

*ANNA MIKOŁAJSKA¹, AGNIESZKA LUBOŃ-RADWAŃSKA²,
MAŁGORZATA URBAŃCZYK-ZAWADZKA³, ROBERT PAWEŁ BANYŚ³*

¹ Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, Wydział Konserwacji
i Restauracji Dzieł Sztuki, Zakład Fizyki Stosowanej

² Konserwacja Zabytków, Kraków

³ Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Szpital im. Jana Pawła II w Krakowie

*Badania krucyfiksu z belki tęczowej w kościele św. Wojciecha
w Krakowie przy użyciu dwuźródłowej tomografii komputerowej*

ABSTRACT

*Examining the crucifix on the rod beam at St. Adalbert's Church in Kraków,
using dual-source computed tomography*

This paper explores the structure of the presented Crucifix. It also details the application of X-ray Dual Source Computed Tomography as a modern tool in the investigations of wooden objects. Computed tomography (CT) is one of the most powerful non-destructive techniques available, and can be thus used for the full volume inspection of an object. For the first time in Poland, we utilized this system of X-ray Dual Source Computed Tomography in the study of our cultural heritage.

This Crucifix comes from the oldest church in Kraków, the Church of St. Adalbert. It dates back to the beginning of the 15th century and is an “import” of Tuscan art. This is the first time it was so extensively investigated.

Keywords: Crucifix, technical structure, non-destructive investigation, X-ray Dual Source Computed Tomography

Słowa kluczowe: krucyfiks, budowa technologiczna, nieinwazyjna metoda badań, dwuźródłowa tomografia komputerowa

Dwuźródłowa tomografia komputerowa w badaniach dzieł sztuki

Tomografia komputerowa należy do jednych z najskuteczniejszych nieinwazyjnych metod badawczych, dając całkowity objętościowy obraz badanego obiektu. Dostarcza przede wszystkim informacji o wewnętrznej i strukturalnej budowie danego dzieła^{1,2}.

Wprowadzona do diagnostyki wielowarstwowa tomografia komputerowa pozwala na dokładne obrazowanie struktur z możliwością uzyskania od kilkudziesięciu do kilkuset warstw podczas jednej akwizycji z rozdzielczością submilimetrową oraz daje możliwość tworzenia dowolnej liczby różnego typu trójwymiarowych rekonstrukcji.

Kilka lat temu, wraz z rewolucją technologiczną, pojawiła się dwuźródłowa tomografia komputerowa i znalazła szerokie zastosowanie w medycynie i ochronie zdrowia. W aparacie dwuźródłowym TK zastosowano podwójny zestaw lampa – detektor pozwalający na jednoczesną akwizycję danych z dwóch zestawów detektorów. Rozwiązanie to z jednej strony poprawia dwukrotnie rozdzielczość czasową przy jednoczesnym skróceniu czasu niezbędnego do zebrania danych obrazowych i możliwości redukcji dawki promieniowania, co ma zastosowanie głównie w medycynie przy badaniu ruchomych narządów, np. serca. Drugą zaletą aparatu dwuźródłowego jest możliwość skanowania dwuenergetycznego, którą wykorzystuje się m.in. do dekompozycji materiałowej, czyli rozróżniania struktur o podobnym składzie chemicznym, a także do eliminacji artefaktów od przedmiotów o wysokim współczynniku osłabiania promieniowania, np. metalu. Znajduje to zastosowanie, poza wskazaniami medycznymi (np. różnicowanie kamieni nerkowych, obrazowanie ścięgien), również w badaniach dzieł sztuki.

W przypadku badania prezentowanego obiektu przy użyciu dwuźródłowej tomografii komputerowej zastosowano dwa moduły badań: DSCT z opcją dwuenergetyczną – wykonując akwizycję obrazu techniką spiralną (napięcie lamp – 80 kV i 140 kV, grubość warstwy, tj. rozdzielczość przestrzenna – 0,6 mm dla 64 warstw podczas jednego pełnego obrotu 360° układu lampa – detektory), jak również badanie w opcji tzw. wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem protokołu „ucha wewnętrznego” – wykonując akwizycję obrazu techniką spiralną i sekwencyjną (napięcie lampy – 120 kV, grubość warstwy – 0,33 mm, ale jedynie dla zredukowanego zakresu 12 warstw podczas jednego pełnego obrotu 360° układu lampa – detektory).

