

Pomiary krzywizny powierzchni malowidła skanerem optycznym ATOS na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa *Znalezienie Erichtoniosa* ze zbiorów Muzeum Narodowego w Warszawie

Aleksandra Trochimowicz

konserwator dzieł sztuki

Słowa kluczowe: podobrazie drewniane, parkietaż, zmiany wymiarowe drewna, bezstykowe metody pomiaru

OD MOMENTU, KIEDY ARTYŚCI SIĘGNĘLI po drewno jako podłoże malarskie rozpoczęły się starania o zachowanie stabilności podobrazia. Typowym zabezpieczeniem przed paczeniem się desek ikon było montowanie od odwrocia ruchomych szponów. W średniowieczu zaczęto przymocowywać do tablic od strony odwrocia różnego rodzaju wzmocnienia, wzorowane właśnie na malarstwie ikonowym. W malarstwie włoskim wszelkiego rodzaju poprzeczki występują w większości podłoży. W malarstwie północnym, nie związanym z tradycją bizantyjską, tego rodzaju zabezpieczenia są spotykane rzadziej. We Włoszech w XV wieku połączenia pomiędzy poprzeczkami oraz ramami zarówno od lica, jak i od odwrocia wykonywane były przy użyciu gwoździ.

W późniejszym okresie opracowano różne rodzaje konstrukcji polegające na zastosowaniu ślizgających się poprzeczek. Pod koniec XV i w XVI wieku były stosowane poprzeczne listwy wpuszczane w podłoże drewniane na wczepy, tzw. pletwiaste. Miały one przekrój trapezowy i wsuwane były w rowki o skośnych bokach wycięte w grubości podłoża. Poprzeczne listwy przyklejane od odwrocia stosowano bardzo rzadko. Sposoby zabezpieczania odwroci różniły się między sobą, nie były wykonywane według sztywnych zasad, a konstrukcja była opracowywana dla każdego obrazu

osobno. W ewolucji konstrukcji utrzymujących płaszczyzną tablicy można wyodrębnić kilka etapów:

- poprzeczne listwy przybijane gwoździami,
- ruchome poprzeczki,
- poprzeczne listwy połączone na wczepy pletwiaste,
- parkietaż.

Parkietaż, będący rodzajem drewnianej kratownicy przymocowanej do odwrocia podobrazia, wymyślono pod koniec XVIII wieku. Najstarszą formą konstrukcji był parkietaż płaski. Charakteryzował się on masywnymi, równo rozmieszczonymi, przyklejonymi wzdłuż włókien drewna listwami, których powierzchnia często była większa od pozostawionej oryginalnej powierzchni odwrocia. W listwach tych, biegnących wzdłuż włókien, wykonane były otwory, przez które przechodziły wsuwane, nieprzyklejane listwy biegnące poprzecznie do włókien podobrazia. Przez cały XIX wiek, aż do połowy wieku XX, konstrukcja ta była szeroko rozpowszechniona w konserwacji malowideł tablicowych. W wyniku ewolucji konstrukcji powstał parkietaż wysoki, którego główną zaletą był mniejszy przekrój listew, a tym samym mniejsza powierzchnia przyklejenia oraz większa tolerancja dla naturalnych ruchów drewna. Kolejnym etapem był parkietaż klockowy, nazywany również włoskim, stosowany od połowy XX wieku. W tym czasie w konstrukcjach parkietażowych drewno zaczęto zastępować nowymi materiałami, takimi jak stal, duraluminium, pleksiglas.

