

Retušování v 21. století: metodologická a technologická vizuální integrace uměleckých děl

Retouching in the 21st Century: Methodological
and Technological Visual Integration of Artworks

Barbora Peterková

Klíčová slova:

retušování | etika | kritické myšlení | míra zásahu | vzdělávání | digitální technologie

Keywords:

Retouching | Ethics | Critical Thinking | Degree of Intervention |
Education | Digital Technologies

Disertační výzkum se zabývá vizuální integrací uměleckého díla prostřednictvím retuše v kontextu technologických a etických proměn 21. století. Projekt vychází z historické reflexe vývoje retušerských přístupů a usiluje o vytvoření metodologického rámce vizuální integrace, kdy digitální technologie a algoritnické systémy doplňují tradiční restaurátorské postupy, jejichž hranice nejsou jednoznačně vymezeny.

Cílem výzkumu je formulovat metodologii retuše, která propojuje tradiční etické principy – reverzibilitu, transparentnost, rozlišitelnost, efektivitu a míru zásahu – s možnostmi digitálních nástrojů a metod strojového učení. Výzkum zkoumá, jak datové modely a vizuální simulace mohou optimalizovat rozhodovací proces při retuši a zároveň zachovat její kritický, estetický a filozofický rozměr. Retuš je disciplínou, jejíž etické a estetické principy je nutné reflektovat od počátku každého zásahu, a současná praxe dosud postrádá metodologii plně integrující moderní technologie bez ohrožení integrity díla.

Metodologický rámec je interdisciplinární a propojuje chemicko-technologické, nedestruktivní a digitální analýzy, z nichž vznikají vizuální modely a algoritmy podporující plánování zásahu a odborný dialog mezi restaurátory, kurátory a technologickými experty. Pozornost je věnována hranici mezi lidskou a strojovou interpretací díla a redefinici role restaurátora jako kreativního mediátora mezi originálem a jeho současnou percepcí.

Didaktická rovina projektu rozvíjí edukační strategie a kompetence pro práci s digitálními technologiemi v restaurování a zahrnuje multimodální vzdělávací materiály podporující kritické myšlení a digitální gramotnost budoucích restaurátorů. Projekt syntetizuje teoretickou fundovanost, technologickou inovaci a etickou odpovědnost – pilíře nové kultury vizuální integrace uměleckého díla v 21. století.

The dissertation research focuses on the visual integration of artworks through retouching in the context of technological and ethical transformations of the 21st century. The project builds on a historical reflection of retouching approaches and aims to develop a methodological framework for visual integration, in which digital technologies and algorithmic systems complement traditional conservation practices, whose boundaries remain insufficiently defined.

The research aims to formulate a retouching methodology that combines traditional ethical principles—reversibility, transparency, distinguishability, efficiency, and appropriate degree of intervention—with the possibilities offered by digital tools and machine learning methods. It investigates how data models and visual simulations can optimize decision-making in retouching while preserving its critical, aesthetic, and philosophical dimensions. Retouching is a discipline whose ethical and aesthetic principles must be considered from the outset of any intervention, and current practice still lacks a methodology fully integrating modern technologies without compromising the integrity of the artwork.

The methodological framework is interdisciplinary, combining results from chemical, non-destructive, and digital analyses to create visual models and algorithms that support precise planning of interventions and facilitate expert dialogue among conservators, curators, and technological specialists. Particular attention is given to the boundary between human and machine interpretation of the artwork and to redefining the conservator's role as a creative mediator between the original and its contemporary perception.

The didactic dimension of the project develops educational strategies and competencies for working with digital technologies in conservation and includes multimodal teaching materials that foster critical thinking and digital literacy in future conservators. The project synthesizes theoretical rigor, technological innovation, and ethical responsibility—the pillars of a new culture of visual integration of artworks in the 21st century.

Integrace moderních digitálních technologií do oboru restaurování uměleckých děl představuje cílený a vědomý krok směrem k rozšíření možností vizuální integrace. Současné aplikace však stále vykazují omezení v oblasti kontrolovatelnosti jednotlivých zásahů v digitální sféře pro práci se snímky, což činí nezbytným systematické vymezení terminologie, standardizaci postupů a vývoj metodologického rámce, který umožní bezpečné a eticky podložené využití těchto nástrojů.

Cílem tohoto výzkumu není pouze testování technologických možností, ale především formulace prvních kroků k jejich globálně udržitelnému a kontrolovatelnému začlenění do praxe konzervace a restaurování se zaměřením na oblast retuše. Vzhledem k interdisciplinární povaze oboru a potenciálu pro další inovace je sdílení těchto úvah v mezinárodním měřítku stěžejní pro vytvoření pevného základu pro budoucí rozvoj metod a standardů v digitální a vizuální integraci.

