

Autoreferat (w języku polskim)

*Synergiczne wykorzystanie optycznej
koherencyjnej tomografii i innych technik
analitycznych do badań obiektów zabytkowych*

Magdalena Iwanicka

Magdalena Iwanicka

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	4
2. Stopnie naukowe	4
3. Informacje o dotychczasowym przebiegu kariery zawodowej.....	4
4. Omówienie jednotematycznego cyklu prac wchodzących w zakres habilitacji, będących osiągnięciem naukowym, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)	5
4.1. Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego.....	5
4.2. Omówienie celu naukowego prac wchodzących w zakres habilitacji, osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania	10
4.2.1. Wprowadzenie	10
4.2.2. Omówienie celu naukowego prezentowanych prac i osiągniętych wyników oraz opis ich wykorzystania w praktyce konserwatorskiej.....	11
4.2.3. Literatura.....	28
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	30
5.1. Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora	30
5.2. Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora	30

1. Imię i nazwisko

Magdalena Iwanicka

2. Stopnie naukowe

- 2013 Doktor nauk humanistycznych w zakresie nauk o sztuce na podstawie rozprawy pt. *Zastosowanie metody tomografii optycznej (OCT) w nieinwazyjnych badaniach struktury obrazów sztalugowych*, promotor: prof. zw. dr kwal. II st. B.J. Rouba, stopień nadany w dniu 18.06.2013 r. na Wydziale Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.
- 2006 Magister sztuki na kierunku: Konserwacja i restauracja dzieł sztuki, o specjalności: Konserwacja i restauracja malarstwa i rzeźby polichromowanej na Wydziale Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

3. Informacje o dotychczasowym przebiegu kariery zawodowej

- od 2015: Specjalista naukowo-techniczny w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej, Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa, Wydział Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- 2014-2015: asystent, Wydział Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
- 2007-2012: Studia doktoranckie z zakresu Nauk o Sztuce na Wydziale Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu



4. Omówienie jednotematycznego cyklu prac wchodzących w zakres habilitacji, będących osiągnięciem naukowym, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

Tytuł osiągnięcia:

Synergiczne wykorzystanie optycznej koherencyjnej tomografii i innych technik analitycznych do badań obiektów zabytkowych

4.1. Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego

L.p.	Publikacja	IF	Udział habilitantki [%]
H1	<p>M. Iwanicka, G. Lanterna, C.G. Lalli, F. Innocenti, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "On the application of Optical Coherence Tomography as a complementary tool in an analysis of the 13th century Byzantine Bessarion Reliquary", <i>Microchemical Journal</i> 125, s. 75-84 (2016)</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie i wyników uzyskanych za pomocą innych technik, wyborze wyników do prezentacji w artykule, stworzeniu koncepcji pracy, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i></p>	IF ₂₀₁₅ = 2,893	75%
H2	<p>P. Targowski, M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, C. Frosinini, J. Striova, R. Fontana, "Optical Coherence Tomography aids in revealing the hidden history of "The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder" by Leonardo da Vinci and studio", <i>Angewandte Chemie International Edition</i>, 57(25), s. 7396-7400 (2018) wraz z obszernym (408 stron) <i>Supporting information</i> (kompletna dokumentacja trzech punktów pomiarowych), dostępnym w wydaniu internetowym artykułu oraz na płycie DVD zawierającej dokumentację wniosku habilitacyjnego.</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie i wyników uzyskanych za pomocą innych technik, wyborze wyników do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia</i></p>	IF ₂₀₁₇ = 12,102	50%

