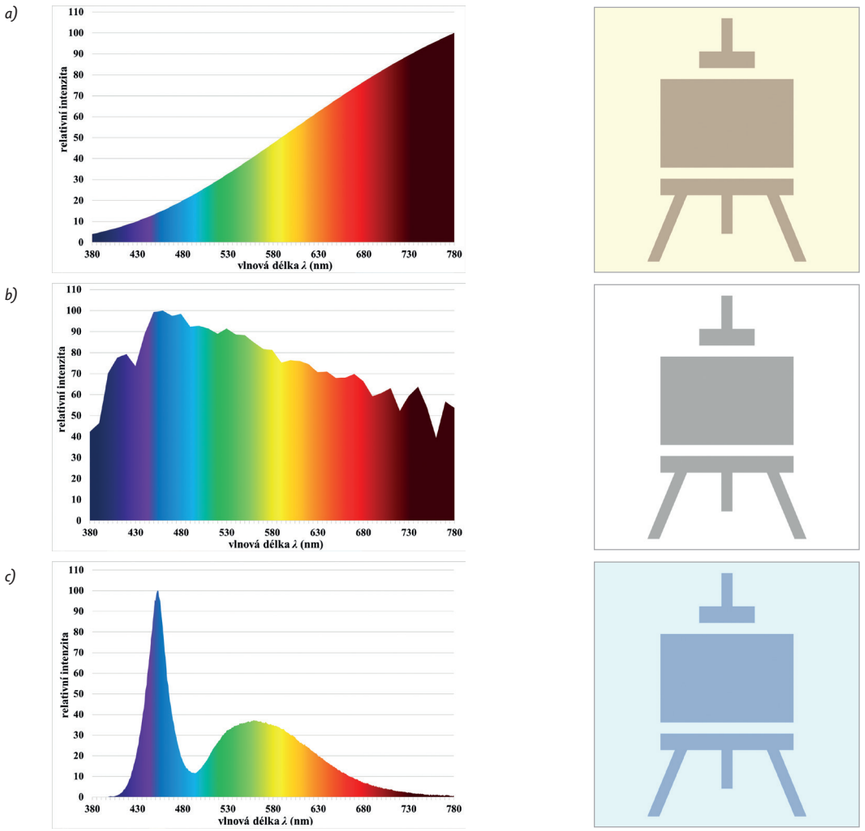


### *Vyvážení bílé (white balance)*[20]

Spektrální hustota zdroje vystihuje intenzitu záření v závislosti na vlnových délkách přítomných ve vyzařovaném spektru. Jinými slovy, každá vlnová délka záření může mít ve zdroji jinou intenzitu, zároveň se různé zdroje mohou vyznačovat jiným rozsahem vlnových délek. Tuto závislost graficky vyjadřuje spektrální/emisní křivka, která se pochopitelně u každého zdroje záření liší [Obr. 4]. Podoba výsledné fotografie, její jas i barevnost, jsou potom do značné míry závislé na typu zdrojového záření a k získání přesného a jednoznačného výsledku je žádoucí, aby tomu tak nebylo. Cílem úpravy fotografie je proto tzv. standardizace, tedy eliminování specifických projevů zdroje záření na dohodnutý standard. Ten má samozřejmě každá technika fotografie odlišný. Tato problematika se v běžné fotografii řeší tzv. vyvážením bílé (*white balance*) pomocí šedé tabulky (neutrálně šedých polí). Je však nutné si uvědomit, že běžně dostupné kalibrační pomůcky jsou určeny pro zobrazování ve viditelném světle a nemusí být funkční při ostatních, zejména luminiscenčních technikách. Kalibrace luminiscenčních technik je náročnější a nelze jí pomocí běžně dostupných kalibračních postupů a pomůcek realizovat jako u reflexních metod. Tato problematika je komplikovaným, a možná i sporným tématem zasluhujícím samostatné zpracování přesahující kapacitu předkládané práce, proto zde není detailněji řešena.

20 | Ibidem, s. 10–17.

21 | a), b) CIE, Technical resources, http://cie.co.at/technical-work/technical-resources, vyhledáno 6. 4. 2021; c) *GUAIX*, Spectra of Lamps, LED_9089K_Madrid_Moratalaz, https://guaix.fis.ucm.es/sites/default/files/lamps_spectra/LED_9089K_Madrid_Moratalaz_cor.txt, vyhledáno 6. 4. 2021.




*Obr. 4* **Znázornění vlivu odlišné spektrální hustoty běžných zdrojů bílého světla (VIS) na získané fotografie, uvedeny jsou zjednodušené relativizované emisní křivky těchto světelných zdrojů: a) wolframová žárovka, emisní spektrum je obohaceno o delší vlnové délky (teplejší odstíny, 2856 K, CIE standard A), snímek je červenější; b) denní světlo s rovnoměrným emisním spektrem, snímek je barevně vyvážený (6500 K, CIE standard D65); c) studená bílá LED (studenější odstíny, 9089 K), snímek domodra, zdroj je obohacen o kratší vlnové délky.** Autor grafů a obrázků: Petra Lesniaková[21]

**22** | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 15, 16, 57, 58.

**23** | Dan Kushel – Jiuan-Jiuan Chen – Luisa Casella, Instructions AIC PhotoDocumentation Targets (AIC PhD Targets), American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2011. Dostupné také na: https://studylib.net/doc/18349142/instructions-aic-photodocumentation-targets, vyhledáno 21. 2. 2022. Viz Warda (pozn. 6). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

**24** | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 17–18.

**25** | Viz Warda (pozn. 6), s. 138.

**26** | Haida Liang, Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation, *Applied Physics A*, 2012, č. 106, s. 309–323, s. 313. Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9).