Tento článek nastiňuje již probíhající výzkum, zaměřující se na propojení tradičních etických a estetických principů retuše s technologickými možnostmi moderních softwarových nástrojů, fotogrammetrie a algoritmické analýzy. Cílem je nabídnout systematický rámec pro vizuální integraci, který zahrnuje jak praktické aspekty práce s obrazem, tak metodologické, analytické a etické dimenze, jež jsou nezbytné pro kvalifikovanou a odpovědnou restaurátorskou praxi.

Retušování představuje jednu z nejcitlivějších a zároveň teoreticky nekomplexnějších disciplín v rámci restaurování uměleckých děl. Pohybuje se na rozhraní technického zásahu, estetické interpretace a etické odpovědnosti vůči originálu. Jeho základní funkcí je obnovení vizuální soudržnosti díla narušené degradací materiálu, mechanickým poškozením či dřívějšími zásahy, aniž by byla potlačena jeho historická autenticita nebo narušena čitelnost časových vrstev (Brandi, 2005).

V průběhu 20. století prošlo retušování zásadní proměnou. Od iluzivních rekonstrukčních postupů, jejichž cílem bylo zakrýt zásah a vytvořit dojem nedotčenosti díla, se odborná praxe postupně posunula k metodám založeným na rozlišitelnosti, minimalizaci zásahu a respektu k materiálové i významové integritě originálu (Baldini, 1986; Philippot, 1996). Tyto změny byly úzce spjaty s formulací moderní teorie restaurování, zejména v italském prostředí, kde Cesare Brandi vymezil retuš jako akt „kritické rekonstrukce jednoty obrazu“, nikoli jako návrat k hypotetickému původnímu stavu (Brandi, 2005).

Současná restaurátorská praxe však vstupuje do nové fáze, kterou lze charakterizovat jako technologicko-etický posun paradigmatu. Rozvoj digitálních zobrazovacích metod, výpočetního modelování a algoritmických systémů zásadně proměňuje způsoby analýzy, plánování i samotného provádění retuší (Apollonio, Gaiani & Sun, 2017; Bentkowska-Kafel, MacDonald & Peters, 2012). Digitální technologie dnes umožňují detailní mapování povrchu díla, přesnou dokumentaci vrstevné struktury i simulaci různých variant vizuální integrace bez fyzického zásahu do originálu. Tento potenciál však zároveň vyvolává nové otázky týkající se metodologie, autorství a odpovědnosti restaurátora.

Základní etické principy konzervování-restaurování, jež jsou: reverzibilita, transparentnost, rozlišitelnost, proporcionalita zásahu a účinnost, zůstávají v digitálním věku nadále platné (ICOM-CC, 2008; Muñoz-Viñas, 2005). Jejich interpretace se však rozšiřuje. Reverzibilita již není chápána pouze v materiálovém smyslu, ale i jako možnost návratu k předchozím rozhodnutím v rovině digitální simulace. Transparentnost zahrnuje nejen dokumentaci použitých materiálů, ale také archivaci datových sad, algoritmických postupů a parametrů vizuálních modelů. Rozlišitelnost se přesouvá z výhradně optické roviny do roviny informační – zásah musí být jednoznačně identifikovatelný v odborné dokumentaci i digitálním modelu díla (Muñoz-Viñas, 2005).

Digitální nástroje tak nelze chápat jako neutrální prostředky. Algoritmické systémy pracují na základě předem definovaných datových struktur a statistických modelů, které nutně odrážejí kulturní i epistemologické předpoklady svých tvůrců (Manovich, 2013). Výstupy těchto systémů proto nemohou být automaticky považovány za objektivní rekonstrukci ztracené vizuální informace. Restaurátor musí zaujmout roli kritického interpreta technologických návrhů a zachovat plnou odpovědnost za konečné rozhodnutí o podobě zásahu.

Současné zobrazovací a analytické metody – multispektrální a hyperspektrální snímkování, RTG radiografie, 3D skenování či reflektografie – umožňují vytvoření komplexního datového modelu díla, který integruje informace o jeho materiálové skladbě, technologii vzniku i stavu dochování (Apollonio et al., 2017). Na tomto základě lze vytvářet virtuální simulace různých variant retuše, testovat jejich vizuální účinek a hodnotit míru zásahu ještě před samotnou realizací. Tento postup podporuje kolektivní rozhodování a odborný dialog mezi restaurátory, kurátory, historiky umění a zadavateli zakázky, grafiky atd. (Bentkowska-Kafel et al., 2012).