Cel i zakres badań

Krucyfiks datowany na pierwsze lata XV wieku, umieszczony na belce tęczęwej kościoła św. Wojciecha w Krakowie (il. I), był tematem opracowania z zakresu historii sztuki oraz analiz specjalistycznych badań wykonanych w 2011 roku. Do tego czasu oma-

¹ M.P. Morigi, F. Casali, M. Bettuzzi, D. Bianconi, R. Brancaccio, S. Cornacchia, A. Pasini, A. Rossi, A. Aldrovandi, D. Cauzzi, *CT investigation of two paintings on wood tables by Gentile da Fabriano*, „Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A” 2007, Vol. 580, s. 735–738.

² M.P. Morigi, F. Casali, M. Bettuzzi, R. Brancaccio, V. D’Errico, *Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics*, „Applied Physics A” 2010, Vol. 100, s. 653–661.

wiana rzeźba, posiadająca niezwykle wysokie wartości historyczne i artystyczne, nie doczekała się osobnego opracowania, a dotychczasowe prace restauratorskie i działania przy figurze nie były nigdzie odnotowane³. Nie natrafiono również na opisy historyczne i archiwalne, a wiedza na temat krucyfiksu ograniczała się do datowania rzeźby na początek XV wieku⁴. Drewniany, polichromowany krucyfix z belki tęczowej kościoła św. Wojciecha w Krakowie jest niezwykle cennym przykładem snycerskiej sztuki kręgu tokańskiego. Należy do niewielu przykładów zachowanych rzeźb importowanych do Królestwa Polskiego w początkach XV wieku⁵.

Kompleksowe prace konserwatorskie przy krucyfixie zostały podzielone na dwa etapy. Pierwszy z nich polegał na wykonaniu szeregu specjalistycznych badań fizycznych i fizykochemicznych. W drugim etapie przeprowadzono pełny zakres prac konserwatorskich z zakresu konserwacji techniczno-zachowawczej i plastyczno-estetycznej. Specjalistyczne badania miały na celu precyzyjne rozpoznanie budowy technologicznej obiektu i określenie faktycznego stanu zachowania. Dokładna analiza warstw budujących obiekt oraz rozeznanie ich zasięgu i stanu zachowania dały możliwość wytypowania kierunku przeprowadzenia koniecznych prac konserwatorskich i opracowania całościowego programu konserwatorskiego. Kompleksowe prace konserwatorskie zrealizowano w 2012 roku.

Ogólnie dostępne metody analityczne stosowane w analizie warstw technologicznych dzieł sztuki pozwoliły ustalić ogólną budowę technologiczną obiektu. Uściślenia składu chemicznego poszczególnych warstw – malarskich, zapraw, spoiw, metali oraz włókien i włosów – dokonano w badaniach mikroskopowych i mikrochemicznych oraz SEM EDX⁶. Zastosowanie dwuzródłowej tomografii komputerowej do analizy rzeźby wniosło niezwykle cenne informacje dotyczące budowy morfologicznej drewna, jego stanu zachowania oraz zasięgu najstarszych warstw malarskich niewidocznych pod licznymi przemalowaniami olejnymi⁷. Użycie nieinwazyjnej metody badawczej pozwoliło określić faktyczny stan zachowania drewna oraz przeanalizować obszar najstarszych i najcenniejszych warstw malarskich. W przypadku tej rzeźby, pokrytej w całości warstwami przemalowań, były to informacje niebywale istotne, które umożliwiły trafne wytyczenie kierunku postępowania konserwatorskiego.