1a

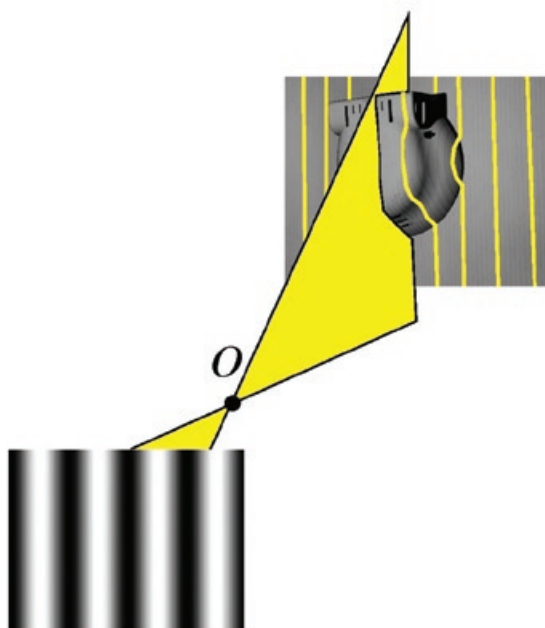


Obecnie w zbiorach muzealnych na całym świecie znajdują się tysiące obrazów poddanych w przeszłości zabiegowi parkietowania. Stan ich zachowania jest zróżnicowany. W zależności od warunków przechowywania w mniejszym lub większym stopniu widoczne są negatywne skutki obecności parkietaży na ich odwrociu. Charakterystyczne dla obiektów z parkietażami jest pofalowanie powierzchni.

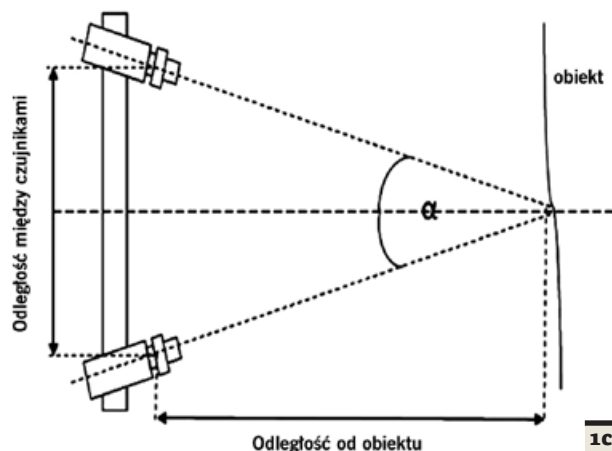
Faktyczne odkształcenia takich podobrazów zostały zmierzone. Do pomiarów użyto skanera optycznego ATOS (il. 1a) firmy GOM mbH. Pozwala on na bezdotkowy, nieniszczący pomiar krzywizn powierzchni lica obrazu. Wyniki pomiarów ukazują realne odkształcenia obrazów powstałe na skutek przymocowania od strony odwrocia konstrukcji parkietażowej.

System ATOS² bazuje na zasadzie triangulacji: głowica sensora dokonuje projekcji różnych układów prążków na mierzony obiekt (il. 1b), a skaner wyposażony w dwie kamery pozwala na obserwację ich przebiegu (il. 1c). Bazując na równaniach transformacji optycznej, jednostka przetwarzająca automatycznie i z dużą dokładnością oblicza współrzędne 3D dla każdego piksela kamery. Zależnie od rozdzielczości kamery, wynikiem pojedynczego pomiaru wykonanego w czasie 1 s. jest zbiór do 4 000 000 punktów. Źródłem światła jest żarówka halogenowa o mocy 250 W. Pozostałe dane techniczne są następujące:

- liczba punktów pomiarowych: 1 400 000,
- pola pomiarowe: od 135 × 108 do 1700 × 1360 mm,



1b



1c

- fizyczna odległość punktów: od 0,08 do 1,0 mm.

Podstawowe zalety tej metody to:

- skanowanie i wizualizacja całego przedmiotu w 3D oraz możliwość porównania wyników z wynikami wcześniejszymi,
- szybki proces pomiarowy,
- wysoka rozdzielczość i dokładność pomiaru,
- mobilność urządzenia.

Każdy obiekt ma w swoim lewym dolnym rogu umowny zbieg osi X, Y, Z. Każdy punkt w pomiarze jest opisywany w trzech wymiarach. Czwarta wartość to odchylenie. W trakcie pomiarów komputer generuje potrzebną do obliczeń płaszczyznę (idealny element zastępczy – tzw. element Chebysheva), względem której oblicza odchylenie. Element Chebysheva powstaje w wyniku obliczeń matematycznych. Jest on tak wyliczony, że maksymalny dystans wybranego punktu do środkowego punktu elementu jest najmniejszy. Kolorystyczna mapa odchyleń wizualizuje pomiar.