V metodologické rovině se proto nabízí koncepce vizuální integrace jako strukturovaného procesu, který zahrnuje několik navazujících fází: analytickou, interpretativní, modelovací, etickou, realizační a reflexivní. V analytické fázi jsou shromažďována data prostřednictvím nedestruktivních metod a technologického průzkumu. Interpretativní fáze propojuje výsledky analýz s historicko-uměleckým výzkumem a identifikací významových vrstev díla. Následuje modelovací fáze, v níž jsou vytvářeny digitální simulace možných variant retuše. Etické hodnocení posuzuje proporcionalitu zásahu, jeho nutnost a soulad s konzervačními principy. Teprve poté následuje fyzická realizace zásahu a závěrečná reflexe spojená s archivací dat a dokumentace.

Zásadním problémem této nové metodologie je otázka autorství. Pokud algoritmus navrhne barevné hodnoty chybějící partie nebo rekonstruuje pravděpodobnou podobu ornamentu, nelze tento výstup chápat jako autonomní akt tvorby. Autorství vizuální integrace zůstává na straně restaurátora, který návrh hodnotí, upravuje a rozhoduje o jeho aplikaci. Technologie zde funguje jako rozšíření percepčních a analytických schopností člověka, nikoli jako jejich náhrada (Paul, 2015).

Tato proměna role restaurátora má přímé důsledky pro vzdělávání v oboru. Tradiční model výuky založený převážně na osvojování manuálních dovedností a ateliérové praxi již neodpovídá komplexnosti současného technologického prostředí. Budoucí restaurátor musí disponovat nejen řemeslnou zručností a znalostí materiálů, ale také schopností pracovat s digitálními daty, porozumět principům algoritmického zpracování obrazu a kriticky hodnotit technologické výstupy (Bomford, 2014).

V posledním desetiletí se do oblasti digitální analýzy obrazu stále výrazněji prosazují metody strojového učení a hlubokých neuronových sítí, zejména konvolučních neuronových sítí (CNN), které umožňují automatizovanou extrakci obrazových struktur, barevných vztahů a texturních vzorců (Goodfellow et al., 2016). V kontextu konzervování-restaurování se tyto metody začínají uplatňovat především při rekonstrukci chybějících fragmentů, predikci původních barevných hodnot a analýze malířské techniky.

Algoritmy založené na tzv. image inpaintingu dokáží generovat vizuálně konzistentní doplnění ztracených oblastí na základě statistické analýzy okolní struktury obrazu a trénovacích dat obsahujících srovnatelné stylistické rysy (Nazeri et al., 2019). V experimentálních aplikacích byly tyto metody využity například k simulaci původní podoby renesančních fresek nebo k rekonstrukci ornamentálních částí deskových maleb (Li et al., 2020).

Z metodologického hlediska však nelze tyto výstupy chápat jako návrh „správného“ řešení, nýbrž jako jednu z možných hypotéz vizuální integrace. Neuronová síť nepracuje s historickým významem díla, symbolickou funkcí barev ani s kontextem jeho vzniku; operuje výhradně v rovině pravděpodobnostních korelací mezi obrazovými daty (Manovich, 2013). Hrozí zde riziko tzv. technologického naturalismu – tedy tendence považovat matematicky generovaný výstup za objektivní rekonstrukci reality.

Z tohoto důvodu je v navrhované metodologii strojové učení chápáno jako nástroj podpory rozhodování, nikoli jako autonomní autor vizuální integrace.

Algoritmus může:

- navrhnout barevné spektrum chybějící oblasti,
- simulovat více variant doplnění,
- kvantifikovat rozdíly mezi řešeními,
- upozornit na strukturální anomálie.

Finální volba však zůstává vždy výsledkem lidského kritického úsudku, který integruje technologická data s historickými znalostmi a etickými kritérii zásahu (Muñoz-Viñas, 2005). Digitální nástroje, algoritmické modely a simulační prostředí mohou tento proces významně strukturovat, zpřesňovat a rozšiřovat jeho informační základnu, avšak nemohou jej nahradit v jeho interpretační a hodnotové dimenzi.

Současná restaurátorská praxe se proto nutně opírá o interdisciplinární spolupráci odborníků z oblasti chemie, fyziky materiálů, dějin umění, vizuální komunikace a informatiky. Každá z těchto disciplín přináší specifický typ poznání – analytickou exaktnost, historicko-ikonografickou interpretaci či technologickou efektivitu práce s obrazovými daty. Teprve jejich integrace však umožňuje formulovat zásah, který respektuje jak materiální strukturu díla, tak jeho kulturní, estetickou a historickou identitu.

Ústřední rolí v tomto procesu zaujímá restaurátor, jakožto odborný mediátor mezi těmito dílčími epistemickými poli. Pouze on disponuje kompetencí kriticky propojit technologické, materiálové a kunsthistorické poznatky do jednotného rozhodovacího rámce orientovaného primárně na zachování integrity samotného díla. Izolované a následně aplikované stanovisko jednotlivých specialistů – ať již chemika, kunsthistorika, či grafického experta – může v případě absence této syntézy vést k zásahům, které jsou sice technicky korektní či vizuálně přesvědčivé, avšak z hlediska dlouhodobé existence a významu artefaktu potenciálně destruktivní.