S reflexními, případně transmisními UV a IR fotografiemi se pracuje v jednobarevné, zpravidla šedé škále a úprava nerovnoměrného záření zdroje potom zahrnuje pouze složku jasu. Ke standardizaci celkové intenzity záření těchto technik mohou například přispět pomůcky s definovanou difúzní odrazivostí pro danou oblast UV-VIS-IR záření.[22] Náleží sem např. cíle řady *Spectralon* (*Labsphere*), které se vyznačují konstantní odrazivostí v UV, VIS, IR v rozmezí vlnových délek 250–2500 nm. Mnohé postupy kalibrace UV a IR fotografií bývají založeny na aplikaci daných RGB hodnot vybraných, většinou neutrálně šedých polí doporučených kalibračních tabulek.[23]

***Korekce nelineární odezvy fotoaparátu***

Je nutné mít na zřeteli, že fotoaparáty jsou naprogramovány takovým způsobem, aby byl výsledný snímek co nejpodobnější citlivosti lidského oka, případně upravený tak, aby se nám líbil. Každý výrobce fotoaparátů ale používá různé automatické úpravy, a tak mohou být výsledné snímky odlišné, přestože zachycují stejnou scénu v identickém osvětlení. Zásadním příkladem je automatická korekce odezvy senzoru u komprimovaných snímků (např. JPEG, TIFF). Touto korekcí je automaticky řešena rozdílná citlivost lidského oka k intenzitě záření (jasu), která je nelineární na rozdíl od lineární citlivosti senzoru. Programy fotoaparátů k tomuto účelu zpravidla používají tzv. *gamma* funkci. Ve vědecké fotografii je snaha odstranit tuto automaticky aplikovanou korekci v surových datech (RAW) a následně upravit výběrem vhodné křivky, zpravidla lineární.[24]

***Korekce spektrální odezvy fotoaparátu (barevná kalibrace)***

Kalibruje/kompenzuje se rozdílnost spektrální odezvy jednotlivých fotoaparátů, jež je způsobena použitým senzorem a jinými součástmi. V zásadě jde o to získat snímek stejné a správné barevnosti u jakéhokoli pořizovacího zařízení a techniky. Korekci lze uskutečnit při následném programovém zpracování snímků pomocí „barevné" kalibrační tabulky. Korekce je smysluplná pouze při snímání odraženého viditelného světla, pro které jsou tyto kalibrační tabulky běžně vyvíjené a dostupné.

**Sesazení/překryv snímků**

Snímky zachycující zkoumaný objekt v jednotlivých oblastech záření je vhodné zaznamenat tak, aby se přesně překrývaly. Zároveň je třeba si uvědomit, že i přes veškerou snahu při záznamu snímků často nelze dosáhnout jejich přesného překryvu. Důvodem může být nutnost zaostřování na jinou ohniskovou vzdálenost při snímání v odlišných spektrálních pásmech či posun fotoaparátu při výměně filtrů atd. Přesný překryv fotografií se uplatňuje při jejich porovnávání mezi sebou například „překlikáváním" v počítači nebo při tvorbě snímků ve falešných barvách. Dále potom je preciznost překryvu zcela zásadní při interpretaci a lokalizaci skrytých vrstev, příkladem může být zviditelnění podkreseb v infračervené fotografii. Problematika přesného překryvu snímků bývá řešena také v postprodukci, podobně jako skládání obrazů, které se používá při snímání/mozaikování rozměrných předmětů.[25] Překrývání snímků bývá usnadněno použitím vhodných registračních značek.[26]



Na tomto místě je nezbytné připomenout problematiku následné prezentace kalibrovaných fotografií, která nejčastěji zahrnuje zobrazování monitorem a tisk. K tomu určenou techniku je zapotřebí vhodně vybrat, případně kalibrovat apod., jinak dochází k zásadní dezinterpretaci upravených fotografií při jejich prezentaci. Popis výběru, kalibrace či správy barev těchto zařízení přesahuje rámec předkládané práce. Jejich řešení jsou dostupná na internetových stránkách, v odborných publikacích nebo je nabízejí komerční firmy.[27]

**Postprodukční zpracování a kalibrace UV a IR reflexních fotografií**

Ve stručnosti zde budou představeny dva základní dohledané okruhy postupů fotografování, kalibrace a postprodukčního zpracování technické fotografie pořízené upraveným fotoaparátem, určené pro oblast konzervování-restaurování. Prvním z nich je manuál Britského muzea s názvem *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual*, který byl publikován autory Dyer, Verri, Cupitt v roce 2013.[28] Druhý okruh tvoří průvodce s názvem *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*[29] od Wardy (ed.) a kol., který vydal Americký institut pro konzervaci historických a uměleckých děl (*AIC*).[30]

**27** | Viz Warda (pozn. 6), s. 88–93. Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10), s. 180.

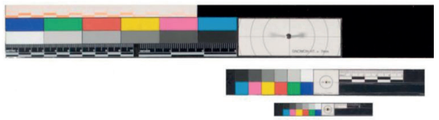
**28** | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10). Manuál vznikl v rámci programu Charisma.

**29** | Viz Warda (pozn. 6).

**30** | Viz Warda (pozn. 6). Institut (*AIC*) vyvinul kalibrační tabulku *AIC PhD Target*, jejíž instrukční manuál byl vytvořen na základě průvodce *AIC*. Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22). Dále je třeba zmínit, že na základě postupů uvedených v průvodci *AIC* pracuje v modifikované podobě Cosentino, fyzik a autor mnoha publikací o technické fotografii uměleckých předmětů. Viz Cosentino, Identification (pozn. 7). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

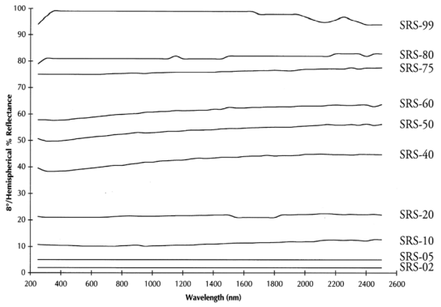
**31** | a) *AIC*, Conservators Converse AICs blog archives 2008–2018, AIC PhotoDocumentation Targets (*AIC PhD Targets*) on Sale, https://resources.culturalheritage.org/conservators-converse/2011/08/31/aic-photodocumentation-targets-aic-phd-targets-on-sale/, vyhledáno 6. 4. 2021; b) *X-Rite*, ColorChecker Passport Photo 2, https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/colorchecker-classic-family/colorchecker-passport-photo-2, vyhledáno 6. 4. 2021; c) *Labsphere*, *Spectralon*® Diffuse Reflectance Standards, https://www.labsphere.com/labsphere-products-solutions/materials-coatings-2/targets-standards/diffuse-reflectance-standards/diffuse-reflectance-standards/, vyhledáno 6. 4. 2021.

*a)*



*b)*

*c)*




*Obr. 5* **Vybrané kalibrační tabulky a standardy: a) tabulka *AIC PhD Target* (*AIC*, nahoře); b) tabulka s referenčními cíli *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2*; c) difúzně odrazivé černo-bílé standardy *Spectralon* (*Labsphere*) s grafy závislosti jejich odrazivosti (*8°Hemispherical % reflectance*) na vlnové délce (*Wavelength nm*).** Obrázky: AIC, X-Rite a Labsphere[31]

**32** | Viz Dyer – Verri – Cupitt (pozn. 10).

**33** | Důvodem byla nejprve nedostatečná funkčnost programu, později problémy se stáhnutím instalací z oficiálních stránek Britského muzea (British Museum). Z emailové komunikace s Joanne Dyer, jako zástupkyní autorského týmu, vyplynulo, že je v přípravě nová verze programu.

