

Jacek Sobczyk, Bogusław Obara, Piotr Frączek, Joanna Sobczyk

fizycy

konserwator fizyk

dział sztuki

Instytut Mechaniki Górotworu
Polskiej Akademii Nauk

Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań
Objektów Zabytkowych, Muzeum Narodowe w Krakowie

ZASTOSOWANIA ANALIZY OBRAZU W NIENISZCZĄCYCH BADANIACH OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH WYBRANE PRZYKŁADY



1. Fragment ikony Archanioł Gabriel i św. Piotr, Muzeum Narodowe w Krakowie.

1. Fragment of the icon *Archangel Gabriel and St. Peter*, National Museum in Kraków.

Nieniszczące badania obiektów zabytkowych, a w szczególności obrazów, to rodzaj pierwszej diagnozy, jakiej poddaje się dzieło sztuki przed rozpoczęciem prac czy to z zakresu konserwacji, czy też analizy stylizacyjnej lub historycznej. Oglądanie i fotografowanie obrazu z użyciem różnych źródeł promieniowania, takich jak: żarówki pracujące w zakresie światła widzialnego (VIS), jarzeniówki emitujące ultrafiolet (UV), napromienniki podczerwieni (IR) czy wreszcie lampy rentgenowskie (RTG), pozwalają na zebranie licznych informacji zarówno o jego budowie, technice wykonania, jak i stanie zachowania.

Już samo tylko światło widzialne, odpowiednio skierowane, pozwala wykonać zdjęcie obrazu w taki sposób, by możliwe było odczytanie nie tylko jego malarzkiej treści, ale też sposobu nakładania farby, faktury powierzchni czy różnego rodzaju uszkodzeń. Istotne dopełnienie stanowią zdjęcia analityczne wykonane w podczerwieni oraz ultrafiolecie. Podczerwień pozwala „zajrzeć” pod wierzchnie warstwy farby, gdzie często, jak np. w gotyckim malarstwie tablicowym czy cerkiewnym, znajduje się rysunek stanowiący wstępny szkic malowanej kompozycji. Zdjęcie wykonane w ultrafiolecie pokazuje z kolei niewidoczne gołym okiem wtórne nawarstwienia, takie jak retusze, przemalowania czy werniksy.

Osobną kategorię stanowi fotografia RTG, która często daje obraz całej struktury wewnętrznej obiektu, począwszy od warstwy farby, poprzez podobrazia (płótno czy deskę), aż do warstw znajdujących się na odwrociu.

Cel pracy

Stosowanie wymienionych metod z jednej strony częstokroć odkrywa przed badaczami niektóre tajniki warsztatu artysty, z drugiej jednak uzyskiwane informacje mają dość subtelny charakter, co utrudnia usystematyzowanie i uporządkowanie otrzymanych wyników.

Na zdjęciach nierzadko nakładają się na siebie „warstwy” zawierające informacje o stanie zachowania farby czy podobrazia, sposobie malowania, retuszach, ubytkach itp. Analizując obraz tylko pod jednym kątem, np. sposobu wykonania, część informacji (np. o retuszach warstwy malarskiej czy uszkodzeniach podobrazia) wydaje się zbędna i może zakłócać poprawny odbiór. Nie da się, niestety, „rozwarstwić” tych danych, wykorzystując tylko możliwości ludzkiego oka czy techniki fotograficzne. Nie można także precyzyjnie określić np. jaki procent powierzchni badanego obiektu zajmują ubytki lub retusze.

Jest jednak narzędzie, które w wielu przypadkach pozwala zarówno na wykonanie precyzyjnych obliczeń, jak i wprowadzenie pewnych udogodnień w interpretacji cyfrowych obrazów dzieł sztuki. Tym narzędziem jest komputerowa analiza obrazu (obraz w tym znaczeniu jest cyfrową fotografią dzieła sztuki lub jego fragmentu, która poddawana jest „obróbce”). Dlatego też Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań Obiektów Zabytkowych Muzeum Narodowego w Krakowie podjęło współpracę z Instytutem Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie, w którym wykorzystuje się i rozwija techniki analizy obrazu do różnorodnych zastosowań, m.in. w geologii, biologii i medycynie. Celem współpracy jest wykorzystanie tych technik do nieniszczących badań obiektów zabytkowych, a w szczególności obrazów. Jest to próba opracowania metody (czy też narzędzia), za pomocą której udoskonali się możliwości badania obiektów muzealnych.

W literaturze naukowej można spotkać pojedyncze przykłady zastosowania analizy obrazu w pracach związanych z dziełami sztuki, jednak żaden z autorów nie pokusił się o kompleksowe zbadanie tego zagadnienia, traktując je raczej jako ciekawostkę. Niniejsza praca ma charakter rozpoznawczy i rozpoczynający studia nad zastosowaniem metod analizy obrazu do nieniszczących badań obiektów zabytkowych.

Komputerowa analiza obrazu

Jedną z najważniejszych umiejętności człowieka jest podejmowanie działań w zależności od wniosków

wyciąganych z analizy bodźców odbieranych przez zmysły. Najistotniejszym z nich jest wzrok, ponieważ informacje uzyskiwane za jego pośrednictwem mają największy wpływ na nasze działanie w różnych okolicznościach. Dlatego tak ważne staje się tworzenie automatycznych systemów analizy obrazu.