Zvláště v oblasti digitální retuše je tento aspekt zásadní. Specialista na digitální obrazová data může disponovat hlubokou znalostí softwarových nástrojů a vysokou mírou technické virtuozity v jejich ovládnutí, avšak bez detailního porozumění díla, jeho materiálové skladbě a technologii vzniku nemůže kvalifikovaně posoudit dopad jednotlivých digitálních intervencí na budoucí fyzický zásah. Každý krok provedený v digitálním prostředí musí být proto koncipován jako hypotetický model zásahu, jenž je plně kompatibilní s reálnou strukturou díla a s principy konzervačně-restaurátorské etiky.

Z hlediska etiky je nezbytné, aby použití neuronových sítí bylo plně dokumentováno: včetně typu modelu, trénovacích dat, použité architektury a parametrů generování. Tato transparentnost je podmínkou reprodukovatelnosti a odborné kontroly, která je v restaurátorské praxi zásadní (ICOM-CC, 2008).

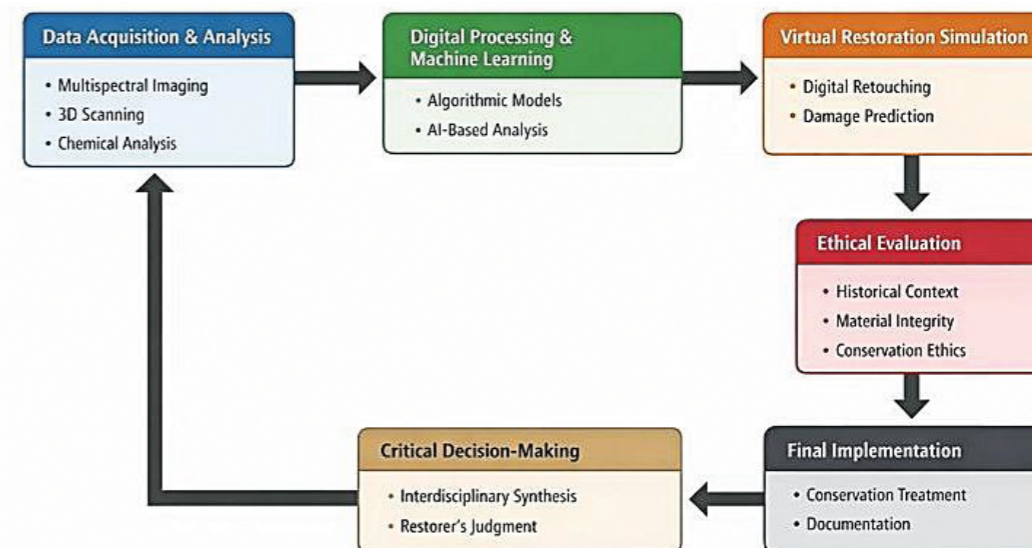
Strojové učení tak v oblasti retuše nepředstavuje náhradu restaurátora, ale rozšíření jeho analytického aparátu – podobně jako mikroskop nebo multispektrální kamera rozšířily jeho smyslové vnímání v předchozích dekáдах. Vymezování metod digitální retuše výhradně v rámci jejich současných technických možností představuje metodologicky problematické omezení. V kontextu exponenciálního vývoje algoritmických systémů, materiálového inženýrství a aditivních výrobních technologií je oprávněné předpokládat, že dnešní postupy virtuální vizuální integrace budou v budoucnu fungovat jako konceptuální a technologický předstupeň nových forem fyzické materiálové intervence.

Potenciální aplikace nanostrukturovaných materiálů a vysoce přesných depozičních či tiskových metod by mohly umožnit zásahy s přesně kontrolovanou morfologií, stratigrafií a chemickým složením v mikro- až submikrometrickém měřítku. Takové postupy by zásadně rozšířily možnosti stabilizace a omezené konsolidace u děl s extrémně vysokou materiálovou senzitivitou, u nichž jsou tradiční restaurátorské zásahy nepřiměřeně rizikové.

Ačkoli tyto perspektivy vstupují do oblasti výrazně zatížené etickými kontroverzemi, jejich apriorní vyloučení na základě současného technologického stavu by představovalo epistemologicky restriktivní postoj, jenž by dlouhodobě limitoval adaptabilitu oboru na proměňující se podmínky materiálového poznání a technologického vývoje. Kritická otevřenost vůči těmto směrům je proto nutnou součástí odpovědného rozvoje soudobé restaurátorské metodologie.