³ Zidentyfikowane niepierwotne warstwy technologiczne obiektu, należące do najmłodszych warstw chronologicznych (przemalowania olejne warstwy malarskiej), pochodziły z doraźnych napraw i wykazywały jedynie cechy „odświeżeń” rzeźby.

⁴ *Katalog zabytków sztuki w Polsce. Miasto Kraków. Kościoły i klasztory Śródmieścia, 2*, red. A. Bochnak, J. Samek, t. IV, cz. III, s. 203, fig. 647.

⁵ Badania z zakresu historii i historii sztuki dotyczące krucyfiksu z kościoła prowadził dr hab. Paweł Pencakowski. Szerokie opracowanie jego autorstwa pt. *Krucyfix tęczowy w kościele św. Wojciecha w Krakowie*. Zagadnienia z zakresu historii sztuki zamieszczono w dokumentacji z prac konserwatorskich A. Luboń-Radwańskiej: *Dokumentacja prac konserwatorskich do krucyfiksu z belki tęczowej kościoła św. Wojciecha w Krakowie z 2012/2013 r.*

⁶ Analizy fizyczne wykonano w Zakładzie Fizyki i Chemii Stosowanej; skaningowa mikroskopia elektronowa – dr Małgorzata Walczak; zdjęcia rzeźby w promieniach rtg – mgr inż. Anna Mikołajska; analizy chemiczne pigmentów i spoiw oraz opracowanie SEM – dr Maria Rogóż; analizy włókien i gatunków drewna – mgr Jan Ptak.

⁷ Dwuzródłową tomografię komputerową wykonano w Zakładzie Radiologii i Diagnostyki Obrazowej Szpitala im. Jana Pawła II w Krakowie. Autorzy badania i opracowania tomografów: Małgorzata Urbańczyk-Zawadzka i Robert Paweł Banyś.

Określenie budowy technologicznej obiektu i stanu zachowania na podstawie badań specjalistycznych

Krucyfiks z belki tęczowej kościoła św. Wojciecha w Krakowie posiada złożoną budowę technologiczną. Tworzą ją warstwy pierwotne (drewno, warstwa zaprawy, temperowa warstwa malarska) oraz kompilacja warstw historycznych, licznych przemalowań (olejnych) i elementów dodanych (peruka z ludzkich włosów, metalowe perizonium).

Postać Chrystusa została wykonana z drewna orzechowego, w trzech kawałkach – korpusu i obu rąk, montowanych oddzielnie. W górnej części głowy zachował się otwór technologiczny zaślepiony kolkiem dębowym. Całą rzeźbę pokrywa cienka zaprawa kredowo-klejowa z dodatkiem bieli ołowiowej, na której wykonano pierwotnie polichromię w technice temperowej. Analiza próbki z tej warstwy ujawniła występowanie takich pigmentów jak: biel ołowiowa, cynober, kraplak. Drzewo krzyża zachowane w warstwie pierwotnej wykonane jest z dwóch części: belki pionowej, rzeźbionej z drewna sosnowego, oraz poziomej, z drewna jodłowego. Całą powierzchnię drewna pokrywa pierwotna zaprawa gipsowa, na której wykonano polichromię w technice temperowej. Dobrze zachowana pierwotna warstwa malarska posiada w swoim składzie pigmenty malachitu z wtrąceniami azurytu, bieli ołowiowej i czerni kostnej. Na powierzchni tej warstwy zaobserwowano rzadko występujący pigment historyczny – aury pigment (siarczek arsenu)⁸. Postać Chrystusa jest przytwierdzona do ramion krzyża kutymi gwoźdźmi. Do pierwotnej warstwy polichromowanej rzeźby musiały również należeć niezachowane elementy ruchome: naturalna peruka i zarost brody (z włosów ludzkich), mocowane bezpośrednio do struktury drewna za pomocą gwoździ, oraz perizonium z tkaniny⁹.