**34** | Viz Warda (pozn. 6).

**35** | RTI je zkratka anglického názvu Reflectance Transformation Imaging. Jedná se o zobrazovací metodu, která je založena na zpracování sekvence snímků předmětu pořízených v různých úhlech jeho nasvícení ve speciálním počítačovém programu. Výsledný snímek poskytuje rozšířené informace o předmětu ve srovnání s běžnou dokumentační fotografií, zejména potom je na něm zdůrazněna topografie předmětu. Jindřich Plzák, *Moderní dokumentační metody archeologických faktů* (disertační práce), Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta filozofická, 2016, s. 119–123.

Manuál Britského muzea[32] je zaměřen na technickou fotografii pořízenou upraveným fotoaparátem. Nejsou zde podrobně uváděny jiné metody dokumentace, například techniky fotografie v bílém světle nebo transmisní techniky. V teoretické rovině jsou zde vysvětleny principy kalibrace i postprodukce technické fotografie, je zde popsán postup pořizování jednotlivých snímků i základní podmínky, které by měly být brány v úvahu při nákupu fotografického zařízení či volbě objektivizačních pomůcek.

Kalibrace a postprodukce technické fotografie je zde řešena pomocí kalibrační tabulky *X-Rite ColorChecker Passport®* (*X-Rite*) [Obr. 5b] a difúzně odrazivých standardů řady *Spectralon* (*Labsphere*) [Obr. 5c]. Úprava získaných snímků probíhá především ve speciálně vytvořeném pracovním prostoru *Nip2* fungujícím ve *VIPS* rozhraní, jež je zdarma ke stažení. Pracovní prostředí je vytvořeno tak, aby jeho uživatel pouze následoval doporučené kroky k získání standardizovaných snímků i fotografií ve falešných barvách. UV a IR fotografie ve falešných barvách jsou získány „klasickým" postupem.

Snímek v odraženém bílém světle (barevná fotografie) je kalibrován podle tabulky *X-Rite ColorChecker*. Kvůli možnosti kalibrace ostatních technik je však zapotřebí, aby byl jeho součástí alespoň jeden difúzně odrazivý standard řady *Spectralon*. Standardizace UV a IR reflexních fotografií potom spočívá v nastavení jasu difúzně odrazivých standardů na hodnoty jasu těchto standardů získané z barevné fotografie kalibrované podle tabulky *X-Rite ColorChecker*. Aplikace využívá vlastní algoritmy a postupy pro úpravu a kalibraci jednotlivých fotografií. V rámci předkládané studie nebyly postprodukční úpravy v uvedené aplikaci vyzkoušeny, přestože lze za její výhodu považovat přesně stanovený postup, který neumožňuje uživateli dělat zásadní chyby a nevyžaduje hlubší porozumění problematice či zkušenosti s postprodukcí. Za nevýhody lze do jisté míry považovat, že uživatel nemůže ověřit správnost postupu, dále potom obtíže při instalaci i funkčnosti programu[33].

Průvodce *AIC*[34] je komplexní a obsáhlou monografií obecně zaměřenou na digitální fotografii a dokumentaci předmětů kulturního dědictví. Jsou zde představeny praktické postupy i teoretické aspekty veškerých fotografických technik, zahrnující transmisní techniky či pokročilé metody fotografie v bílém světle, například také transformační zobrazování (RTI)[35]. Pro každou techniku jsou zde doporučeny postupy fotografování, včetně vhodného nastavení fotoaparátu a postprodukce. Dále jsou zde uvedeny možnosti technického vybavení a podrobně popsány získané poznatky. Veškerou postprodukci provádí uživatel samostatně, v zásadě se pracuje v programu *Adobe Photoshop*.

Velmi stručně a zjednodušeně lze shrnout, že průvodce kalibruje snímky reflektografických technik na nejsvětlejším šedém poli (N8) šedé škály kalibračních tabulek *X-Rite ColorChecker®* (*X-rite*). Doporučené hodnoty pro barevnou fotografii (VIS) jsou RGB 200±5, pro infračervenou fotografii (IRR) jsou to hodnoty RGB 200±5 a pro ultrafialovou reflexi (UVR) jsou doporučeny RGB hodnoty 120±5. Jak bylo zmíněno, v návaznosti byla vyvinuta kalibrační tabulka *AIC PhD Target* [Obr. 5a] tak,



aby vyhovovala potřebám dokumentace objektů kulturního dědictví.[36] Kromě barevných a černo-bílých polí obsahuje další objektivizační prvky vyhovující tomuto oboru. Kalibrační cíle této tabulky jsou totožné s kalibračními poli tabulek *X-Rite ColorChecker®* a *X-Rite ColorChecker Passport®*, vyrábí je stejná firma *X-rite* [Obr. 5b]. V průběhu roku 2019 byla výroba tabulky ukončena.

Cosentino také používá ke kalibraci technické fotografie pole N8 výše uvedených tabulek, avšak se sníženými RGB hodnotami, než které uvádí průvodce *AIC*, případně manuál k tabulce *AIC PhD Target*. Pro barevnou fotografii (VIS) jsou to hodnoty RGB 150±5, pro infračervenou fotografii (IRR) používá hodnoty RGB 100±5 a pro ultrafialovou fotografii (UVR) potom hodnoty RGB 50±5.[37]

Z výše uvedeného mimo jiné vyplývá, že v oblasti konzervování-restaurování prakticky není možné docílit všeobecně uznávané standardizace (kalibrace) snímků.

## Experimentální část[38]

Cílem experimentu bylo představit základní postupy získání UV a IR reflexních fotografií a tvorby snímků ve falešných barvách (UVRFC, IRRFC) na základě dohledaných doporučení za použití běžných programů [Tab. 1]. Pořizování snímků, jejich kalibrace a postprodukce byly založeny na průvodci *AIC* i manuálu k tabulce *AIC PhD Target* a modifikaci těchto postupů podle Cosentina.[39] Pro účely experimentu byl využit *„full-spectrum"* upravený digitální fotoaparát *Canon EOS 80D* (*Canon*) s příslušenstvím[40] a kalibrační tabulka *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* (*X-Rite*). Postprodukční úpravy byly provedeny v programu *Adobe Photoshop CC 2020* se zásuvným modulem *Camera Raw*.