Didaktická dimenze současného výzkumu vizuální integrace proto směřuje k tvorbě multimodálních vzdělávacích materiálů – odborných učebnic, video-tutorialů, podcastů a záznamů praktických cvičení – které propojují teorii, technologii a etiku. Cílem není pouze rozvoj technických kompetencí, ale především kultivace kritického myšlení a schopnosti reflektovat vlastní rozhodování v širším kulturním a historickém kontextu.

Nová kultura vizuální integrace může vzniknout pouze tehdy, pokud budou technologické inovace systematicky začleněny do metodologického rámce založeného na transparentnosti, odpovědnosti a respektu k autenticitě uměleckého díla. Restaurátor zde nevystupuje ani jako neviditelný technik, ani jako autonomní tvůrce, ale jako kvalifikovaný mediátor mezi minulostí artefaktu a jeho současnou vizuální recepcí.



Obr. 1 Metodické rozhraní pro vizuální digitální integraci. [BP]

Softwarové nástroje pro digitální analýzu obrazu a jejich role v metodologii restaurování

Digitální restaurování uměleckých děl se v současné odborné praxi neomezuje na vizuální simulaci výsledného stavu, ale stává se integrální součástí analytického a rozhodovacího procesu. Specializované softwarové nástroje dnes umožňují nejen provádění virtuálních retuší, ale především detailní analýzu obrazových dat, separaci vrstev, kvantifikaci barevných změn, studium struktury malířské vrstvy a modelování různých scénářů zásahu. Digitální prostředí tak vytváří intermediární rovinu mezi fyzickým artefaktem a jeho interpretací restaurátorem.

Na rozdíl od běžné digitální postprodukce musí být použití těchto nástrojů v oblasti restaurování podřízeno přísným metodologickým a etickým kritériím: každý krok digitální manipulace musí být dokumentovatelný, reprodukovatelný a oddělitelný. Software se tak nestává prostředkem estetické manipulace, ale nástrojem epistemologickým – sloužícím k poznání struktury díla a k racionalizaci rozhodování o jeho vizuální integraci.

Rasterové editační systémy jako analytické prostředí: Adobe Photoshop a GIMP

Adobe Photoshop představuje v současnosti de facto standardní platformu pro digitální práci s obrazem v restaurátorské dokumentaci i experimentální vizuální integraci. Jeho význam však nespočívá primárně v retušovacích nástrojích, ale v komplexním systému práce s vrstvami, maskami, barevnými prostory a histogramy, které umožňují oddělit jednotlivé vizuální složky obrazu a analyzovat je izolovaně. V restaurátorské praxi je Photoshop využíván k:

- separaci malířských vrstev pomocí spektrálních kanálů,
- porovnávání stavu před a po zásahu pomocí diferenčních map,
- simulaci barevných korekcí v různých světelných podmínkách,
- vizualizaci hypotetických rekonstrukcí bez zásahu do originálu.

Nástroje jako Clone Stamp nebo Content-Aware Fill jsou metodologicky využitelné pouze v simulační fázi – slouží k testování možných řešení a k identifikaci vizuálních rizik zásahu. Jejich přímé přenesení do fyzické retuše musí být vždy podřízeno kritickému posouzení, protože algoritmická interpolace obrazových dat nepracuje s historickou pravděpodobností, ale s matematickou kontinuitou struktury.

Open-source alternativa GIMP plní obdobnou funkci v prostředích, kde je kladen důraz na transparentnost nástrojů a dlouhodobou archivovatelnost datových procesů. Výhodou GIMPu je možnost modifikace zdrojového kódu a integrace vlastních analytických pluginů, což je významné zejména ve výzkumných projektech zaměřených na kvantitativní analýzu barevné degradace nebo mapování mikrotrhlin.

V obou případech se rasterové editory uplatňují jako laboratoř vizuálních hypotéz, nikoli jako prostředek tvorby definitivního obrazu.

Digitální malířské systémy a simulace techniky: Corel Painter

Corel Painter představuje specifickou kategorii nástrojů, jejichž význam spočívá v simulaci tradičních malířských technik na základě fyzikálních modelů chování pigmentu, pojiva a podkladu. Pro restaurátory je tento software cenný zejména v případech, kdy je nutné analyzovat způsob nanášení barvy, strukturu tahu štětce nebo charakter lazurních vrstev. Digitální rekonstrukce provedená v Painteru umožňuje:

- testovat kompatibilitu navrhované retuše s původní technikou,
- simulovat optické chování vícevrstevných barevných struktur,
- analyzovat vizuální integraci z různých pozorovacích vzdáleností.

Tento typ softwaru posouvá digitální práci z roviny čistě analytické do roviny technologicko-intepretační, kde je vizuální výsledek konfrontován s materiálovou realitou díla. Painter tak slouží jako prostředník mezi obrazovou analýzou a praktickou aplikací retuše.