	<i>problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i>		
H3	<p>E.A. Kaszewska, M. Sylwestrzak, J. Marczak, W. Skrzeczanowski, M. Iwanicka, E. Szmit-Naud, D. Anglos, P. Targowski, "Depth-Resolved Multilayer Pigment Identification in Paintings: Combined Use of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) and Optical Coherence Tomography (OCT)", Applied Spectroscopy 67(8), s. 960-972 (2013)</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze obiektu zabytkowego do badań, wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie i wyników uzyskanych za pomocą techniki LIBS, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i></p>	IF ₂₀₁₃ = 2,014	30%
H4	<p>M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, A. Szkulmowska, P. Targowski, "Pre-restoration condition of superficial layers of the Adoration of the Magi by Leonardo da Vinci as seen by optical coherence tomography", [w:] M. Ciatti, C. Frosinini (red.) Il restauro dell'Adorazione dei Magi di Leonardo La riscoperta di un capolavoro, Edifir, Florence, 2017, s. 287-293</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie uzyskanej za pomocą innych technik, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i></p>	- (artykuł w monografii poświęconej dziełu)	80%
H5	<p>M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "Traces of former restorations of Raphael's La Muta as seen by Optical Coherence Tomography", [w:] M. Ciatti, M.R. Valazzi (red.) Raffaello, La Muta. Indagini e restauro, Edifir, Florencja 2015, s. 117-119</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie uzyskanej z pomocą innych technik, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i></p>	- (artykuł w monografii poświęconej dziełu)	80%
H6	<p>P. Targowski, M. Iwanicka, B.J. Rouba, C. Frosinini, „OCT for examination of works of art”, [w:] W. Drexler, J.G. Fujimoto (red.), OCT: Technology and Applications – 2nd edition, Springer, Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015, s. 2473-2495</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opisanu problematyki konserwatorskich badań inwazyjnych i nieinwazyjnych, wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT w prezentowanych przykładach, wykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań</i></p>	- (artykuł w monografii poświęconej technice OCT)	45%

	<i>OCT, wyborze obiektów i wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i>		
H7	<p>P. Targowski, M. Pronobis-Gajdzis, A. Surmak, M. Iwanicka, E.A. Kaszewska, M. Sylwestrzak, "The application of macro-X-ray fluorescence and optical coherence tomography for examination of parchment manuscripts", <i>Studies in Conservation</i>, 60, s. S167-S177 (2015)</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie i porównanie z wynikami badań na przygotowanej przeze mnie próbie modelowej, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej obiektu, współredakcji tekstu.</i></p>	IF ₂₀₁₆ = 0,323	40%
H8	<p>M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "Optical Coherence Tomography (OCT) for examination of artworks", [w:] D.M Bastidas, E. Cano (red.), <i>Advanced Characterization, Diagnostics, and Evaluation in Heritage Science – rozdział w monografii</i>, Springer Verlag 2018, s. 49-59</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji artykułu, wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, wykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiektach i porównanie z wynikami badań wykonanych za pomocą innych technik, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, opisanu wyników OCT z punktu widzenia problematyki konserwatorskiej badanych obiektów, redakcji przeważającej części tekstu.</i></p>	- (artykuł w monografii poświęconej badaniom dzieł sztuki)	90%
H9	<p>G. Fiocco, T. Rovetta, C. Invernizzi, M. Albano, M. Malagodi, M. Licchelli, A. Re, A. Lo Giudice, G.N. Lanzafame, F. Zanini, M. Iwanicka, P. Targowski, M. Gulmini, "A Micro-Tomographic Insight into the Coating Systems of Historical Bowed String Instruments", <i>Coatings</i> 9(2), s. 81 (2019)</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT z pomiarem grubości warstw, interpretacji wyników badań OCT i porównanie z wynikami badań wykonanymi za pomocą innych technik tomograficznych oraz fotografiami przekrojów próbek, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, korekcie opisu techniki OCT, współredakcji wniosków odnośnie porównania możliwości technik tomograficznych i krytycznej lekturze pozostałej części tekstu.</i></p>	IF ₂₀₁₇ = 2,35	25%
H10	<p>M. Iwanicka, P. Moretti, S. van Oudheusden, M. Sylwestrzak, L. Cartechini, K.J. van den Berg, P. Targowski, C. Miliani, "Complementary use of Optical Coherence Tomography (OCT) and Reflection FTIR spectroscopy for in-situ non-invasive</p>	IF ₂₀₁₇ = 2,746	75%