*Tab. 1* **Parametry a vybavení při snímání VIS, UV a IR reflexní fotografie.**[41]

| Technika | Vybavení |
|---|---|
| odražené bílé světlo (VIS) | filtry před objektivem: kombinace *MaxMax X-Nite CC1* a *Astronomik L-3 M52* |
| | zdroj záření: halogenová světla s vysokým podílem IR záření *J-100 W 118 mm premium* |
| ultrafialová reflexní fotografie (UVR) | filtry před objektivem: *Baader U-Venus 2"* (Baader) |
| | zdroj záření: *UVA SPOT 400 T* (Hönle UV Technology), emise 315–400 nm |
| infračervená reflexní fotografie (IRR) | filtry před objektivem: *X-Nite 1000 B* (MaxMax) |
| | zdroj záření: halogenová světla s vysokým podílem IR záření *J-100 W 118 mm premium* |

Snímky ve falešných barvách byly vytvořeny na základě běžně využívaného „klasického" postupu.[42] Zvolené postupy, případně jejich rozdíly, byly demonstrovány na zkušebním panelu s patnácti poli vybraných pigmentů, ale také na použité kalibrační tabulce. Přehled veškeré použité techniky uvádí tabulka [Tab. 2]. V rámci experimentu byly využity vhodné zdroje záření dostupné na pracovišti.

**36** | Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22). Viz Warda (pozn. 6).

**37** | Viz Cosentino, Identification (pozn. 7). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

**38** | Viz Svoboda (pozn. 1), s. 55.

**39** | Viz Warda (pozn. 6). Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22). Viz Cosentino, Identification (pozn. 7). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16). Jak bylo uvedeno, program k manuálu Britského muzea nebyl funkční.

**40** | Viz Lesniaková – Svoboda – Vojtěchovský (pozn. 2).

**41** | Snímky byly pořízeny pouze za použití uvedených zdrojů záření, v místnosti nebylo jiné denní světlo.

**42** | Viz kapitola Převedení UV a IR reflexních fotografií do falešných barev (UVRFC, IRRFC).

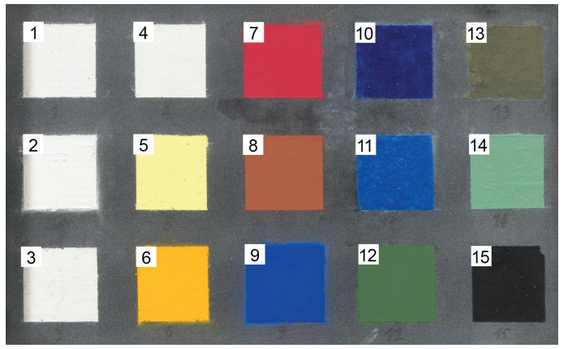
*Tab. 2* **Přehled základní fotografické techniky pro VIS, UV a IR reflexní fotografii.**

| **Vybavení, úprava** | **Přesný typ, firma** | **Poznámka, důležité údaje** |
|---|---|---|
| Digitální zrcadlovka | *Canon EOS 80D* (*Canon*) | rozlišení 24,2 Mpx, výklopná otočná obrazovka |
| Úprava fotoaparátu | UV-VIS-IR, "*full-spectrum*" (*Life Pixel*) | nový upravený fotoaparát dodán firmou, záruka |
| Základní objektiv | *Canon EF50 mm f/1,8STM* (*Canon*) | pevné ohnisko bez sklonu k „*hot spot*" jevu |
| Kalibrační tabulka | *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* (X-Rite) | výběr podmíněn odbornou metodikou |
| FILTRY | | |
| **Technika** | **Přesný typ, firma** | **Poznámka, důležité údaje, průměr/tloušťka** |
| Bílé světlo (VIS) | *X-Nite CC1* (*MaxMax*) | IR blokační „*hot mirror*" filtr, Ø 52 mm/2 mm |
| | *Astronomik L-3 M52* (*Astronomik*) | UV/IR blokační filtr, Ø 52 mm |
| IR fotografie (IRR) | *X-Nite 1000B* (*MaxMax*) | IR propustný filtr, Ø 52 mm/2,2 mm |
| UV fotografie (UVR) | *Baader U-Venus 2"* (*Baader*) | UV propustný filtr, Ø 2"/2 mm, nutné přechodky |
| ZÁŘIČE | | |
| **Technika** | **Přesný typ, firma** | **Poznámka, důležité údaje** |
| Bílé světlo (VIS)<br>IR fotografie (IRR) | *J-100 W 118 mm premium* (*Kanlux*) | běžná halogenová světla, 100 W, 1100 lmA |
| UV fotografie (UVR) | *UVA SPOT 400 T* (*Hönle UV Technology*) | příkon 450 W, výkon 400 W, výbojka UV 400 F/2, předsazený filtr BL, 315–400 nm |

**43** | Viz Svoboda (pozn. 1), s. 65.

***Referenční panel s vybranými pigmenty***

Zkoušky technické fotografie byly realizovány snímáním modelového panelu z pískovaného skla se vzorky patnácti pigmentů aplikovanými ve vodné akrylátové disperzi *Dispersion K9* (*Kremer Pigmente*). Čtvercová pole o rozměrech 2 cm × 2 cm byla vytvořena nátěrem jednotlivých pigmentů rozptýlených v 2% (hm.) pojivu *Disperzion K9* v objemovém poměru 1:2 (pigment:pojivo). Pigmenty byly vybrány zejména s předpokladem jejich charakteristických vlastností nebo zásadních rozdílů v jednotlivých technikách a falešných barvách. Pigmenty byly zakoupeny u společnosti *Kremer Pigmente* s výjimkou barytové běloby (síran barnatý p.a., pole 4), která byla dodána firmou *Lach-Ner*. Přehled zvolených pigmentů s jejich produktovými kódy uvádí Obr. 6.




*Obr. 6* **Zkušební panel, pigmenty použité pro jednotlivá pole jsou následující: 1) zinková běloba/46300, 2) titanová běloba, rutil/6200, 3) olovnatá běloba/46000, 4) barytová běloba, 5) olovnato-cíničitá žluť tmavá/10110, 6) kadmiová žluť tmavá/21060, 7) kadmiová červeň/21120, 8) francouzský okr/40090, 9) ultramarín tmavý/45010, 10) smalt/10000, 11) egyptská modř/10060, 12) chromoxid tupý/44200, 13) zem zelená česká/41800, 14) malachit arabský/103701, 15) révová čerň/47000. Všechny pigmenty kromě barytové běloby/síran barnatý (*Lach-Ner*) byly dodány firmou *Kremer Pigmente*.**[43] Foto: David Svoboda



***Nastavení fotoaparátu, expozice***

Při fotografování se pracovalo v režimu manuálního ovládání a z praktických důvodů také jednotného nastavení vyvážení bílé. Expozice byla pro každou techniku volena na základě interního expozimetru fotoaparátu a histogramu. Na tomto místě je vhodné poznamenat, že při použití kalibrační tabulky nebylo při fotografování zapotřebí přesné vyvážení bílé, protože soubor nese záznam všech tří kanálů RGB v rámci ICC profilu. Vyvážení bílé bylo posléze provedeno v postprodukci ve formátu RAW. K tomuto účelu byl využit cíl N8 kalibrační tabulky *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* (*X-Rite*) s doporučenými RGB hodnotami.[44] V postprodukci byl také proveden převod UV a IR reflexních snímků do černo-bílého prostoru. Základní nastavení fotoaparátu při snímání je uvedeno v tabulce [Tab. 3].