Kvantitativní obrazová analýza: ImageJ/Fiji

Zásadní roli v současném výzkumu kulturního dědictví hraje software ImageJ (a jeho rozšířená distribuce Fiji), původně vyvinutý pro biomedicínské zobrazování. V oblasti restaurování se uplatňuje především tam, kde je nutné překročit subjektivní vizuální hodnocení a nahradit je měřitelnými parametry. Pomocí ImageJ lze:

- kvantifikovat změny barevnosti v čase,
- analyzovat granulometrii pigmentových částic,
- mapovat hustotu krakeláže,
- porovnávat multispektrální snímky pixel po pixelu,
- vytvářet matematické modely degradace materiálu.

Tento software umožňuje transformovat obraz z estetického objektu na datovou strukturu, čímž poskytuje restaurátorovi nový typ poznání – statistický a strukturální. Výsledky těchto analýz mohou zásadně ovlivnit rozhodnutí o míře zásahu, volbě materiálů i metodě vizuální integrace.

Fotogrammetrie a 3D obrazová data: Agisoft Metashape a Autodesk ReCap

Přestože je hlavním předmětem této studie digitální obraz ve dvourozměrném smyslu, nelze opomenout rostoucí význam 3D obrazových dat při analýze maleb s výraznou topografií povrchu, nástěnných maleb a polychromované plastiky. Agisoft Metashape a Autodesk ReCap umožňují převádět sérii fotografií do metricky přesných 3D modelů, které integrují:

- geometrickou informaci,
- barevná data,
- mapy poškození,
- texturové vrstvy.

Tyto modely lze dále analyzovat v řezech, měřit objem ztrát, simulovat dopady doplnění chybějících částí na světelné chování povrchu a testovat vizuální kontinuitu ornamentálních struktur.

Z hlediska metodologie představuje 3D obrazový model rozšíření tradiční dokumentace do prostoru, v němž lze propojit analytickou, simulační a didaktickou rovinu restaurování.

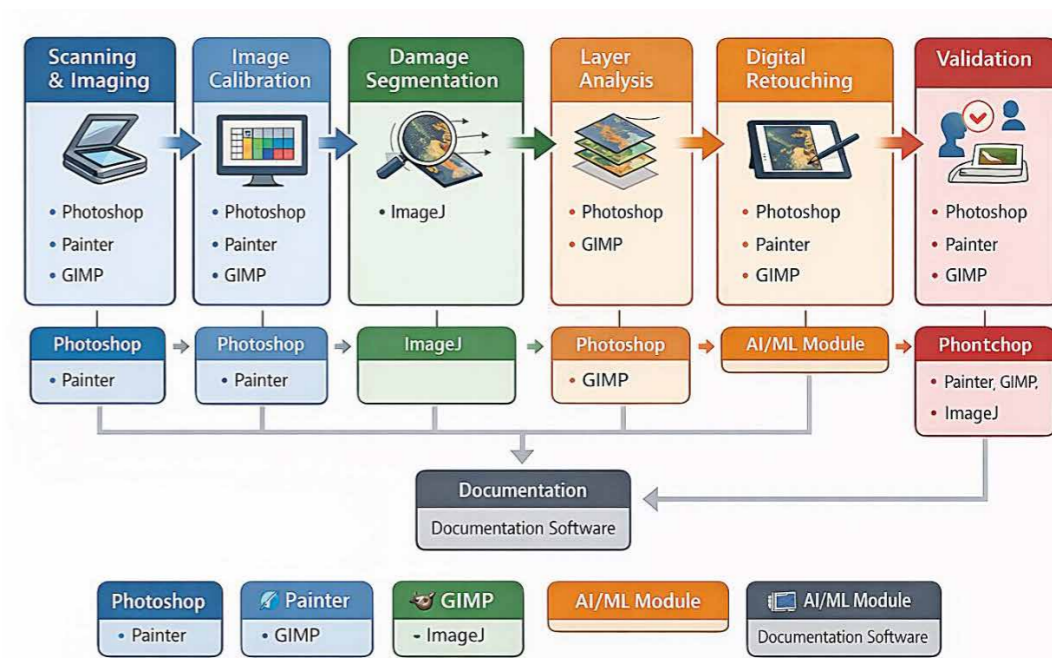
Integrace softwarových nástrojů do jednotného metodologického rámce

Podstatné není samotné vlastnictví konkrétního softwaru, ale jeho začlenění do strukturovaného rozhodovacího procesu. Digitální nástroje lze rozdělit podle jejich funkce:

- diagnostické (ImageJ, spektrální analýza),
- modelovací (Photoshop, Painter),
- verifikační (simulace variant),
- dokumentační (3D modely, vrstvy zásahů).

Všechny tyto vrstvy společně vytvářejí tzv. digitální epistemickou stopu restaurování – soubor dat, který dokumentuje nejen výsledek, ale i cestu k němu. Tato stopa se stává součástí odborné odpovědnosti restaurátora a významně posiluje transparentnost oboru.