W stratygrafii nawarstwień historycznych wyróżniono kilka warstw malarskich będących przemalowaniami w technikach temperowych i olejnych, drobne elementy snycerki (palce u rąk Chrystusa) oraz dekoracyjne części w postaci peruki i metalowego perizonium¹⁰. Ubytki formy rzeźbiarskiej (kilka palców u rąk), powstałe na skutek uszkodzeń mechanicznych, uzupełniono metodą snycerską w drewnie lipowym. Mocno uszkodzoną warstwę pierwotnej polichromii, z rozległymi ubytkami sięgającymi do warstwy zaprawy i drewna, pokrywały liczne przemalowania. Najcenniejszą i najlepiej zachowaną warstwą malarską okazała się polichromia z XVII wieku. Kolejne warstwy, szczelnie nakładane na siebie, zawierały paletę zbudowaną z czerwieni alizarynowej, bieli cynkowej, bieli tytanowej oraz syntetycznej umbry i wielu nowych pigmentów wprowadzonych w XIX wieku. Dodatkową powłokę tworzyła zaprawa kredowo-klejowa, którą zastosowano jako międzywarstwę przemalowań oraz przeklejenia i warstwy szelaku. Liczne przemalowania oraz utrwalone warstwami spoiw mocne zabrudzenie powierzchni rzeźby wpływały bardzo negatywnie na jej odbiór estetyczny i przyczyniły

⁸ W opracowaniu budowy technologicznej został on przypisany do warstwy laserunku z XVII w.

⁹ Pierwotna rzeźba głowy Chrystusa, bez snycersko opracowanych włosów i zarostu brody, wskazuje niepodważalnie, że autorskim założeniem było udekorowanie twarzy peruką i zarostem z włosów naturalnych (zapewne ludzkich). Dowodem są również liczne otwory po gwoździach i pozostałości drobnych elementów kutyh. Biodra Chrystusa były przepasane tkaniną (len, jedwab), dekorowane metalowymi, szlachetnymi niemi.

¹⁰ Dodane elementy datuje się na XVIII i początek XIX w.

się do utrwalenia powszechnego określenia nazywającego obiekt „czarnym krucyfiksem”.

Analiza rzeźby za pomocą tomografu komputerowego pozwoliła w sposób nieinwazyjny określić zakres występowania pierwotnej warstwy malarskiej oraz charakter jej zniszczeń wraz z współistniejącymi warstwami przemalowań. Badania ujawniły liczne istotne detale budowy morfologicznej i technologicznej drewna, które nie były możliwe do zaobserwowania na tradycyjnych zdjęciach rtg. Uczytelniły się detale dotyczące charakteru i rodzaju zniszczeń struktury drewna. Jednym z wielu miejsc ukazujących charakterystyczne dla tego obiektu rodzaje zniszczeń drewna była głowa Chrystusa, gdzie skupiły się ubytki w postaci licznych otworów po żerujących owadach szkodnikach drewna. Zidentyfikowano również bardzo liczne tkwiące metalowe gwoździe i małe otwory. Stanowią one dowód pierwotnego mocowania naturalnej peruki (lub pojedynczych pukli włosów) na głowie oraz zarostu wokół ust. Zdjęcia przekrojów tomografu komputerowego stworzyły możliwość przeanalizowania całej struktury w kilkuset sekwencjach obrazowych ukazujących usłojenie drewna, jego wady morfologiczne, zwartość struktury oraz wewnętrzne zmiany i ubytki wynikające z techniki i technologii wykonania obiektu. Bardzo szczegółowo zostały zobrazowane uszkodzenia biologiczne i mechaniczne drewna. Wewnętrzne kołkowania ukazały dokładny sposób montażu ramion, a kołki wklejone na boku korpusu ujawniają sposób uzupełnienia fragmentów drewna wyciętych z przyczyn morfologicznych (np. przerostów).