**44** | Viz Warda (pozn. 6). Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22). Viz Cosentino, Identification (pozn. 7). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

*Tab. 3* **Přehled základního nastavení fotoaparátu.**

| **Funkce** | **Nastavení, poznámka** |
|---|---|
| režim fotoaparátu | manuální ovládání / ruční režim „M" |
| formát | surová nezpracovaná data, RAW, praktické spolu s JPEG |
| kvalita, rozlišení | nejvyšší, pokud je to vhodné v dané situaci |
| barevný prostor | Adobe RGB |
| vyvážení bílé | prakticky lze doporučit jednotné nastavení, v tomto případě 6 500 K |
| úprava/styl obrazu | neutrální |
| režim samospouště | ano, možné použít uživatelsky přívětivější dálkovou spoušť |
| ostření | podle situace automatické/manuální, u trojrozměrných předmětů do cca 1/3 hloubky |
| živý náhled | ano, lze také využít připojení a ovládání přes počítač |
| kontrola histogramu | posouzení expozice, jedná se o zobrazení po převodu do JPG formátu |
| citlivost (ISO) | 100 |
| clona (f) | 11 |
| rychlost závěrky / čas | podle typu zdroje záření, případně filtru, volbě citlivosti a velikosti clonového čísla a naopak |

***Postprodukce, práce se snímky ve formátu RAW***

Nejprve byly snímky pořízené v odraženém bílém světle (VIS) kalibrovány pomocí kalibrační tabulky *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* v příslušné aplikaci *X-Rite ColorChecker Passport: User Manual* dodávané ke kalibrační tabulce. Zde bylo zapotřebí načíst fotografii ve formátu DNG, postupovalo se podle pokynů aplikace. Aplikace kalibrační cíle detekuje automaticky, ale nabízí také možnost jejich manuálního zaměření. Následně byly UV a IR reflexní fotografie včetně kalibrované VIS fotografie zpracovávány v komerční aplikaci *Adobe Photoshop CC 2020* s integrovaným modulem *Camera RAW CC 2020* na parametry uvedené v tabulce [Tab. 4].

*Tab. 4* **Parametry technické fotografie nastavené v modulu *Camera RAW*.**

| Parametr | Nastavení, poznámka |
|---|---|
| *Pracovní prostor* | *barevný prostor* Adobe RGB, *hloubka* 16 bitů/kanál |
| *Korekce profilu* | automaticky nebo manuálně se vybere použitý objektiv, neaplikuje se, |
| | pokud není použitý objektiv ve výběru |
| *Barevný profil* | pro VIS snímky námi vytvořený profil, pro UV a IR snímky *monochromatický* |
| *Křivka* | lineární |
| *Vzorkování barev, expozice*[45] | úprava RGB šedého pole N8 „nakápnutím" na požadované hodnoty, podle průvodce AIC<br>jsou to hodnoty VIS 200±5, IRR 200±5, UVR 120±5, podle Cosentina VIS 150±5, IRR 100±5, UVR 50±5 |
| uložení do TIFF | *Cíl* / volba umístění ukládaných souborů, Formát / TIFF, *Komprese* / bez komprese, *Barevný prostor* / dobe RGB 16 bitů/kanál, *Změnit velikost obrazu* / nezaškrtávat |

### *Zkoušky pořizování UV a IR reflexních fotografií*

V rámci experimentu byly při pořizování UV nebo IR reflexních fotografií realizovány vždy tři testy. První test byl proveden při optimální expozici snímání řízené interním expozimetrem a histogramem fotoaparátu.[46] Snímek nebyl v postprodukci upravován, byl pouze převeden do černobílého prostoru. Optimální expozice snímku i podmínky fotografování z prvního testu byly využity v následujících dvou zkouškách fotografování. U těchto zkoušek byly na rozdíl od prvního fotografování po převedení fotografií do černobílého prostoru v postprodukci dále upraveny RGB hodnoty cíle N8 kalibrační tabulky *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* podle hodnot doporučených v literatuře. Jak bylo předesláno, druhá zkouška se řídila průvodcem *AIC* a instrukčním manuálem k tabulce *AIC PhD Target*.[47] V rámci třetí zkoušky byly RGB hodnoty cíle N8 nastaveny podle doporučení Cosentina.[48]

Snímaná oblast byla rovnoměrně ozářena ze vzdálenosti 150 cm. Přehled základního vybavení pro obě techniky uvádí Tab. 2, obecné nastavení scény ilustruje Obr. 1b, 1c.

Zkoušky pořizování UV reflexních fotografií [UVR, Obr. 7]:

Test 1) V postprodukci nebyla upravena výchozí expozice, snímek byl pouze převeden do černobílého prostoru postupem *Obraz* > *Režim* > *Stupně šedi*. Nastavení fotoaparátu bylo ISO 100, f/11, čas 5 s.

Test 2) Úprava jasu byla provedena podle průvodce *AIC* a manuálu k tabulce *AIC PhD Target* s využitím cíle N8 na tabulce *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2*, jehož RGB hodnoty byly v postprodukci nastaveny na 120±5. Podmínky snímání i nastavení fotoaparátu byly stejné jako v Testu 1).

Test 3) Úprava jasu byla provedena podle Cosentina s využitím cíle N8 na tabulce *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2*, jehož RGB hodnoty byly v postprodukci nastaveny na 50±5. Podmínky snímání i nastavení fotoaparátu byly stejné jako v Testu 1).

**45 |** Viz Warda (pozn. 6). Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22). Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

**46 |** Je třeba zmínit, že při stejných podmínkách fotografování bude optimální expozice snímání pokaždé mírně odlišná, přestože bude nastavena na základě interního expozimetru fotoaparátu a snímky budou pořízeny v manuálním režimu při vypnutí všech automatických funkcí. Ve všech případech byla v postprodukci využita lineární funkce (křivka).