	<p>monitoring of varnish removal from easel paintings", <i>Microchemical Journal</i>, 138, s. 7-18 (2018)</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, wykonaniu części próbek modelowych układów warstw malarskich i werniksów, wyborze mieszanek rozpuszczalników do prób usuwania werniksu, przeprowadzeniu prób usuwania werniksu, wykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiektach i porównanie z wynikami badań wykonanymi za pomocą techniki FTIR, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, współredakcji tekstu.</i></p>		
H11	<p>M. Iwanicka, J. Musiela, J.W. Łukaszewicz, H. Stoksik, M. Sylwestrzak, "The potential of OCT for assessing laser assisted removal of deposits from ceramic tiles", [w:] P. Targowski, M. Walczak, P. Pouli (red.) <i>Lasers in the Conservation of Artworks XI, Proceedings of the International Conference LACONA XI, Kraków, Poland, 20-23 September 2016</i>, Wyd. UMK, Toruń 2017, s. 105-114</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaprojektowaniu przebiegu eksperymentu, wykonaniu badań grupy 19 obiektów ceramicznych i wybraniu obiektów do eksperymentu, współwykonaniu pomiarów OCT i makro XRF, opracowaniu wyników badań OCT i makro XRF, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiektach, wyborze wyników OCT do prezentacji w artykule, redakcji przeważającej części tekstu.</i></p>	- (recenzowany artykuł w materiałach konferencyjnych)	75%
H12	<p>M. Iwanicka (analiza konserwatorska), M. Sylwestrzak, P. Targowski, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), „Examination of the painting <i>Vase with Sunflowers</i> by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project SUNMIX (project leader prof. Koen Janssens) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028”, UMK, Toruń 2016</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyzy.</i></p>	- (analiza konserwatorska wyników badań dzieła istotnego dla kultury)	80%
H13	<p>M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), “Examination of the painting <i>Congregation leaving the Reformed Church in Nuenen</i> by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project VAN GOGH</p>	- (analiza konserwatorska wyników badań dzieła istotnego dla	80%

	<p>RETURNS (project leader Kathrin Pilz) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028”, UMK, Toruń 2018</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyzy.</i></p>	kultury)	
H14	<p>M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), “Examination of the painting <i>View of the sea at Scheveningen</i> by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project VAN GOGH RETURNS (project leader Kathrin Pilz) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028”, UMK, Toruń 2018</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyzy.</i></p>	- (analiza konserwatorska wyników badań dzieła istotnego dla kultury)	80%
H15	<p>M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), “Examination of two paintings by P.P. Rubens and studio: <i>The Apotheosis of James I</i> and <i>The Wise Rule of King James I</i> by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access, Project RUBENS TCR BHW (project leader dr Constantina Vlachou-Mogire) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028”, UMK, Toruń 2018</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyzy.</i></p>	- (analiza konserwatorska wyników badań dzieła istotnego dla kultury)	80%
H16	<p>M. Iwanicka (analiza konserwatorska), M. Sylwestrzak, P. Targowski, M. Iwanicka (pomiar OCT i analiza numeryczna), R. Fontana, J. Striova (obrazowanie w różnych pasmach promieniowania elektromagnetycznego), “Examination of the</p>	- (analiza konserwatorska wyników	80%

<p>painting <i>The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder (Madonna dei Fusi)</i> by Leonardo da Vinci and studio by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation (extended report), UMK, Toruń 2017</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyborze i dokumentacji miejsc do badań OCT, współwykonaniu pomiarów OCT, opracowaniu wyników badań OCT, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyzy.</i></p>	<p>badania dzieła istotnego dla kultury)</p>	
--	--	--

4.2. Omówienie celu naukowego prac wchodzących w zakres habilitacji, osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania

4.2.1. Wprowadzenie

Niniejsza praca stanowi przyczynek do rozwoju problematyki interdyscyplinarnych badań konserwatorskich ruchomych obiektów zabytkowych, przede wszystkim obrazów sztalugowych oraz obiektów rzemiosła artystycznego. Koherencyjna tomografia optyczna, nieinwazyjna metoda badania struktury obiektów półprzezroczystych dla bliskiej podczerwieni, została wykorzystana w sposób komplementarny do innych, bardziej klasycznych metod badania struktury i składu chemicznego dzieł sztuki.