W celu efektywnego wykorzystania obrazu jako źródła informacji przetwarza się go na postać cyfrową, a następnie przeprowadza szczegółową analizę¹, w której skład wchodzi:

- przetwarzanie obrazu (filtracja wstępna, eliminacja zakłóceń, eksponowanie ważnych cech itp.),
- analiza obrazu (wydobycie cech opisujących obraz),
- rozpoznanie obrazu i jego interpretacja.

Analiza obrazu wykorzystywana jest obecnie dość powszechnie w przedsięwzięciach przemysłowych (np. kontrola jakości), militarnych (np. rozpoznanie celu), badaniach naukowych (np. analiza zdjęć m.in. wykonywanych przez sondy kosmiczne, mikroskopowych), w medycynie i innych dziedzinach. Zastosowanie jej do badań dzieł sztuki otwiera w konserwacji nowe możliwości diagnostyczne i interpretacyjne oraz – ze względu na stopień trudności tej aplikacji – stwarza również warunki rozwoju nowych technik analizy obrazu.

W niniejszej pracy do analizy obrazów użyto programu Aphelion TM (www.adcis.net). Jest to specjalistyczne narzędzie do przetwarzania i analizy obrazu. Wykorzystano także pakiet programów graficznych Corel Draw (www.corel.com).

Ikona Archanioł Gabriel i św. Piotr, tempera, deska

Analizie podano kilka fragmentów ikony, które wybrano tak, aby zawierały wszystkie znajdujące się na niej rodzaje uszkodzeń: spękania oraz częściowe i całkowite ubytki warstwy malarskiej, gruntu oraz znajdującego się pod nim płótna (pominięto uszkodzenia drewna widoczne na odsłoniętym fragmencie deski). Fragmenty te oznaczono na il. 2 numerami 1-3. Sfotografowano je aparatem cyfrowym, przy użyciu 3 rodzajów światła: VIS, UV i IR (il. 3a, 3b, 3c). Następnie wykorzystując metody analizy obrazu, wykonano szczegółową analizę ilościową otrzymanych zdjęć.

Analiza obrazu posługuje się jednostkami wirtualnymi – pikselami. Aby wyrazić uzyskane wyniki w jednostkach fizycznych (np. centymetrach), konieczne było znalezienie zależności między jednostkami wirtualnymi i fizycznymi. Dlatego wykonano dodatkowo 2 zdjęcia całej ikony, z przyłożoną do niej pionowo i poziomo miarką o długości 10 cm, co pozwoliło wyznaczyć wprost szukaną zależność. W tab. 1 przedstawiono znaną zależność oraz wyznaczone na jej podstawie rozmiary dzieła².