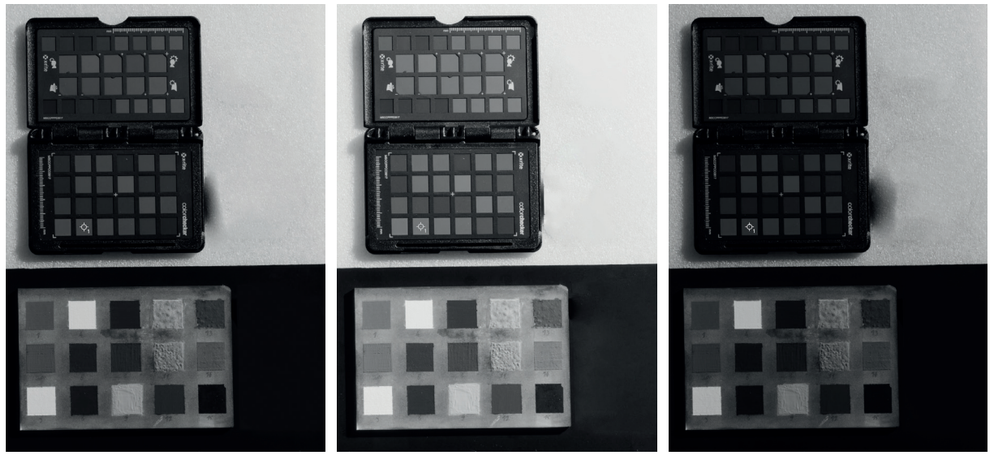
**47 |** Viz Warda (pozn. 6). Viz Kushel – Chen – Casella (pozn. 22).

**48 |** Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9). Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16). Vyrovnání expozice a vyvážení bílé lze provést v *Adobe Photoshopu* nástrojem *Úrovně*, kde se nejprve nadefinují příslušné hodnoty RGB, poté se vyrovná snímek dle pole N8.



Celkové expozice fotografií z první a druhé zkoušky jsou podle příslušného histogramu vyrovnané. Snímek z druhého testu (N8 RGB 120±5) se podle očekávání celkově vyznačuje výrazně vyšším jasem v porovnání se snímkem třetí zkoušky pořízeným podle doporučení Cosentina (N8 RGB 50±5). V tomto případě je fotografie tmavá, snímek je podle příslušného histogramu podexponován.

*a)* *b)* *c)*



*Obr. 7* **Zkoušky pořizování UV fotografií: a) Test 1, postprodukčně neupravovaná expozice; b) Test 2, obraz v postprodukci upraven podle pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 120±5; c) Test 3, obraz v postprodukci upraven podle pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 50±5.** Foto: David Svoboda

Zkoušky pořizování IR reflexních fotografií (IRR, Obr. 8):

Test 1) V postprodukci nebyla upravena výchozí expozice, snímek byl pouze převeden do černobílého prostoru postupem *Obraz* > *Režim* > *Stupně šedi*. Nastavení fotoaparátu bylo ISO 100, f/11, čas 2 s.

Test 2) Úprava expozice byla provedena podle doporučení průvodce *AIC* a manuálu k tabulce *AIC PhD Target* s využitím cíle N8 na tabulce *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2*, jehož RGB hodnoty byly v postprodukci upraveny 200±5. Podmínky snímání i nastavení fotoaparátu byly stejné jako v Testu 1).

Test 3) Úprava expozice byla provedena podle Cosentina s využitím cíle N8 na tabulce *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* s postprodukční úpravou RGB hodnot na 100±5. Podmínky snímání i nastavení fotoaparátu byly stejné jako v Testu 1).

Celková expozice fotografie z první a druhé zkoušky je na základě příslušného histogramu vyrovnaná. Podle očekávání je v případě třetího testu (N8 RGB 100±5) snímek určitým způsobem podexponován, celkově je mnohem tmavší než oba zbývající snímky, o čemž vypovídá i příslušný histogram.

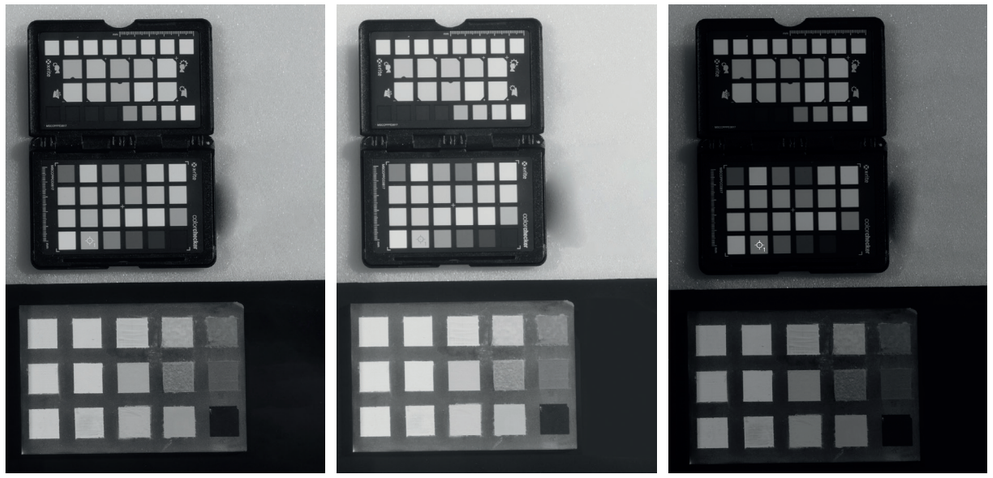
**49** | Viz Lesniaková – Svoboda – Vojtěchovský (pozn. 2).

**50** | Viz Cosentino, Infrared Technical Photography (pozn. 9).

**51** | Viz Cosentino, Practical notes (pozn. 16).

Cosentinem volená nižší expozice, kterou prezentují třetí zkoušky, může mít nejen v tomto případě, ale také při pořizování UV reflexní fotografie několik důvodů. Teoreticky je možné, že tmavší reflektografický snímek poskytuje sytější falešné barvy, a tedy jednoznačnější výsledek i interpretaci. Dalším důvodem může být čitelnější zvýraznění skrytých vrstev. Uvedené domněnky nebyly v rámci studie řešeny, musely by být ověřeny dalšími testy nebo zodpovězeny samotným autorem metody.