Dodatkowo wytyczono cztery przekroje obiektu w poprzek włókien (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) przy obu krawędziach obiektu oraz dwa w środkowej części obrazu, tak aby móc dokładniej zaobserwować wpływ konstrukcji parkietazowej na krzywiznę lica.

Badaniom poddano kilkanaście obrazów z Muzeum Narodowego w Warszawie. Przechowywane są one w magazynie malarstwa. Przy wyborze kierowano się stosunkowo łatwym dostępem do obiektów (nie z ekspozycji) oraz tym, że od momentu pojawienia się zbiorach Muzeum Narodowego obrazy nie były konserwowane i skutki obecności parkietazu są doskonale widoczne.

Prezentacja wyników

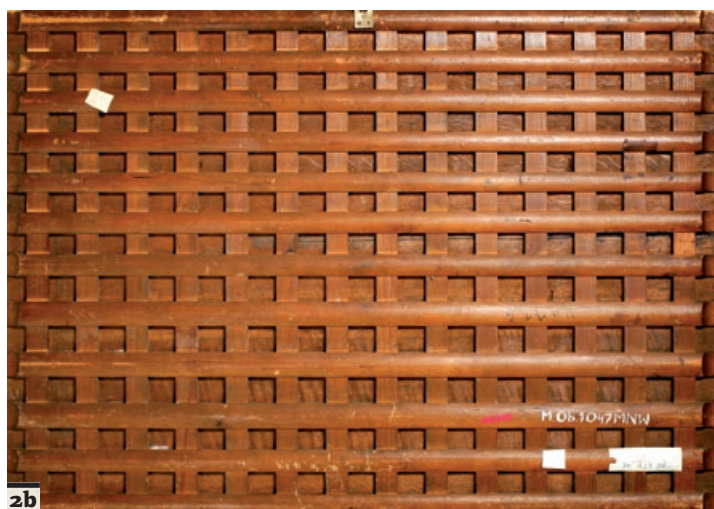
Poniżej został opisany jeden z badanych obiektów – *Znalezienie Erichtoniosa*, kopia według Petera Paula Rubensa pochodząca z przełomu XIX i XX wieku. Obraz ten reprezentuje wszystkie charakterystyczne dla obrazów z parkietazem odkształcenia powierzchni lica.

1. System ATOS: **a)** skaner optyczny ATOS (ATOS Viewer 2010), **b)** projekcja prążków (ATOS Viewer 2010), **c)** triangulacja. Reprodukacja z: M. Kujawińska, R. Sitnik, G. Dymny, M. Malesa, D. Siwek, K. Malowany, D. Szczepanek, *Zastosowanie niekoherentnych metod i systemów optycznych do monitorowania i pomiarów wielkogabarytowych konstrukcji budowlanych oraz maszyn*, http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow_site/storage/images/listopad/Mechatr_Met_niekoh_19_11_2009.pdf (dostęp wrzesień 2012 r.)