Podsumowanie

Badania specjalistyczne i odkrywki w różnych fragmentach rzeźby poświadczyły występowanie trzech wartościowych polichromii wykonanych w technice tempery. Ich datowanie zawężono na okres XV–XVII wieku. Analiza budowy technologicznej rzeźby za pomocą tomografu komputerowego przyczyniła się do precyzyjnego oszacowania stanu zachowania warstwy pierwotnej, a tym samym pozostawienia na rzeźbie najlepiej zachowanej, najstarszej warstwy malarskiej. Dzięki badaniom ograniczono się do usunięcia wadliwych i estetycznie nieciekawych warstw polichromii. Zachowano w obiekcie najstarsze polichromie wykonane w technice temperowej, eksponując polichromię z XVII wieku (il. II).

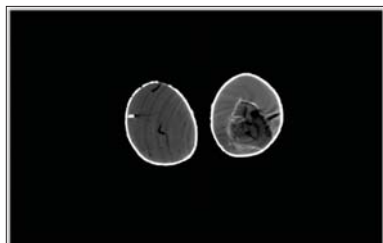
Przekroje tomografu komputerowego dają niezwykle cenny materiał do analiz porównawczych dla dzieł snycerskich wykonanych z podobnego gatunku drewna oraz wykazujących spójność warsztatową.



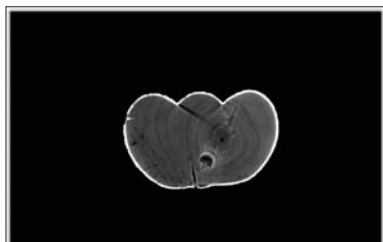
Il. 1. Krucyfiks z belki tęczowej. Rzeźba Chrystusa, fragment. Rekonstrukcja 3D maksymalnej intensywności. Widoczne usłojenie drewna, detale snycerskie, stan zachowania drewna i warstwy polichromii. Ciemne plamy – ubytki warstwy malarskiej do drewna



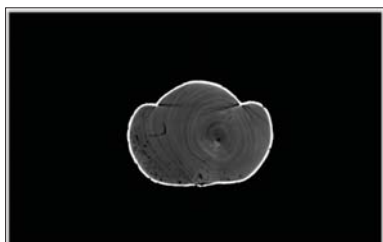
Il. 2. Krucyfiks z belki tęczowej. Rzeźba Chrystusa, fragment. Rekonstrukcja 3D maksymalnej intensywności. Widoczne usłojenie drewna, detal snycerki (kręgosłup, żebra) oraz stan zachowania warstwy zaprawy i polichromii. Ciemne plamy – ubytki warstwy malarskiej do drewna



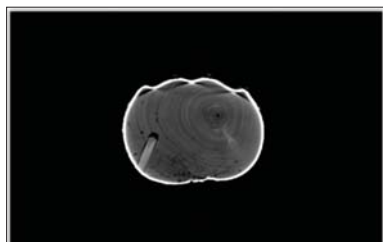
Il. 3. Przekrój przez nogi. Po prawej stronie widoczny przerost w strukturze drewna, z lewej strony liczne otwory po owadach, korytarz żerowy oraz tkwiący gwóźdź; wokół biała, świetlista otoczka, informująca o powierzchni zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej



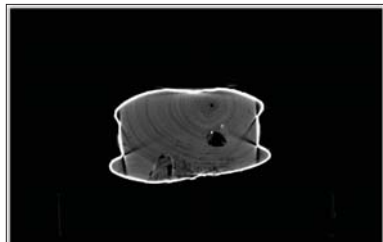
Il. 4. Przekrój przez tors. Widoczne usłojenie drewna z rdzeniem i pęknięciem odrzdeniowym; po lewej stronie skupisko bardzo licznych otworów po owadach oraz gwóźdź. W środkowej części ciemna plama zaznaczająca kołkowanie otworu technologicznego na głowie; biała, świetlista otoczka wokół – warstwa zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej



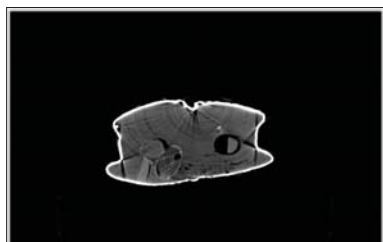
Il. 5. Przekrój torsu. Jasna, świetlista otoczka o nierównej linii ukazuje ubytki i nierówności w zaprawie kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej; wewnątrz koncentrycznie ułożone usłojenie zwarte strukturalnie drewna orzechowego; od dołu i po lewej stronie skupisko otworów i korytarzy po owadach (bok i kręgosłup rzeźby); centralnie usytuowane rozjaśnienie to nieszczelność zaślepienia otworu na głowie kołkiem drewna dębowego; kształt przekroju wyraźnie ukazuje wykrojenie w części miednicowej figury



Il. 6. Przekrój ukazujący umiejscowienie kołka montażowego w ramieniu rzeźby. Widoczne wyraźne usłojenia oraz ubytki w postaci licznych otworów po żerujących owadach skupionych od strony odwrocia rzeźby (plecy); w tym miejscu wyraźnie zaznacza się nierówność zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej



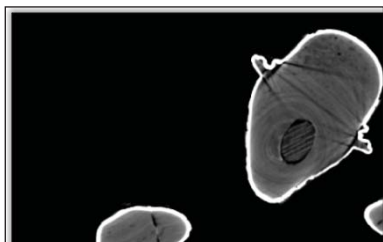
Il. 7. Przekrój ukazujący strukturę drewna na wysokości barków z kołkami montażowymi ramion oraz wstawkami drewna uzupełniającymi usunięte wady anatomiczne drewna (przerosty). Te miejsca we wstępnych oględzinach obiektu sugerowały umieszczenie np. relikwii w otworach torsu (np. ranie na boku); badanie tomografem potwierdziło przyczyny kołkowania i flekowania ubytków drewna



Il. 8. Widoczne pierwotne flekowania wad anatomicznych drewna oraz kołki montażowe ramion Chrystusa. W dolnej partii ciemne plamki świadczą o licznych otworach po owadach; formę rzeźbiarską otacza świetlista, biała linia zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej



Il. 9. Przekrój ukazuje zaburzenie struktury drewna wynikające z drobnych uszkodzeń po owadach, ujawniające się jako ciemne kropki, oraz owalnie zaznaczone, symetrycznie ułożone kołki montażowe ramion Chrystusa, a także kołki zaślepiające otwory technologiczne i ubytki drewna. Jasna otoczka wokół ukazuje uszkodzoną powierzchnię warstwy zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej



Il. 10. Przekrój ukazujący rozczłonkowaną strukturę rzeźby (głowa, końcówka ramion). W środkowej części widoczne są koncentrycznie ułożone usłojenia drewna części głowy z kołkiem drewna dębowego zaślepiającym otwór technologiczny. Powierzchnia zaprawy kredowo-klejowej z dodatkiem bieli ołowiowej widoczna jest jako biała otoczka o uszkodzonej strukturze w dolnej części (broda Chrystusa); po boku dwa małe fragmenty ramion ze śladami kołkowania

Bibliografia

- Morigi M.P., Casali F., Bettuzzi M., Bianconi D., Brancaccio R., Cornacchia S., Pasini A., Rossi A., Aldrovandi A., Cauzzi D., *CT investigation of two paintings on wood tables by Gentile da Fabriano*, "Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A", 2007, vol. 580, s. 735–738.
- Morigi M.P., Casali F., Bettuzzi M., Brancaccio R., D'Errico V., *Application of X-ray Computed Tomography to Cultural Heritage diagnostics*, "Applied Physics A", 2010, vol. 100, s. 653–661.
- Bochnak A., Samek J. (red.), *Katalog Zabytków Sztuki w Polsce. Miasto Kraków. Kościoły i klasztory Śródmieścia*, 2, Warszawa 1978, T. IV, cz. III, s. 203.
- Polak-Trajdos E., *Ze studiów nad twórczością mistrza krucyfiksów siedmiogrodzkich*, BHS, 1977, s. 3–17.
- Piotr Pałamarz, *Krucyfiks w kościele św. Barbary w Krakowie. Przyczynek do dziejów małopolskiej rzeźby gotyckiej*, BHS, 1975, s. 135–149.