Ačkoli jsou výše uvedené softwarové nástroje primárně orientovány na analýzu obrazu v jeho plošné podobě, současná restaurátorská praxe stále častěji naráží na limity čistě dvourozměrné reprezentace. Malířská vrstva, podklad i degradační procesy totiž existují nikoli jako abstraktní obraz, ale jako prostorově strukturovaný materiální systém, jehož optické vlastnosti jsou neoddělitelně spojeny s topografií povrchu. V této souvislosti se digitální práce



Obr. 2 Zjednodušený diagram základních digitálních nástrojů pro analýzu díla v digitálním prostředí. [BP]

s obrazem nutně rozšiřuje do třetí dimenze a přechází od analýzy pixelových struktur k modelování geometrických vztahů. Právě zde vstupuje do metodologického rámce restaurování fotogrammetrie – technologie, která umožňuje transformovat obrazovou informaci do prostorově definovaného datového modelu a propojit tak vizuální analýzu s materiální realitou díla.

Fotogrammetrie představuje převod vizuální reality uměleckého díla do kvantifikovatelné digitální struktury. Na rozdíl od tradiční fotografické dokumentace, která poskytuje pouze plošnou reprezentaci povrchu, umožňuje fotogrammetrie rekonstruovat prostorovou geometrii objektu a propojit ji s vysoce detailními texturovými daty. Výsledkem je komplexní obrazový model, který integruje formální, materiálové i degradační charakteristiky díla do jednotného analytického prostředí.

Z metodologického hlediska se fotogrammetrie neomezuje na funkci dokumentační, ale stává se plnohodnotným nástrojem poznání – prostředkem, kterým lze studovat vnitřní logiku povrchových struktur, vztahy mezi vrstvami a dynamiku poškození v čase. Digitální model nevystupuje pouze jako reprezentace artefaktu, ale jako jeho sekundární forma, umožňující nové typy otázek, které nejsou v analogovém prostředí přímo kladitelné.

Fotogrammetrie jako analytický a metodologický nástroj soudobého restaurování

Fotogrammetrická rekonstrukce je založena na matematické triangulaci odpovídajících bodů v překrývajících se snímcích pořízených z různých úhlů. V restaurátorském kontextu je rozhodující zejména kontrola barevné kalibrace, osvětlení, zachování mikroreliefu povrchu a minimalizace optických deformací. Specializovaný software, jako je Agisoft Metashape či Autodesk ReCap, umožňuje generovat bodová mračna, polygonální síť, vysoce detailní texturované modely a ortofotografické projekce bez perspektivního zkreslení. Právě ortofoto představuje pro restaurátora zásadní nástroj, neboť kombinuje vizuální informaci fotografie s geometrickou přesností technického výkresu a stírá tak hranici mezi obrazovou dokumentací a měřitelným modelem.

Jednou z klíčových aplikací fotogrammetrie je analýza povrchové topografie a jejího vývoje v čase. Diferenciální modely umožňují kvantifikovat materiálové ztráty, sledovat šíření krakeláže, identifikovat deformace podkladu či sekundární zásahy. Povrch díla se tím transformuje v datovou strukturu, jejíž vlastnosti lze matematicky popsat, což představuje zásadní posun od čistě kvalitativního hodnocení k hybridnímu epistemologickému modelu kombinujícímu percepční a exaktní poznání. Fotogrammetrie tak významně přispívá i k oblasti preventivní konzervace, neboť umožňuje detekovat změny na hranici lidské rozlišovací schopnosti.

Z hlediska retuše a vizuální integrace nabývá fotogrammetrie zvláštního významu u děl s narušenou prostorovou kontinuitou povrchu, jako jsou nástěnné malby, reliéfní dekorace či impastní struktury. Digitální trojrozměrný model umožňuje simulovat doplnění chybějících partií nejen v rovině barevnosti, ale i objemu a světelného chování povrchu. Restaurátor tak může předem hodnotit dopad navrhovaného zásahu na čitelnost tvaru, kontinuitu ornamentální struktury či percepce díla z různých pozorovacích vzdáleností, což nelze plně dosáhnout pomocí dvourozměrných simulací.

Pokročilé aplikace fotogrammetrie spočívají v integraci geometrického modelu s multispektrálními snímky, radiografickými daty či mapami pigmentového složení, čímž vzniká virtuální stratigrafický model. Ten umožňuje prostorovou lokalizaci jednotlivých technologických vrstev, analýzu jejich vztahů a simulaci chování díla při různých typech zásahů. Takový model představuje významnou oporu pro metodologicky kontrolované rozhodování o rozsahu retuše, neboť propojuje vizuální jev s jeho materiální příčinou.