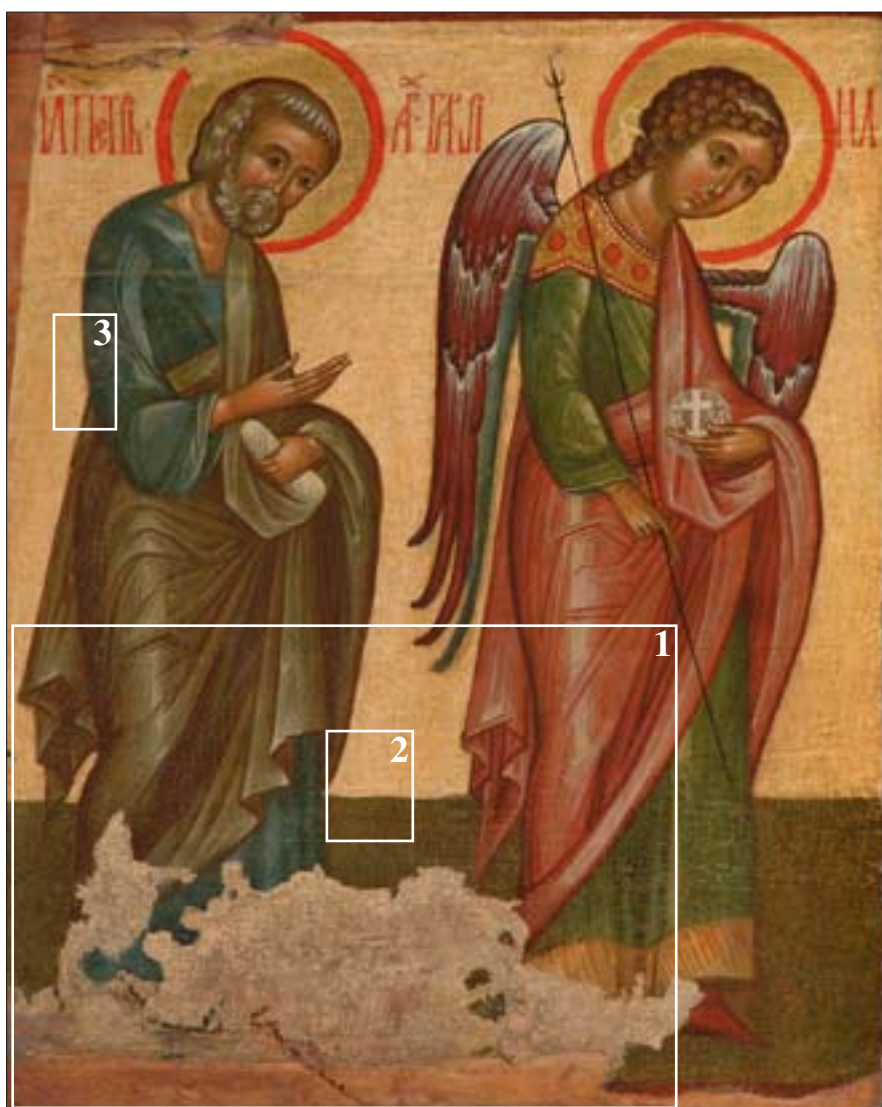
3a



3b



3c



1

2



2. Pogładowe zdjęcie ikony *Archanioł Gabriel i św. Piotr* z naniesionymi obszarami, które poddano analizie obrazu. Zdjęcia oznaczone numerami 1-3 zawierają powiększenia wybranych fragmentów, przy czym fragment 3 zaprezentowano w 3 rodzajach oświetlenia: VIS (3a), UV (3b) i IR (3c). Wszystkie zdjęcia: autorzy.

2. Object photograph of the icon *Archangel Gabriel and St. Peter* with marked areas subjected to analysis. Photographs 1-3 contain enlargements of selected fragments, with fragment 3 presented in three types of light : VIS (3a), UV (3b) and IR (3c). All photos: authors.

Należy zaznaczyć, że wszędzie tam, gdzie to było konieczne (i możliwe), wykonywano dodatkowe zdjęcia fragmentów ikony po to, aby jakość analizowanych obrazów cyfrowych była jak najlepsza. Wszystkie te obrazy odnoszono do fotografii całej ikony, aby uzyskać informację o skali, a więc również o zależności transformacyjnej piksele – centymetry.

Tabela 1. Parametry analizowanego obrazu

Rozmiar obrazu [piksel]	2965x2298
Rozmiar obrazu [cm]	64,3x52,9
Rozmiar obrazu [cm ²]	3401,47
Rozdzielczość obrazu* [piksel/cm]	46,1x43,4

* Informacja ta ma związek z budową matrycy światłoczułej (CCD) aparatu cyfrowego, którym wykonywano zdjęcia. Wskazuje ona na fakt, iż najmniejszy element tej matrycy – odpowiadający pikselowi na obrazie cyfrowym – nie jest idealnie kwadratowy, co należy uwzględnić w obliczeniach.

Analiza szczelin na powierzchni obrazu

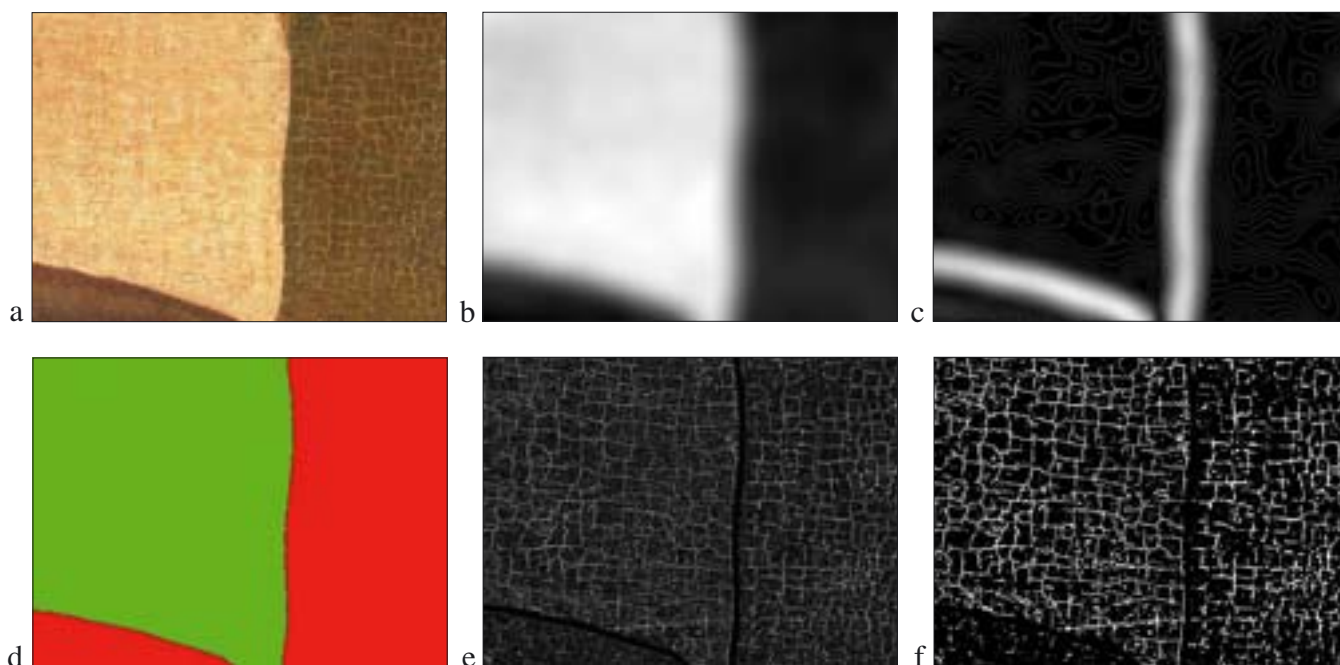
Segmentacja szczelin. Do tego zadania wybrano fragment dzieła o wymiarach 9,82x7,78 cm (il. 3a). Pierwszy etap analizy polegał na znalezieniu wszystkich szczelin widocznych na powierzchni obrazu. Kolorowe zdjęcie wybranego fragmentu, wykonane

w świetle widzialnym, przetransformowano do przestrzeni odcieni szarości, a następnie poddano filtracji z użyciem filtra sekwencyjnego (il. 3b).