Nowoczesna konserwacja i restauracja zabytków nie istnieje bez badań konserwatorskich. Zarówno sygnatariusze Karty Ateńskiej z 1931 r. [1, punkt V oraz VI], jak i Karty Weneckiej przyjętej w 1964 r. [2, art. 2] podnosili kwestię konieczności właściwego zdiagnozowania problemów zabytku przed przystąpieniem do działań konserwatorskich poprzez badania interdyscyplinarne. Pomimo, że dokumenty te dotyczyły pierwotnie głównie architektury i zabytków archeologicznych, ich założenia stały się punktem odniesienia dla postępowania wobec wszystkich rodzajów obiektów materialnego dziedzictwa kulturowego. Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego UNESCO z 1972 r. [3, art. 5] umieszcza badania naukowe wśród środków ochrony i konserwacji dziedzictwa kulturalnego. Definicja zawodu konserwatora-restauratora dzieł sztuki przyjęta przez ICOM Committee for Conservation w 1984 r. podaje trzy główne obszary działania w naszej profesji: badania konserwatorskie, ochronę profilaktyczną oraz praktyczną konserwację-restaurację obiektów dziedzictwa [5, punkt 2.1]. Podobnie, chociaż z użyciem nieco innych terminów, cele konserwacji przedstawia model Chrisa Caple'a; trzy równoważne fundamenty to odkrycie (*revelation*, obejmujące konserwację-restaurację i ekspozycję), badanie (*investigation*, tożsame z badaniami dzieła sztuki) oraz zachowanie (*preservation* – konserwacja zapobiegawcza i stabilizująca)[5]. Należy zaznaczyć, że na gruncie polskim koncepcja konserwacji zabytków jako dziedziny interdyscyplinarnej, posługującej się warsztatem badawczym nauk przyrodniczych, humanistycznych i technicznych ma ponad 70-letnią tradycję i była propagowana przez założycieli wszystkich trzech uczelni konserwatorskich: prof. Leonarda Torwirta w Toruniu, prof. Bohdana Marconiego w Warszawie oraz prof. Józefa Dutkiewicza w Krakowie [5]. Również sformułowana kilkanaście lat temu w Polsce definicja projektowania konserwatorskiego [6-10] ściśle łączy

konserwację-restaurację zabytków z wielodyscyplinarnymi badaniami. Tego typu *naukowe* podejście do konserwacji zabytków, teoretyk S. Muñoz-Viñas klasyfikuje jako wprawdzie nie jedyne, ale wyraźnie dominujące począwszy od drugiej połowy XX wieku [11, s. 71].

Pomimo włączenia problematyki badań konserwatorskich do procesu kształcenia konserwatorów i dynamicznego rozwoju dziedziny *heritage science* w Europie i Stanach Zjednoczonych, krytkowany bywa często taki sposób przeprowadzania badań, w wyniku którego dochodzi do pewnej *alienacji* nauki konserwatorskiej, czyli oderwania jej od praktyki [5; 11, s. 144]. Rozwój technik instrumentalnych i ciągłe tworzenie nowych metod badawczych spowodował daleko idącą specjalizację wśród samych badaczy. Trudno więc dziś oczekiwać, że konserwator-praktyk będzie w stanie w pełni orientować się w możliwościach i ograniczeniach wszystkich dostępnych technik. Dodatkowo, problemy w komunikacji pomiędzy praktykami-konserwatorami i naukowcami reprezentującymi dziedzinę ściśle powodują, że często trudno jest wykorzystać w praktyce rezultaty badań. Propozycją rozwiązania jest postulat tworzenia „praktycznej nauki” (*targeted research, technoscience*), która pomoże przekształcić czystą naukę w praktyczne rozwiązania dostępne dla konserwatorów praktyków [11, s. 144-146]. Taką ideą kierowałam się podczas całej mojej pracy naukowej. Z mojego wieloletniego doświadczenia konserwatora-badacza wynika, że dla optymalnej interdyscyplinarnej współpracy konieczna jest po stronie badacza nie tylko dogłębna znajomość stosowanej techniki instrumentalnej, ale również zagadnień konserwatorskich. W praktyce więc, chociaż większość opisanych w moich pracach badań została wykonana w ścisłej współpracy z konserwatorami-restauratorami, którzy sformułowali ogólne pytania badawcze, do mnie zawsze należało poznanie istniejącej dokumentacji badawczej, a następnie doprecyzowanie tychże pytań i zaproponowanie szczegółowego planu badań, wybór miejsc badania, wykonanie pomiarów oraz interpretacja wyników w kontekście wiedzy o obiekcie. Konsekwencją takiego podejścia jest mój udział w rozwoju metodologii badań z wykorzystaniem techniki OCT polegający na formułowaniu, w dialogu z fizykami i informatykami odpowiedzialnymi za konstrukcję instrumentu, szczegółowych „oczekiwań użytkownika” w zakresie parametrów eksploatacyjnych oraz tworzenia i optymalizacji oprogramowania do specyficznych zastosowań nakierowanych na konkretne problemy konserwatorskie.