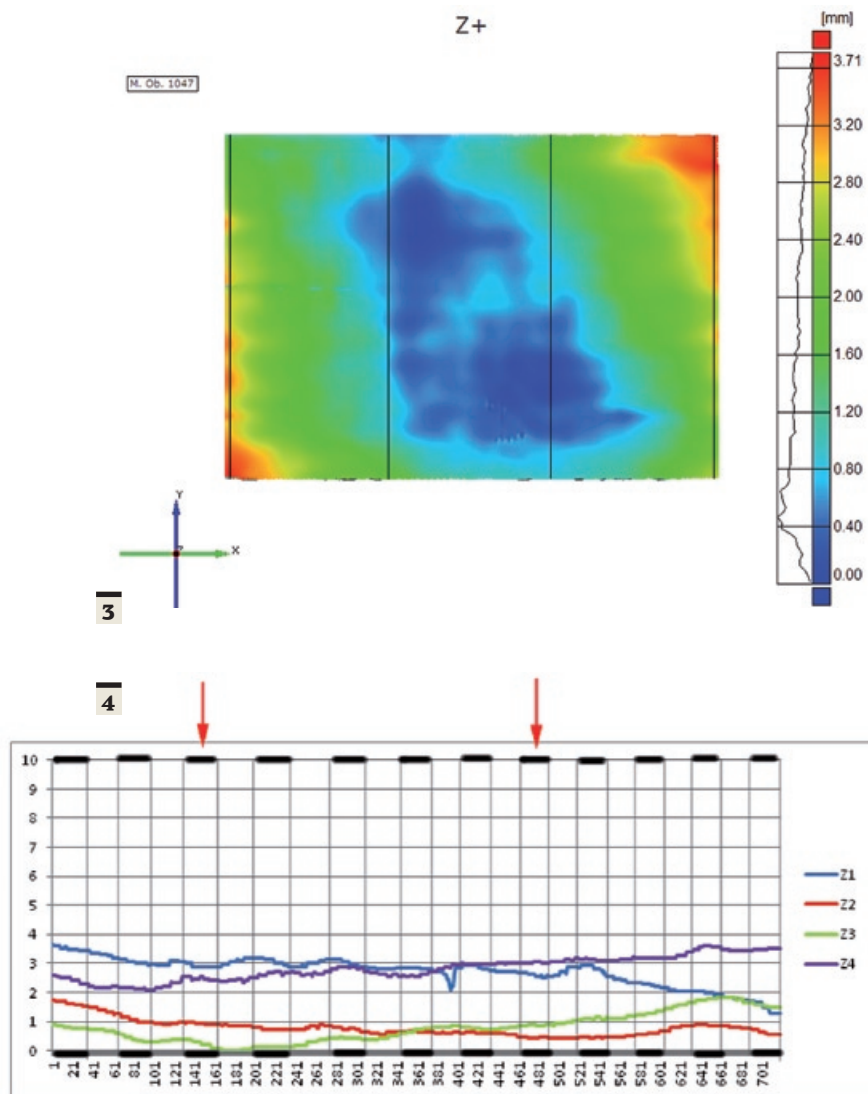
1. ATOS system: **a)** ATOS optical scanner (ATOS Viewer 2010), **b)** fringe projection (ATOS Viewer 2010), **c)** triangulation. Reproduction from: M. Kujawińska, R. Sitnik, G. Dymny, M. Malesa, D. Siwek, K. Malowany, D. Szczepanek, *Zastosowanie niekoherentnych metod i systemów optycznych do monitorowania i pomiarów wielkogabarytowych konstrukcji budowlanych oraz maszyn* [Application of Non-coherent Methods and Optical Systems for Monitoring and Measurement of Large-Sized Building Constructions and Machines], http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow_site/storage/images/listopad/Mechatr_Met_niekoh_19_11_2009.pdf (access: September 2012)

2. *Znalezienie Erichtoniosa*, kopia wg Petera Paula Rubensa, XIX/XX w., Muzeum Narodowe w Warszawie: **a)** lico obiektu w świetle odbitym, **b)** odwrocie obiektu w świetle rozproszonym, **c)** lico obrazu z nałożonym zdjęciem parkietazu, na czerwono zaznaczono pęknięcia warstw technologicznych zabezpieczone od strony odwrocia nieruchomymi listwami parkietazu, na żółto – pęknięcia znajdujące się pomiędzy nieruchomymi listwami parkietazu. Fot. A. Ring

2. *The Finding of the Erichthonius*, copy of Peter Paul Rubens's work, 19th/20th century, National Museum in Warsaw: **a)** the face of the object in reflected light, **b)** the back of the object in diffuse light, **c)** the face of the painting with a picture of tessellation overlapped; cracks in technological layers and secured in the back with fixed battens of tessellation marked in red, cracks between fixed tessellation battens marked in yellow. Photo: A. Ring



Obraz ma wymiary $72,7 \times 40,0$ cm. Został namalowany na podobrazii dębowym w technice olejnej. Powierzchnia malowidła pokryta jest warstwą pociemniałego, zadrapanego werniksu. Pośrodku, przy górnej krawędzi, wzdłuż włókien biegną daszkowato uniesione łuski, powstałe na skutek naprężeń drewna podobrazia. Zaprawa i leżąca na niej warstwa malarska są spękane. Na czerwono zaznaczono pęknięcia warstw technologicznych, powstałe