Kolejnym krokiem było znalezienie granic obszarów znacząco różniących się wartością poziomu szarości (il. 3c), a następnie podzielenie całego obrazu na fragmenty „ciemne” i „jasne” (il. 3d). Operacja ta podyktowana była spostrzeżeniem, że na powierzchniach jasnych spękania widoczne były jako ciemne linie, a na powierzchniach ciemnych – jako jasne obiekty liniowe. Obraz wyjściowy po tej operacji stanowił maskę w procesie detekcji szczelin, która polegała na filtracji z użyciem liniowego elementu strukturalnego odpowiadających sobie fragmentów obrazów 3a i 3b, a następnie złożeniu tych informacji na jednym obrazie (il. 3e). Ostatnim krokiem tego etapu analizy była automatyczna binaryzacja (il. 3f).

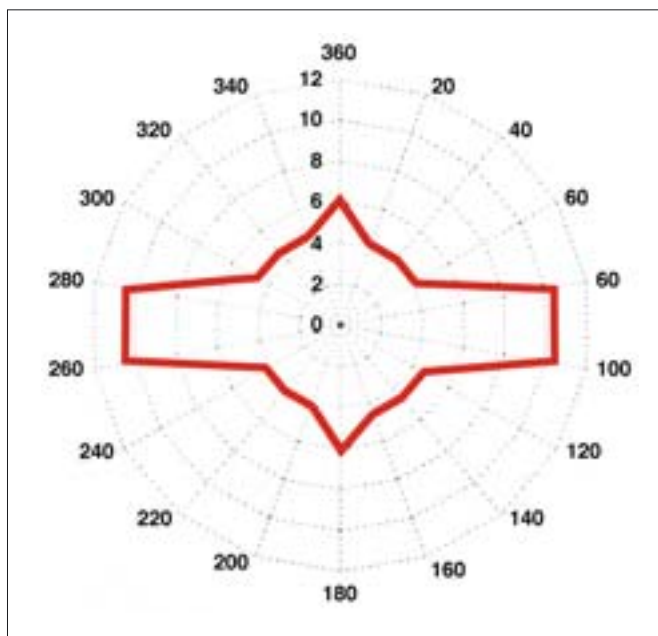
W przypadku analizy bardziej skomplikowanych obszarów obrazu stosowano metody przedstawione w specjalistycznych pracach³.

Analiza ilościowa szczelin. Drugi etap pracy polegał na analizie ilościowej zidentyfikowanych szczelin. Wybrano dwa charakterystyczne parametry – długość i ukierunkowanie. Po poddaniu obrazu (il. 3f) działaniu funkcji szkieletyzacji przez ścienianie elementem strukturalnym „L” alfabetu Golaya, wyznaczono długość zidentyfikowanych szczelin. Wynosi ona 27 828 pikseli, co odpowiada ok. 620 cm (przy powierzchni obrazu wejściowego wynoszącej 76,4 cm²!). Następnie wykonano analizę ich ukierunkowania. Wynik tej analizy przedstawiono na il. 4 w postaci róży kierunków.



3. Segmentacja szczelin: a – obraz wejściowy, b – obraz po filtracji sekwencyjnej, c – granice obszarów różniących się znacznie poziomami szarości, d) podział obrazu. na obszary „ciemne” i „jasne”, e – detekcja widocznych szczelin, f – wynik binaryzacji.

3. Segmentation of fissures : a – initial image, b – image after sequence filtration, c – limits of areas with considerably different of grey levels, d – division of image into “dark” and “light” areas, e – detection of visible fissures, f – outcome of binarization.



4. Analiza ukierunkowania zidentyfikowanych szczelin. Wyznaczony rozkład ukierunkowania szczelin w przedziale kątów 0-360°.

4. Analysis of direction of identified fissures. Distribution of direction of fissures within angles 0-360°.

Liczbami 20-360 oznaczono na il. 4 kąt w stopniach, pokrywający się z orientacją rysunku. Liczby 0-12 określają procent prawdopodobieństwa wystąpienia szczeliny w danym kierunku. Zatem wykres na il. 4 informuje, że najwięcej szczelin można znaleźć w przedziale kątów 80-100° (a więc również 260-280° ze względu na symetrię), co mniej więcej odpowiada na il. 3f poziomym „kreskom”. Prawie o połowę mniej szczelin jest skierowanych pionowo. Jednocześnie widać, że istnieje ok. 4-proc. prawdopodobieństwo znalezienia szczelin skierowanych w pozostałych kierunkach.

Analiza ubytków. Do kompleksowej analizy ubytków wybrano fragment ikony oznaczony na il. 1 numerem 1. Widoczny jest na nim duży ubytek warstwy malarskiej, w którego obrębie występują też ubytki gruntu oraz płótna. Automatyczna analiza tego obszaru nie była możliwa, ponieważ występowała na nim zbyt duża różnorodność kolorów i tekstur odpowiadająca różnym warstwom technologicznym. Zamiast tego wykonano analizę półautomatyczną w programie graficznym Corel Photo Paint. Za pomocą narzędzia zaznaczającego przez podobieństwo kolorów znaleziono wszystkie ubytki oraz oddzielnie powierzchnię z widocznym drewnem.