4.2.2. Omówienie celu naukowego prezentowanych prac i osiągniętych wyników oraz opis ich wykorzystania w praktyce konserwatorskiej

Celem naukowym prezentowanego cyklu prac jest udzielenie odpowiedzi na konkretne pytania związane z problematyką konserwatorską omawianych dzieł sztuki, w wyniku połączenia optycznej koherencyjnej tomografii z innymi technikami instrumentalnymi, w celu uzyskania komplementarnych informacji wspierających planowaną lub trwającą konserwację-restaurację obiektów. Technika OCT używana była synergicznie wraz z następującymi technikami:

- z technikami nieinwazyjnymi, obrazującymi w skali makro (reflektografia w podczerwieni, fluorescencja wzbudzona promieniowaniem UV, rentgenografia, skanowanie makro XRF)
- z technikami nieinwazyjnymi, obrazującymi w skali mikro (mikroskopia optyczna, mikrotomografia rentgenowska)
- z technikami nieinwazyjnymi, punktowymi (spektroskopia odbiciowa w podczerwieni FTIR)
- z technikami inwazyjnymi, wykonywanymi na przekrojach próbek (obrazującymi, takimi jak: analiza VIS-UV, SEM-EDS) lub bezpośrednio lokalnie na obiekcie (spektroskopia LIBS)

Badane zagadnienia można ogólnie podzielić na dwie grupy:

1. Rozpoznanie budowy obiektów zabytkowych w zakresie warstw oryginalnych i wtórnych oraz ich stanu zachowania.
2. Monitorowanie usuwania warstw wtórnych połączone z oceną bezpieczeństwa i skuteczności zabiegu.

Koherencyjna tomografia optyczna (OCT) – zarys techniki

Koherencyjna tomografia optyczna (OCT) jest nieinwazyjną i bezdotykową metodą obrazowania struktury obiektów częściowo przezroczystych za pomocą promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni. Podstawowym wynikiem badania są obrazy przekrojów budowy wewnętrznej obiektu (tomogramy). Technika OCT może być również stosowana do uzyskiwania cyfrowych odwzorowań powierzchni obiektów nieprzezroczystych (profilometria). Pomimo rozwoju w ostatnich latach różnych technik tomograficznych, tomografia optyczna wciąż jest jedyną bezkontaktową, nieinwazyjną i możliwą do zastosowania *in situ* metodą o rozdzielczości wystarczającej do rozgraniczenia poszczególnych warstw w budowie obiektów zabytkowych i pomiaru ich grubości. Dzięki temu, że badanie można wykonać szybko w praktycznie dowolnym miejscu, technika OCT jest nie tylko alternatywą dla pobierania próbek, pozwalającą na ograniczenie ich ilości do minimum, ale, w wielu przypadkach, wręcz jedyną możliwą do zastosowania techniką.