przed zamontowaniem parkietu, zabezpieczone od strony odwrocia nieruchomą listwą konstrukcji. Na żółto zaznaczono pęknięcia znajdujące się pomiędzy nieruchomymi listwami parkietu (il. 2). Dębowe podobrazie zostało wykonane z trzech wyciętych promieniowo desek szerokości 14,7 cm, 34 cm i 24 cm. Łączenia desek znajdują się pod listwami parkietu. Przed założeniem parkietu podobrazie ścięno do grubości 0,6 cm, prawdopodobnie o połowę swojej grubości. Pomimo tak znacznego ścięcia podobrazia widoczne są korytarze pozostawione przez owady żerujące w drewnie. Zaatakowanie podobrazia przez owady najprawdopodobniej było jednym z argumentów za poddaniem obiektu zabiegowi ścięcia i parkietowania.

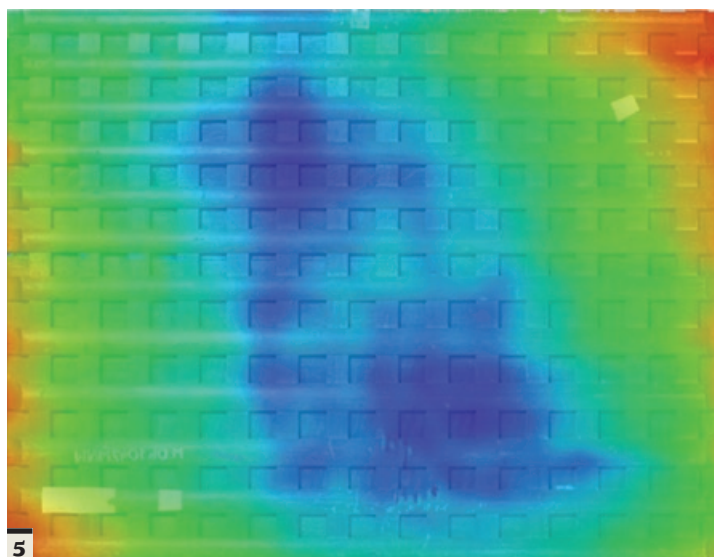
Parkiet jest wykonany z drewna świerkowego. Składa się z 12 nieruchomych listew szerokości 3,2-3,5 cm i wysokości 1,2 cm fazowanych na krawędziach oraz 14 listew ruchomych, szerokości 3,2 cm i wysokości 1 cm. Parkiet jest niesprawny – tylko jedna z ruchomych listew daje się przesunąć (piąta po lewej stronie

odwrocia). Odległości pomiędzy ruchomymi listwami parkietu, licząc od dolnej krawędzi, wynoszą kolejno: 3 cm, 3 cm, 3,8 cm, 3,8 cm, 3,6 cm, 2,8 cm, 2,8 cm, 2,8 cm, 2,8 cm, 2,5 cm, 3 cm. Listwy konstrukcji są politurowane.

Na wizualizacji pomiaru krzywizny obiektu (il. 3) widać pofalowanie powierzchni². Największe odkształcenia zaznaczają się przy bocznych krawędziach, tam gdzie odsłonięte są przecięte w poprzek włókna drewna (miejsca intensywniejszej wymiany wilgoci z otoczeniem). Maksymalne odkształcenie wynosi 3,71 mm. Widoczne są one na wizualizacji w postaci czerwonych obszarów, biegną wzdłuż bocznych krawędzi i ku środkowi, wzdłuż przyklejonych do odwrocia świerkowych listew. W centralnej części obiektu znajdują się obszary najniższej położone, zaznaczone na wizualizacji kolorem granatowym. Ich wartość odchylenia dochodzi do 0,5 mm. Mają one nieregularne kształty i znajdują się pomiędzy nieruchomymi i przesuwanymi listwami parkietu. Na wizualizacji w obrębie granatowej plamy uwidaczniają się obszary w kolorze jasnoniebieskim, które oznaczają wyższą wartość odkształcenia. Pokrywają się one z miejscami krzyżowania się ruchomych i nieruchomych listew parkietu na obiekcie. Ich wartość odchylenia od najniższego punktu na powierzchni obrazu wynosi około 0,8 mm. W obrębie zielonej plamy, która odpowiada wartościom odchylenia w przedziale 1,6-2,4 mm, zaznaczają się niebieskie smugi (niższa wartość odchylenia). Pojawiają się one w miejscach, gdzie na obiekcie występuje przestrzeń pomiędzy listwami parkietu. Przy krawędziach obrazu wybrzuszenia są umiejscowione w obrębie nieruchomych listew. Najwyżej leżą narożniki: lewy dolny oraz prawy górny. Wartość ich odchylenia waha się od 3,2 do 3,7 mm. Przy prawej krawędzi wybrzuszenia zachodzą częściowo na obszary pomiędzy nieruchomymi listwami parkietu.