Po odjęciu tych obrazów od siebie wykonano maski znalezionych w ten sposób obszarów (il. 5). Były one punktem wyjścia do dalszej analizy.

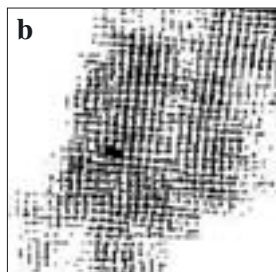
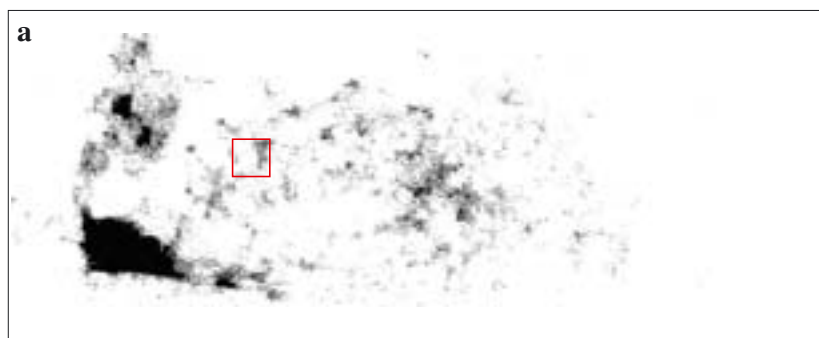
Kolejnym krokiem było odseparowanie z obszaru na il. 5a informacji o najgłębszych ubytkach gruntu sięgających warstwy płótna. Zadanie to, ze swej natury trudne do ujęcia w sztywne ramy, musiało zostać zdefiniowane w sposób jednoznaczny. Uznano, że wyznacznikiem „całkowitego” ubytku gruntu będzie wyraźnie widoczna tekstura płótna.

Identyfikacja płótna polegała na analizie tekstury obrazu wejściowego (powiększenie nr 1 na il. 2 z nałożoną maską z il. 5a z użyciem macierzy Lawsza⁴, a następnie korelacji tak otrzymanego obrazu z obrazem wejściowym i automatycznej binaryzacji – il. 6a. W celach poglądowych na il. 6b przedstawiono powiększony fragment obrazu binarnego – widać na nim wyraźnie teksturę płótna.



5. Identyfikacja powierzchni ubytków: a – maska ubytków warstwy malarskiej i częściowo gruntu, b – maska obszaru z widoczną powierzchnią drewna.

5. Identification of area of losses: a – mask of gaps in painted layer and partially the priming, b – mask of area with visible wooden surface.



6. Płótno: a – obraz binarny znalezionych fragmentów płótna, b – powiększenie wybranego fragmentu obrazu binarnego unaoczniające teksturę płótna.

6. Canvas: a – binary image of discovered fragments of canvas, b – enlargement of selected fragments of binary image emphasising the texture of the canvas.

Ostatnim etapem omawianej analizy było obliczenie powierzchni zajmowanej przez każdy rodzaj ubytków. W tabeli 2 zestawiono wyniki tych obliczeń.

Tabela 2. Wyniki analizy ubytków obrazu na il. 1

Opis	Powierzchnia [cm ²]	Powierzchnia [%]
Rozmiar obrazu wejściowego	1147,6	100
Ubytki ogółem	431,5	37,6
w tym:		
widoczny grunt i płótno	303	26,4
samo płótno	39	3,4
odsłonięte drewno	128,5	11,2

Analiza retuszy warstwy malarskiej

Zdjęcia 3a-3c na il. 2 ukazują fragment obrazu sfotografowany w świetle białym, ultrafioletcie i podczerwieni. Szczególnie te dwa ostatnie są interesujące. IR pokazuje bowiem wyraźny kształt i wielkość ubytków warstwy malarskiej wraz z gruntem. Fotografia w UV daje z kolei obraz retuszy widocznych jako ciemne plamy.

Porównując te zdjęcia, już gołym okiem widać dużo większy zakres występowania ciemnych plam