Koherencyjna tomografia optyczna wykorzystuje zjawisko interferencji wiązek światła częściowo spójnego. Wąski promień światła o szerokim widmie spektralnym i wysokiej koherencji przestrzennej jest przemiatały po powierzchni badanego przedmiotu i wnika w jego strukturę na pewną głębokość, która wynika z właściwości absorpcyjnych materiału. W tomografii OCT następuje interferencja (nałożenie) sygnału rozproszonego na elementach struktury obiektu na falę odniesienia z ramienia referencyjnego interferometru. W wyniku rejestracji i analizy tego sygnału otrzymywana jest informacja o głębokościach, na jakich znajdują się centra rozpraszające promieniowanie podczerwone wzdłuż kierunku padania promienia sondującego, czyli pod jednym punktem jego powierzchni. Poprzez skanowanie punkt po punkcie wzdłuż linii otrzymuje się obraz pojedynczego przekroju (tomogram OCT), a poprzez przemiatawanie wiązki po powierzchni o rozmiarach kilkunastu milimetrów – kostkę danych trójwymiarowych.

W pracach wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego używano wysokorozdzielczego tomografu OCT, który został skonstruowany w Instytucie Fizyki UMK, w ramach projektu europejskiego 7PR CHARISMA, specjalnie do badań konserwatorskich. **Rozdzielczość osiowa** tego instrumentu wynosi ok. 2 μm w materiale, **rozdzielczość poprzeczna** natomiast 15 μm . Zakres widmowy źródła światła, którym jest zespół diod superluminescencyjnych sprzężonych optycznie, to 770–970 nm. Niskie **napromieniowanie** obiektu (7 mJ/cm^2) zapewnia w pełni nieinwazyjne pomiary.

Wynikiem badania OCT są tomogramy lub – w przypadku skanowania powierzchni obiektu – ich serie. **Tomogramy OCT** prezentowane są zazwyczaj w skali „fałszywych kolorów”, która odwzorowuje intensywność światła rozproszonego na nieciągłościach struktury badanego obiektu. Warstwy obiektu, z których nie wykrywa się sygnału, ze względu na ich idealną przepuszczalność dla promieniowania lub fakt, że znajdują się poza zasięgiem jego penetracji, obrazowane są jako czarne. Tak dzieje się np. w przypadku powietrza, szkła lub przejrzystego werniksu. Struktury posiadające zdolność słabego rozpraszania lub odbijania promieniowania sondującego widoczne są w barwach błękitu i zieleni (do tej kategorii należą mniej lub bardziej przejrzyste warstwy malarskie, a także

pigmentowane werniksy). Warstwy i granice warstw silnie rozpraszające lub odbijające promieniowanie, w tym granice ośrodków o dużej różnicy współczynnika załamania światła, widoczne są w odcieniach żółci i czerwieni. W związku z tym zazwyczaj największą intensywność sygnału tomograficznego rejestruje się na pierwszej granicy, na jaką promieniowanie napotyka – powierzchni badanego obiektu.

Ze względu na relatywnie duży zakres skanowania obejmujący do kilkunastu mm w płaszczyźnie powierzchni obiektu, obrazy tomograficzne OCT prezentowane są zazwyczaj rozciągnięte w kierunku pionowym, dla lepszego uwidocznienia struktur wewnątrz badanego obiektu. Z tego powodu **paski skali** umieszczane na tomogramach są zwykle dłuższe w kierunku pionowym.

Zastosowanie specjalnie stworzonego oprogramowania pozwala na użycie tomografii optycznej OCT również jako narzędzia obrazującego *en face*. Poprzez obróbkę numeryczną objętościowych danych OCT można uzyskać informację o strukturze obiektu wyłącznie z określonej głębokości; w wyniku ekstrakcji "plastrów" równoległych do powierzchni obiektu otrzymuje się **mapy rozproszenia** z badanego obszaru, wyłącznie z określonej głębokości. Innym rodzajem obrazów, który można uzyskać z danych OCT, są **profilowe modele powierzchni** oraz **mapy różnicowe**, na których kolorem kodowany jest ubytek materiału (np. spadek grubości werniksu w wyniku jego usuwania), który nastąpił pomiędzy dwoma pomiarami.