*a)* *b)* *c)*



*Obr. 8* **Zkoušky pořizování IR fotografií: a) Test 1, postprodukčně neupravená expozice; b) Test 2, obraz postprodukčně upraven podle pole N8 na *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 200±5; 3) Test 3, obraz v postprodukci upraven podle pole N8 na *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 100±5.** Foto: David Svoboda

### *Převedení UV a IR reflexních fotografií do falešných barev (UVRFC, IRRFC)*

Snímky ve falešných barvách zpravidla vznikají mícháním jednotlivých barevných kanálů. V rámci experimentální práce je popsán základní, „tradiční" a zároveň nejrozšířenější postup převedení IR a UV reflexních fotografií do falešných barev (IRRFC, UVRFC). Postup se provádí v režimu RGB s převedením IRR nebo UVR snímku do příslušného kanálu upravené barevné dokumentační fotografie (VIS). Jak bylo uvedeno,[49] princip míchání kanálů u IRRFC je založen na posunutí zeleného kanálu na modrý, červeného na zelený a nahrazení červeného kanálu IRR snímkem (IRR>R>G>B).[50] U techniky UVRFC je princip podobný, s tím rozdílem, že zelený kanál nahradí červený, modrý nahradí zelený a UVR snímek nahradí modrý kanál (R<G<B<UVR).[51] Vstupní UVR a IRR snímky určené pro fotografie ve falešných barvách byly postprodukčně upraveny podle průvodce *AIC*. Z analogie k manuálu byly RGB hodnoty pole N8 kalibrační tabulky *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* nastaveny na hodnoty 200±5 pro VIS a IRR fotografii a 120±5 pro UVR fotografii, což odpovídá druhé zkoušce testů provedených výše [Obr. 7b, Obr. 8b]. Detailní postup vytvoření UV a IR fotografií ve falešných barvách (IRRFC, UVRFC) je potom následující:

1) Nejprve je třeba otevřít potřebné snímky v programu *Adobe Photoshop* ve formátu TIFF:

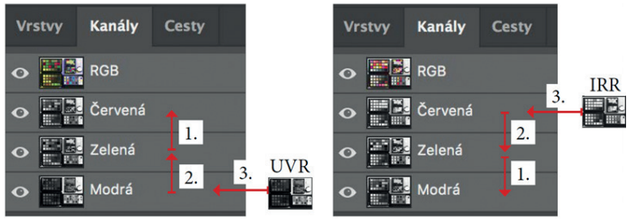


a) pro IRRFC jsou to fotografie VIS a IRR [Obr. 10a, 10b],
b) pro UVRFC to jsou fotografie VIS a UVR [Obr. 11a, 11b].

2) Sloučení snímků se provádí tažením vrstvy reflexního snímku (IRR nebo UVR) na snímek VIS, který je třeba umístit na střed. Reflexní snímek (IRR nebo UVR) je potom možné zavřít bez uložení, již nadále nebude zapotřebí.

3) Registrace/sesazení reflexního snímku (IRR nebo UVR) se snímkem VIS:
Reflexní snímek (IRR nebo UVR) se transformuje podle registračních značek tak, aby jeho velikost přesně odpovídala obrazu VIS. Jednou z možností, jak transformaci uskutečnit, je změnit krytí u vrstvy s reflexním snímkem (IRR nebo UVR) na optimálních 60 %, čímž se vrstva zprůhlední a umožní se tak srovnání obou vrstev vůči sobě. Je zapotřebí vybrat nástroj transformace postupem Úpravy > *Transformovat* > *Změna velikosti* nebo zkratkou *Ctrl+T/Cmd+T*. Uchopením za rohový bod nástroje lze měnit velikost snímku tažením. Poté je nutné úpravu potvrdit klávesou *Enter* a následně vrátit krytí zpět na 100 %.

4) Míchání kanálů ve snímku VIS:
Nejprve je nutné přepnout se do vrstvy se snímkem VIS a poté otevřít okno s kanály, kde se provede záměna jednotlivých kanálů mezi sebou. Přehled přesunu jednotlivých kanálů je následující [Obr. 9]:
– v případě IRRFC se posune zelený kanál na modrý, červený na zelený,
– v případě UVRFC se posune zelený kanál na červený a modrý kanál se posune na zelený.



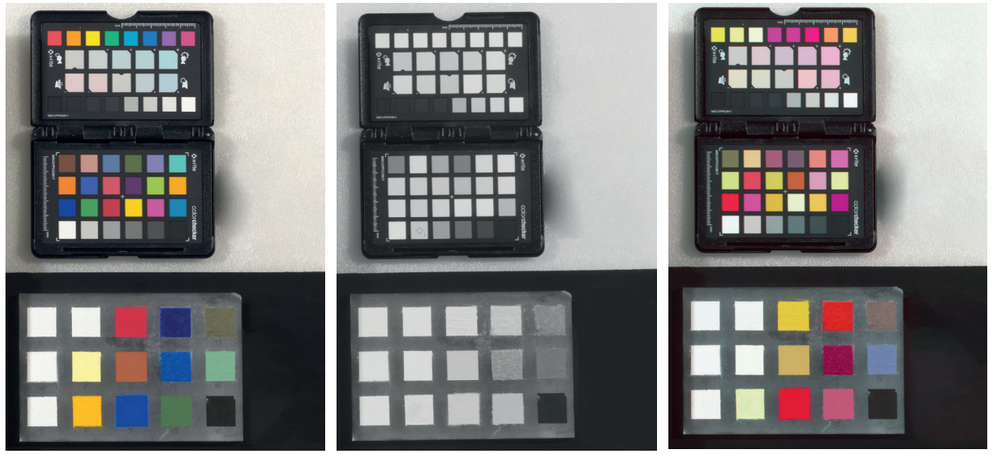

*Obr. 9* **Adobe Photoshop CC 2020, přehled nahrazení jednotlivých kanálů při vytváření snímků ve falešných barvách UVRFC (vlevo) a IRRFC (vpravo).**[52] Autor schématu: David Svoboda

5) Přesun reflektografického snímku:
K přesunu je nejprve zapotřebí se přepnout do vrstev obrazu a vybrat zde reflektografický snímek, pozor nikoliv jeden z kanálů, a následně zkopírovat tento snímek do příslušného kanálu snímku VIS následujícím způsobem.
– v případě IRRFC na místo červeného kanálu,
– v případě UVRFC namísto modrého kanálu.

6) Následuje uložení do souboru TIFF nebo DNG
(bez komprese, Obr. 10c, Obr. 11c).