Wykresy krzywizn przekrojów (il. 4) uwidaczniają amplitudę pofalowania obiektu. Boczne krawędzie

obrazu znajdują się wyżej o około 1-2 mm niż środek tablicy. Powierzchnia obrazu jest nieckowato zagłębiona. Wpływ parkietażu na pofalowanie powierzchni lica nie jest na wykresach tak dobrze widoczny, jak na wizualizacji. W obrębie listew powierzchnia obrazu nie jest jednoznacznie wybrzuszona, natomiast pomiędzy listwami często jest wklęsła. Wizualizacja jednoznacznie uwidacznia wpływ konstrukcji parkietażowej na kształt płaszczyzny lica (il. 5). Na skrzyżowaniu listew parkietażu lico leży wyżej niż w partiach, gdzie od strony odwrocia listew nie ma. Stosunkowo grube, przyklejone do powierzchni odwrocia, nieruchome listwy spowalniają absorpcję wilgoci, skutkiem czego redukują ruch podobrazia w miejscach ich przyklejenia. Ruchome poprzeczki ograniczały pracę tablicy, co spotęgowało wzrost naprężenia ściskającego pomiędzy nieruchomymi listwami – drewno tablicy pęczniało pomiędzy nieruchomymi listwami, ale nie mogło się zgiąć w żadnym kierunku, tak aby zmniejszyć naprężenie ściskające. Powodowało to zniszczenia warstwy malarskiej oraz cienkiego podłoża drewnianego w sąsiedztwie przyklejonej od strony odwrocia nieruchomej listwy parkietażu – w tym wypadku zniszczenia miały postać pęknięć wszystkich warstw technologicznych biegnących wzdłuż nieruchomych listew parkietażu (il. 2c). Ruchome, nieprzyklejone listwy parkietażu w praktyce dość szczelnie przylegają do odwrocia tablicy i są barierą wilgotnościową,



podobnie jak listwy nieruchome. Stąd widoczne na wizualizacji pofalowanie powierzchni lica, odzwierciedlające zarówno ruchome, jak i nieruchome listwy parkietażu.

Skanowanie obiektów pozwala na precyzyjne określenie kształtu powierzchni. Wykonując pomiary w odstępach czasu oraz porównując wyniki tych badań, można bardzo dokładnie określić stopień i charakter deformacji powierzchni dzieła sztuki. Zmiany wielkości deformacji mogą być opisane liczbami lub przedstawione w postaci wizualizacji. Ta bezdotykowa, nieniszcząca metoda może być wykorzystana do monitorowania stanu zachowania obiektów zabytkowych.

W przypadku pomiarów powierzchni obrazów tablicowych z parkietażem zmierzono faktyczne odkształcenia powstałe pod wpływem konstrukcji parkietażowej. Stwierdzono, że na kształt powierzchni lica obrazu wpływ mają nie tylko nieruchome listwy parkietażu, ale również ruchome. Listwy stanowią barierę przeciwwilgotnościową w miejscu kontaktu z cienkim podobrazem. Drewno tablicy w tych miejscach znacznie mniej pracuje pod wpływem zmieniających warunków klimatycznych niż w partiach odwrocia, które nie są osłonięte listwami parkietażu. ■

3. Wizualizacja pomiaru krzywizny powierzchni obiektu wykonana skanerem optycznym ATOS z zaznaczonymi czterema liniami, wzdłuż których wyznaczono krzywizny przekrojów: Z1, Z2, Z3, Z4

3. Visualisation of the object curvature made with the ATOS optical scanner with four lines marked along which the curvatures of sections were outlined: Z1, Z2, Z3, Z4