Vysoká míra geometrické přesnosti a detailu však současně otevírá nové etické otázky. Digitální model není neutrálním otiskem reality, ale výsledkem řady technických voleb – rozlišení, algoritmů rekonstrukce, filtrace šumu či interpolace chybějících dat – a musí být chápán jako interpretace. V rámci metodologie vizuální integrace by proto měl být pojímán jako

heuristický nástroj, nikoli jako autoritativní norma. Z etického hlediska je rovněž nezbytné důsledně rozlišovat mezi digitální rekonstrukcí jako hypotézou a fyzickou retuší jako nevratným zásahem do originálu.

Integrace fotogrammetrie zároveň transformuje roli restaurátora, jenž se stává nejen manuálním specialistou, ale i interpretem komplexních datových struktur a kritickým hodnotitelem jejich relevance pro rozhodovací proces. Digitální restaurování se tak neprojeví pouze jako technická inovace, nýbrž jako hluboká epistemologická změna v tom, jak je umělecké dílo poznáváno, analyzováno a vizuálně sjednocováno. Fotogrammetrické modely nelze chápat pouze jako technické reprezentace fyzických objektů, ale jako digitální artefakty s vlastní ontologií, jejichž využití v procesu retuše nevyhnutelně otevírá otázky autenticity, interpretace a dlouhodobé udržitelnosti dat.

Předložená část studie vymezuje retuši nikoli jako izolovanou technickou operaci, ale jako komplexní metodologický proces, v němž se propojují materiálové poznání, vizuální analýza, digitální modelování a etická reflexe. Integrace fotogrammetrie, pokročilého zpracování obrazu a algoritmických nástrojů ukazuje potenciál zásadně zpřesnit rozhodovací mechanismy v oblasti vizuální integrace uměleckých děl a rozšířit analytický aparát soudobé restaurátorské praxe.

Současně je zřejmé, že implementace těchto technologií nemůže být chápána jako autonomní technologický posun, nýbrž jako proces vyžadující systematické metodologické ukotvení, terminologickou stabilizaci a kontinuální etickou evaluaci. Klíčovým prvkem zůstává kritický úsudek restaurátora, jenž je jediným subjektem schopným integrovat technologická data, historický kontext a materiálovou realitu díla do koherentního a odpovědného rozhodnutí o povaze zásahu.

Výzkum, jehož dílčí výsledky tento text prezentuje, se nachází ve fázi metodologické konsolidace. Jeho ambicí není formulovat definitivní normativní model digitální retuše, nýbrž otevřít strukturovaný odborný diskurz o podmínkách její legitimní, kontrolovatelné a eticky udržitelné aplikace. Další vývoj bude nutně záviset na empirickém ověřování navržených postupů, interdisciplinární spolupráci a reflexi rychle se proměňujícího technologického prostředí.

Digitální vizuální integrace se tak nejeví jako uzavřený soubor nástrojů, ale jako dynamické pole výzkumu, jehož budoucí podoba bude formována nejen technologickými možnostmi, ale především schopností oboru konzervace a restaurování tyto možnosti kriticky interpretovat a odpovědně regulovat.

Literatura

- Apollonio, F. I., Gaiani, M., & Sun, Z. (2017). 3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of architectural heritage. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijgi6060183>
- Baldini, U. (1986). *Teoria del restauro e unità di metodologia*. Firenze: Nardini
- Bentkowska-Kafel, A., MacDonald, L., & Peters, T. (2012). *Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage*. Farnham: Ashgate
- Bomford, D. (2014). *Conservation of paintings* (2nd ed.). London: Archetype Publications
- Brandi, C. (2005). *Teoria del restauro* (angl. vyd. Theory of Restoration). Firenze: Edizioni di Storia e Letteratura
- ICOM-CC. (2008). *Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage*. Paris: International Council of Museums
- Manovich, L. (2013). *Software takes command*. New York: Bloomsbury Academic
- Muñoz-Viñas, S. (2005). *Contemporary theory of conservation*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann
- Paul, C. (2015). *Digital art* (3rd ed.). London: Thames & Hudson
- Philippot, P. (1996). *Restoration from the perspective of the humanities*. In N. Stanley Price (Ed.), *Historical and philosophical issues in the conservation of cultural heritage* (pp. 216–229). Los Angeles: Getty Conservation Institute
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. Cambridge, MA: MIT Press
- Li, S., Xu, L., Wang, Y., & Fang, L. (2020). Digital reconstruction of damaged mural paintings based on deep convolutional neural networks. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.06.004>
- Nazeri, K., Ng, E., Joseph, T., Qureshi, F. Z., & Ebrahimi, M. (2019). EdgeConnect: Structure guided image inpainting using edge prediction. *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, 3265–3274

Autorka schémat: [BP] Barbora Peterková