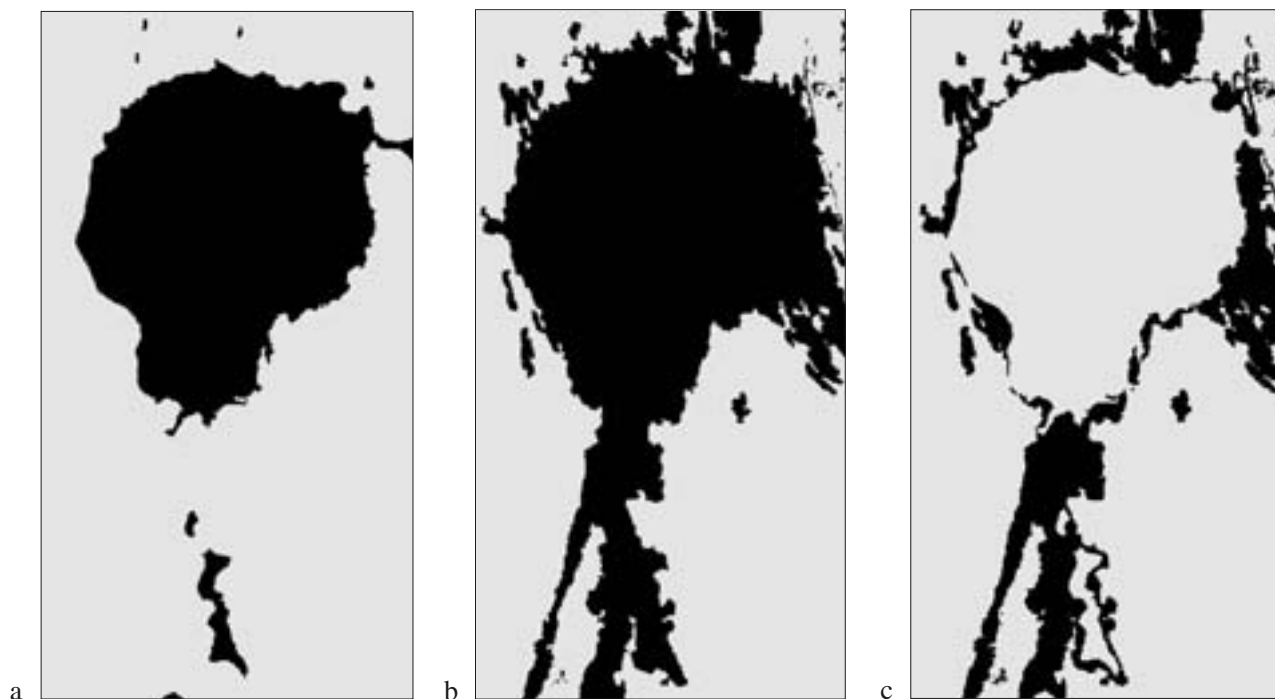
w stosunku do rzeczywistego kształtu ubytków z pierwszego zdjęcia. Dowodzi to, że retusze w znacznym stopniu wykraczają poza kształt ubytku i zachodzą na oryginalną warstwę malarską. Aby doprecyzować tę tezę, zdjęcia poddano komputerowej analizie obrazu, której wynik przedstawia il. 7.

Wyznaczone na podstawie il. 7 powierzchnie wynoszą odpowiednio: 29% dla obrazu IR i 46% dla UV. Wynika z tego wprost, że na prezentowanym fragmencie ikony powierzchnia zajmowana przez retusze przewyższa powierzchnię ubytków o 17%.

Prezentacja nierówności powierzchni

Jak już wspomniano, analiza obrazu pozwala nie tylko obliczyć wybrane parametry obrazu wejściowego, ale potrafi również wydobyć istotne szczegóły tego obrazu. Przykładem może być tu faktura powierzchni. Konserwatorzy analizują ją, oglądając obraz w świetle skośnym (il. 8a), co pozwala dostrzec wszelkie nierówności powierzchni, takie jak: deformacje podobrazia, odspojenia gruntu, fakturę warstw malarских czy też ubytki.

Na il. 8b przedstawiono obraz, z którego usunięto większość informacji o kompozycji malarskiej, pozostawiając widoczną przede wszystkim fakturę powierzchni. Powstał on poprzez porównanie zdjęć ikony wykonanych w świetle skośnym i prostopadłym, a następnie przez zastosowanie filtra z użyciem macierzy Lawsa dającego efekt płaskorzeźby.



7. Analiza retuszy fragmentu ikony numer 3 z rys. 1: a – obszar ubytku widoczny w świetle IR, b – obszar retuszy widoczny w świetle UV, c – różnica między obrazami a i b.

7. Analysis of retouching in a fragment of icon no. 3 from fig. 1: a – area losses visible in IR light, b – area of retouching visible in UV light, c – difference between images a and b.



8. Ikona w świetle skośnym: a – obraz oryginalny, b – widok po usunięciu informacji o kompozycji malarskiej.
8. Icon in oblique light: a – original image, b – view after removing information about the painterly composition.

Tryptyk z Moszczenicy, tempera, deska, (fragment szaty Matki Boskiej)

Rozpoznanie sposobu opracowania warstwy malarskiej może ułatwić zdjęcie obrazu wykonane w podczerwieni. Pozwala ono często ujawnić znajdujący się pod warstwą malarską rysunek stanowiący wstępny szkic do właściwej kompozycji malarskiej.

Na il. 9 widoczne są zdjęcia fragmentu szaty Matki Boskiej w świetle widzialnym (il. 9a) oraz podczerwieni (il. 9b), na którym widać rysunek. Aby poprawić jego czytelność, wykonano zabiegi graficzne polegające na porównaniu zdjęcia wykonanego w podczerwieni ze zdjęciem wykonanym w świetle widzialnym, a następnie uwypukleniu otrzymanych różnic. Wynik tych prac widoczny jest na il. 9c. Linia rysunku stała się wyraźniejsza i bardziej kontrastowa, co pozwala dokładnie prześledzić jej bieg.



9. Zdjęcia przedstawiające fragment szaty Matki Boskiej z lewego skrzydła tryptyku: a – w świetle widzialnym, b – w podczerwieni, c – „wydobycie” szkicu.
9. Photographs showing a fragment of the garment of the Madonna from the left wing of the triptych: a – in visible light, b – in infrared, c – the “extraction” of the sketch.