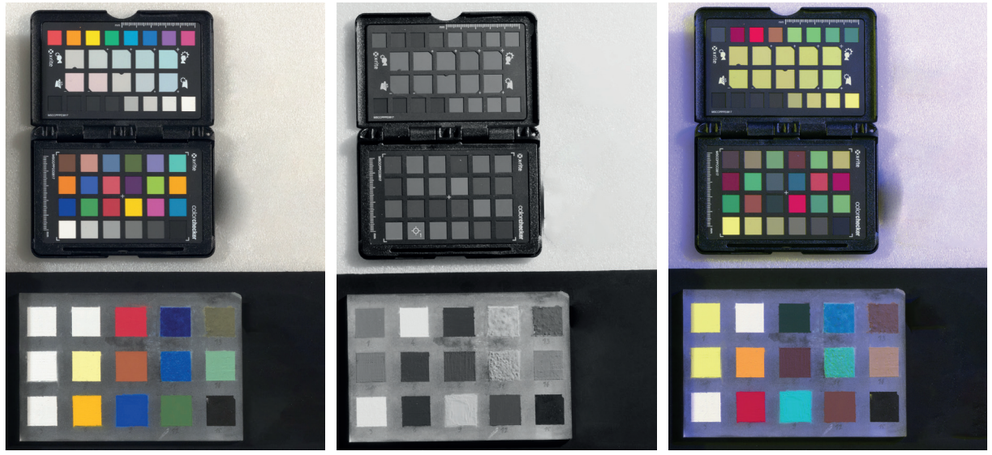
**52** | Viz Svoboda (pozn. 1), s. 76.

a) b) c)



*Obr. 10* **Výsledky fotografování a tvorby IR snímků ve falešných barvách (IRFC) podle průvodce *AIC*: a) kalibrovaný snímek v odraženém bílém světle (VIS), pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* upraveno na hodnoty RGB 200±5; b) IR reflexní snímek upraven podle pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 200±5; c) IR reflexní fotografie ve falešných barvách (IRRFC).** Foto: David Svoboda

a) b) c)



*Obr. 11* **Výsledky fotografování a tvorby UV snímků ve falešných barvách (UVFC) podle průvodce *AIC*: a) kalibrovaný snímek v odraženém bílém světle (VIS), pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* upraveno na hodnoty RGB 200±5; b) UV reflexní snímek upraven podle pole N8 *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2* na hodnoty RGB 120±5; c) UV reflexní fotografie ve falešných barvách (UVRFC).** Foto: David Svoboda



## Závěr

V rámci předkládaného textu byly přiblíženy hlavní aspekty pořizování technické širokospektrální fotografie, zahrnující průběh snímání a principy kalibrace, případně některé možnosti standardizace získaných snímků. V teoretické rovině jsou zde představeny dva základní okruhy metodického zpracování řešené problematiky včetně postprodukčních postupů dokumentační fotografie v rozptýleném světle (VIS) a zejména potom UV a IR reflexní fotografie. Uvedená problematika je součástí rozsáhlejší studie zaměřené na možnosti technické fotografie pořízené „*full-spectrum*" upraveným digitálním fotoaparátem v UV-VIS-IR oblasti záření v přibližném spektrálním rozsahu 350–1100 nm. Navazuje na předcházející článek[53], ve kterém byly popsány nejvíce využívané metody technické fotografie, konkrétně potom záznam odraženého bílého světla (VIS), viditelná luminiscenční/fluorescenční fotografie (UVL/UVF) a již zmíněné techniky infračervené (IRR) a ultrafialové reflexní fotografie (UVR). Cílem práce je představení širokospektrální fotografie včetně základních přístupů kalibrace a postprodukce odborné veřejnosti s očekáváním, že se může stát běžnou součástí průzkumu a dokumentace předmětů kulturního dědictví.

Experimentální část prezentovaná v tomto článku byla zaměřena především na možnosti jednoduché základní kalibrace a postprodukce ultrafialové (UVR) a infračervené (IRR) reflexní fotografie. V této souvislosti byly provedené zkoušky inspirovány průvodcem *AIC* a manuálem ke kalibrační tabulce *AIC PhD Target* od AIC institutu, případně jeho modifikovaným postupem podle A. Cosentina. Vybrané postupy a jejich rozdíly byly demonstrovány na zkušebním panelu s patnácti poli vybraných pigmentů *a na tabulce X-RITE ColorChecker Passport Photo 2 (X-RITE)*, která byla použita ke kalibraci fotografií.

Provedené testy lze v tuto chvíli považovat za počáteční vstup do rozsáhlejší problematiky otevírající mnoho dalších otázek. V této souvislosti je důležité zmínit, že předkládaný text nemůže zcela jednoznačně doporučit některý z nalezených přístupů kalibrace UV a IR fotografií, už jenom proto, že existence vícero postupů obecnou standardizaci v podstatě znemožňuje. Snažíme se však poskytnout vodítko, jakým způsobem přemýšlet a přistupovat k fotografické dokumentaci pořízené širokospektrálními technikami. Za přínos práce pro restaurátorskou praxi lze považovat sestavení podrobného postupu tvorby UV a IR snímků ve falešných barvách (UVRFC, IRRFC) běžným neboli „klasickým" způsobem v komerčně dostupné aplikaci *Adobe Photoshop CC 2020*.

**Poděkování**
Práce byla realizována v rámci projektu SGS_2019_015 finančně podpořeného grantem Interní grantové agentury Univerzity Pardubice (IGA UPa).

**53** | Viz Lesniaková – Svoboda – Vojtěchovský (pozn. 2).

## SUMMARY

### TECHNICAL PHOTOGRAPHY FOR EXAMINATION OF WORKS OF ART. EXPERIMENTAL SET-UP, IMAGE CAPTURING AND POST-PROCESSING – ULTRAVIOLET AND INFRARED REFLECTED PHOTOGRAPHY, FALSE COLOURS IMAGES

The paper presents a part of a more extensive survey focusing on technical (broad-band) photography taken with a modified digital camera in UVA-VIS-NIR spectral ranges between approximately 350-1100 nm. In the previously published article, fundamental methods of technical photography were introduced including imaging in visible light (VIS), infrared photography (IRR), ultraviolet photography (UVR) and ultraviolet luminescence (fluorescence) photography (UVL/UVF). At the same time, other luminescence methods of technical photography were briefly presented. Such methods include visible-induced visible luminescence (VIVL) and visible-induced infrared luminescence (VIL). The purpose of the paper is to present technical photography to the conservation professionals with an expectation that such methods might become commonly incorporated in the investigation and documentation of cultural heritage objects.

The aim of the article is to describe the basic aspects of technical photography in practice, including the experimental set-up, radiation sources and setting up equipment, image capturing, post-processing, calibration principles and possibly the options of their standardization. Two published methodological procedures describing calibration, standardization and post-processing of technical photography are briefly present here. The experimental part is particularly focused on ultraviolet and infrared reflected photography (UVR, IRR), their calibration and the post-processing. It also contains a detailed description of the creation of ultraviolet and infrared false colours images (UVRFC, IRRFC) based on the common procedure using commercially available *Adobe Photoshop* programme. Selected methodological approaches and the differences between them were demonstrated on the *X-Rite ColorChecker Passport Photo 2 (X-Rite)* chart that was used for the calibration and on the paint samples with fifteen pigments.