4. Wykresy krzywizn czterech poprzecznych przekrojów obiektu (Z1, Z2, Z3, Z4) zmierzonych skanerem optycznym ATOS (szare pionowe linie ograniczone czarnymi pokazują krawędzie nieruchomych listew parkietażu, czerwone strzałki pokazują miejsca połączenia desek podobrazia)

4. Charts of curvature of four cross sections of the object (Z1, Z2, Z3, Z4) measured with the ATOS optical scanner (grey vertical lines limited by the black ones show the edges of fixed tessellation battens, red arrows show the joints of the support boards)

5. Wizualizacja pomiaru krzywizny powierzchni obiektu wykonana skanerem optycznym ATOS z nałożonym zdjęciem odwrocia. Widoczna jest zależność kształtu powierzchni lica od konstrukcji parkietażowej

5. Visualisation of the curvature measurement of the object's surface performed with the ATOS optical scanner. The relation between the shape of the face surface and tessellation construction can be noticed

Aleksandra Trochimowicz jest absolwentką warszawskiej Akademii Sztuk Pięknych. Pracuje jako samodzielny konserwator dzieł sztuki. Wykonywała prace konserwatorskie dla wielu muzeów i kościołów w Polsce, na Ukrainie, Białorusi, w Gruzji, Szwajcarii. Bierze udział w misjach archeologicznych na Bliskim Wschodzie.

Przypisy

- 1 Pomiary obiektów były wykonane dwa lata temu systemem ATOS II e. Od tego czasu zmodernizowano skanery. Za pomocą skanera ATOS Triple Scan można wykonać pomiary z dokładnością 0,01 mm przy polu skanowania np. 100 × 100 mm.
- 2 W momencie badania w pomieszczeniu, w którym obiekt był przechowywany oraz była mierzona jego krzywizna, temperatura powietrza wynosiła 21,1%, a wilgotność względna powietrza 60,3%.

Bibliografia

Atos Viewer, instrukcja obsługi PL, wewnętrzne materiały firmy ITA, 2010.

Bobak S., *A Flexible Unattached Auxiliary Support. The Structural Conservation of Panel Paintings*, [w:] Dardes K., Rothe A. (red.), *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at The J. Paul Getty Museum, April 1995*, Los Angeles 1998.

Kujawińska M., Sitnik R., Dymny G., Malesa M., Siwek D., Malowany K., Szczepanek D., *Zastosowanie niekoherentnych metod i systemów optycznych do monitorowania i pomiarów wielkogabarytowych konstrukcji budowlanych oraz maszyn*, http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow_site/storage/images/listopad/Mechatr_Met_niekoh_19_11_2009.pdf (dostęp wrzesień 2012 r.).

Schiessl U., *Historischer Überblick über die Werkstoffe der schädlingsbekämpfenden und festigkeitserhöhenden Holzkonsevirung*, „Maltechnik-Restauro” 1984, nr 90, s. 9-40.

Trochimowicz A., Swaczyna I., *Species of wood used in cradle structures*, [w:] Dobrowolska E. (red.), *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology*, Warszawa 2010.

Uzielli L., *Historical Overview of Panel-Making Techniques In Central Italy. The Structural Conservation of Panel Paintings*, [w:] Dardes K., Rothe A. (red.), *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at The J. Paul Getty Museum, April 1995*, Los Angeles 1998.

Summary

The measurement of the curvature of the wooden support with a cradle by means of the optical scanner ATOS on the example of the copy of *Finding Erichthonius* by Peter Paul Rubens

Ever since artists have started using wooden panels as support of their paintings its instability has been causing problems. Throughout centuries artists and woodworkers have been aiming to counteract the movement of the support, and as a result the cradle – a rigid wooden structure attached to the panel back was invented. For more than two centuries cra-

dling seemed to be the perfect solution and was a customary method employed all over Europe. Today the disastrous effect of the excessive restraint the cradle exerts on the panel is apparent. It results in splitting of the panels, peeling off the paint layer and paint loss. Presented in the article are the results of measurements of surface of cradled painted panel examined by ATOS – the optical scanner. The measurement was performed of the existing cradle related distortion of the surface. It demonstrated that is possible to monitor the state of deterioration of artifacts by using the optical scanner.

Translated by Aleksandra Trochimowicz