10. Tryptyk z Moszczenicy, lewe skrzydło z przedstawieniem Matki Boskiej, Muzeum Narodowe w Krakowie.
10. Triptych from Moszczenica, left wing with depiction of the Madonna, National Museum in Kraków.

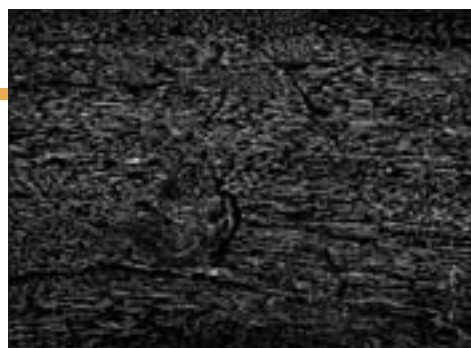
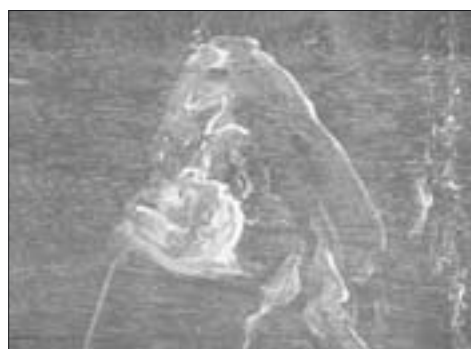
Obraz Jana Matejko, „Joanna d’Arc”, olej, deska

Kolejny przykład również odnosi się do sposobu opracowywania warstwy malarskiej. Il. 11a przedstawia rentgenogram fragmentu obrazu na podłożu drewnianym. Dzięki zastosowaniu w warstwach podmalowania bieli ołowiowej widać wyraźnie, w jaki sposób malarz opracowywał kompozycję, jak nakładał farbę, jakim pędzlem ją rozprowadzał.

Dzięki właściwościom promieniowania RTG widoczna jest na zdjęciu także wewnętrzna struktura drewna, z jakiego wykonane jest podobrazie. Wyraźny układ włókien drewna może być przeszkodą, kiedy ocenie podlega tylko sposób nakładania farby, a tym bardziej gdy porównuje się go z innymi obrazami, np. na płótnie, w których jego struktura nie powoduje takich zakłóceń. Zdjęcia poniżej przedstawiają ten sam fragment rentgenogramu po wirtualnym „zdjęciu” warstwy malarskiej z drewnianego podłoża oraz „odcisk” samego drewnianego podłoża. Taki zabieg znacznie ułatwia analizę samego sposobu malowania, niezależnie od rodzaju podobrazia.

11. Identyfikacja i filtracja struktury drewna ze zdjęcia fragmentu rentgenogramu: a – obraz wejściowy, b – „odcisk” struktury drewna, c – obraz wyjściowy.

11. Identification and filtration of the wooden structure of a fragment of the X-ray photograph: a – initial image, b – “imprint” of the wooden structure, c – resultant image.



12. Jan Matejko, *Joanna d'Arc*, Muzeum Narodowe w Krakowie.
12. Jan Matejko, *Joanna d'Arc*, National Museum in Kraków.



Aby usunąć „odcisk” drewna, wykonano detekcję obiektów liniowych: o szerokości 1-4 pikseli (wynika ona z rozdzielczości zdjęcia), co najmniej kilkukrotnym wydłużeniu (stosunku długości do szerokości) oraz ułożonych poziomo lub prawie poziomo.

Opisane przykłady dowodzą, że komputerowa analiza obrazu może, a wręcz powinna, znaleźć zastosowanie w badaniach obiektów zabytkowych. W wielu przypadkach wzbogaca znacznie warsztat badacza czy konserwatora o nowe narzędzie, za pomocą którego można określać precyzyjnie nie tylko stan zachowania obiektu, ale także porządkować informacje z zakresu jego budowy czy techniki wykonania.

W praktyce muzealnej pojęcie stanu zachowania obiektu ma o wiele większe znaczenie, niż tylko rozpoznanie i opis zniszczeń, wykonane przed podjęciem prac konserwatorskich. Obiekty przechowywane, eksponowane, czy nierzadko też transportowane, pomimo stwarzania im optymalnych warunków, wymagają okresowej kontroli. Zadaniem konserwatora jest sprawdzanie i ewentualne odnotowywanie nawet najmniejszych zmian występujących np. w obrazie. Odbywa się to na ogół poprzez analizę wizualną, która pozwala dostrzec jedynie wyraźne zmiany, jakie zaszły w obiekcie np.: deformacje, ubytki, odpryski, zadrapania czy inne, które widoczne są gołym okiem lub w niewielkim powiększeniu. Zmianom tym nie można już zapobiec.

Dużo większe możliwości diagnozowania stwarza właśnie zastosowanie komputerowej analizy obrazu. Pozwala ona np. wyodrębnić siatkę spękań oraz

dokładnie ją scharakteryzować, obliczyć jej parametry: kierunek, kształt czy dokładne wymiary. Fotografując ten sam fragment (o identycznych współrzędnych), np. powierzchni obrazu w wybranym odstępnie czasu, podczas kolejnych przeglądów można wykonać taką samą analizę i zestawiać ze sobą uzyskane wyniki. Powstaje zatem możliwość precyzyjnej identyfikacji najmniejszych nawet zmian, takich jak wydłużanie się lub poszerzanie niektórych pęknięć czy też powstawanie nowych. Pozwala to odpowiednio wcześniej wykryć potencjalne zagrożenie dla obiektu i w właściwy sposób zareagować.

Oczywiście prezentowane zdjęcia są tylko przykładami, a opisaną metodę można zastosować do innego rodzaju powierzchni. Opis stanu zachowania obiektu (nie tylko ten sporządzany okresowo) można także wzbogacić, dzięki komputerowej analizie obrazu, o precyzyjne wyliczenia zakresu występowania określonych zniszczeń. Można zatem obliczyć, jaki procent powierzchni obrazu zajmują ubytki, retusze czy inne nawarstwienia i jakie są między nimi zależności.

Poddawanie cyfrowej analizie zdjęć obiektów zabytkowych może także ułatwić interpretację wyników badań dotyczących ich budowy. Niektóre informacje zawarte na zdjęciach rentgenowskich oraz tych wykonanych w podczerwieni czy ultrafiolecie wymagają często pewnych zabiegów poprawiających ich prawidłowy odczyt.

Opisywane przykłady pokazują duże możliwości stosowania komputerowej analizy obrazu do badań obiektów zabytkowych, ale uświadamiają też istnienie pewnych ograniczeń. Z pewnością nie są to

metody uniwersalne, które z powodzeniem można stosować do wszystkich obiektów. Trzeba jednak pamiętać, że ograniczenia dotyczą także samych badań, gdyż nie zawsze obiekt spełnia warunki, w których wynik jego badania będzie satysfakcjonujący. Z pewnością jednak podjęty przez nas temat jest na tyle interesujący, że wymaga dalszych studiów.

Mgr Jacek Sobczyk, absolwent Instytutu Fizyki UJ (specjalizacja fizyka komputerowa), jest pracownikiem naukowym w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie, autorem publikacji z zakresu modelowania matematycznego procesów geofizycznych oraz analizy chropowatości powierzchni metodami profilometrii laserowej i analizy obrazu.

Mgr Bogusław Obara, absolwent Instytutu Fizyki UJ

w Krakowie, jest pracownikiem naukowym w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie. Prowadzi badania naukowe z zakresu wykorzystania technik komputerowej analizy obrazu w geologii, biologii i medycynie. Jest stypendystą Fundacji Fulbrighta.

Mgr Piotr Frączek, absolwent Wydziału Konserwacji i Restauracji Dziel Sztuki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, jest kierownikiem Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań Obiektów Zabytkowych Muzeum Narodowego w Krakowie, a także wykonawcą wielu konserwacji znaczących obiektów ze zbiorów MNK.

Mgr Joanna Sobczyk, absolwentka Instytutu Fizyki UJ (specjalizacja fizyka komputerowa) oraz studiów podyplomowych w Szkole Przedsiębiorczości i Zarządzania Akademii Ekonomicznej w Krakowie, jest pracownikiem Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań Obiektów Zabytkowych Muzeum Narodowego w Krakowie.

Przypisy

1. Szersze omówienie tego zagadnienia oraz szczegółowe informacje na temat poszczególnych metod komputerowej analizy obrazu można znaleźć np. w pracach: J. Serra, *Image analysis and mathematical morphology*, London 1982; R. Tadeusiewicz, P. Korohoda, *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Kraków 1997.

2. W rzeczywistości kształt ikony odbiega nieznacznie od prostokąta. Na użytek niniejszej publikacji zdjęcie ikony przycięto tak, aby wypełniała je ona całkowicie. Podawane tu wymiary, jak i wszystkie rozważania ilościowe, odnoszą się do tak wykonanego zdjęcia.

3. B. Obara, *Developing of the image segmentation methods to microcracks analysis*, (w:) *Impact of the Human Activity on the Geological Environment*, 2005, s. 429-432; B. Obara, *Application of the image analysis method to the detection of transcrystalline microcracks observed in microscope images of rock structures*, (w:) *Geophysical Research Abstracts*, 2006, t. 8, s. 16.

4. K.I. Laws, *Rapid texture identification*, (w:) *Proceedings of SPIE*, 1980, t. 238, s. 376-380.

THE APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS IN NON-INVASIVE RESEARCH OF HISTORICAL OBJECTS. SELECTED EXAMPLES

Non-destructive research of historical objects makes possible to collect valuable information concerning technical construction and the state of preservation. Observations and analyses carried out in visible light, UV, infrared as well as under the impact of X-ray radiation provide an image of the object's surface and its inner structure. The outcome obtained in this manner is registered most often in the form of digital photographs. Such a form of recording together with suitable computer techniques create the possibility of systematizing and making informations collected from the photograph more precise.

Presented publication deals with the possibility of applying computer analysis techniques into non-destructive studies of works of art. This is an attempt

at elaborating a method (or a tool) which will improve the examination of historical objects. The example of three selected objects from the collections of the National Museum in Kraków presents various possibilities of computer analysis as well as its application in suitable research. Such a method could become useful in assessing the state of the preservation of the object as well as its technical structure or manner of execution. The article, of a purely reconnaissance nature, is a collective publication of the Laboratory of Non-Destructive Analysis and Research of Historic Objects of the National Museum in Kraków and the Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Kraków.