Poniżej omówiono kolejno prace wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego; dla każdej pracy przedstawiono szczegółowy cel naukowy, wyniki badań oraz ich wykorzystanie praktyczne.

W pracy: **H1: M. Iwanicka, G. Lanterna, C.G. Lalli, F. Innocenti, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "On the application of Optical Coherence Tomography as a complementary tool in an analysis of the 13th century Byzantine Bessarion Reliquary", Microchemical Journal 125, s. 75-84, (2016)** przedstawione zostały interdyscyplinarne badania XIII w. stauroteki bizantyńskiej, obiektu o niezwyklej wartości historycznej, artystycznej i kultowej. Celem naukowym pracy było uzyskanie odpowiedzi na pytania związane z historią przekształceń i stanem zachowania dzieła; odpowiedzi te miały wpływ na decyzje podczas konserwacji-restauracji. Badania wykonano w Opificio delle Pietre Dure we Florencji. Ze źródeł archiwalnych wiadome było, że relikwiarz Krzyża Świętego został poddany renowacji już w XV stuleciu, na zamówienie kardynała Bessariona (1408-1472), który następnie podarował go miastu Wenecji w nadziei na zyskanie dla swojego mocodawcy – ostatniego cesarza Konstantynopola, poparcia dla idei wojny z Turkami. Informacja o tej ingerencji okazała się niezwykle istotna, ponieważ w trakcie badań instrumentalnych udało się rozgraniczyć dwie fazy chronologiczne w strukturze obiektu. Ikona wchodząca w skład relikwiarza, ze względu na niewielkie rozmiary i dobry ogólny stan zachowania nie mogła być obiektem szeroko zakrojonych badań inwazyjnych. Standardowa analiza fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem ultrafioletowym lica malowidła nie przyniosła wielu informacji o warstwach podpowierzchniowych ze względu na silną fluorescencję grubej warstwy wtórnej olify. W ramach badań nieinwazyjnych zebrano w sumie ok. 150 widm XRF – punktowo, z powierzchni wszystkich elementów relikwiarza. Zidentyfikowano w ten sposób wstępnie stopy metali i produktów ich korozji oraz kamienie szlachetne będące elementami oprawy, a także pigmenty użyte do wykonania ikony. Pobrane zostały tylko dwie próbki do badań na przekrojach, które, po standardowej analizie mikroskopowej UV-VIS zostały poddane badaniom za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej z dyspersją energii (SEM-EDS) w celu identyfikacji pigmentów i folii metalowej. Jedna mikropróbka została ponadto zbadana za pomocą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS) w celu określenia techniki

złocenia. W wyniku analizy przekrojów stwierdzono, że wyraźnie widoczny na powierzchni złoty rysunek jest „zawieszony” w strukturze wtórnego XV-wiecznego werniksu. Technika OCT nie tylko potwierdziła tę obserwację w wielu miejscach, ale pozwoliła mi stwierdzić, że XV-wieczna renowacja malowidła została wykonana na oryginalnym werniksie. Udało się nieinwazyjnie zobrazować strukturę oryginalnych półprzezroczystych warstw malarskich i resztek oryginalnego złocenia, oryginalnej olify, a także leżących na niej warstw wtórnych: retuszy i dwóch warstw wtórnej olify, pomiędzy którymi zlokalizowane było wtórne złocenie. Technika OCT umożliwiła więc odniesienie wyników badań uzyskanych lokalnie w dwóch miejscach za pomocą technik mikroskopowych i spektroskopowych do ponad dwudziestu innych miejsc, wraz ze zmierzeniem grubości warstw wtórnej olify. Dodatkowo, dzięki nieinwazyjnym badaniom struktury za pomocą OCT udało mi się wyjaśnić przyczynę specyficznych zniszczeń malowidła, manifestujących się charakterystycznym „skrzemieniem powierzchni”. O ile przed przystąpieniem do badań było dość oczywiste, że przyczyną tego zjawiska są mikrospeknięcia w olifie (co ustalono w wyniku analizy mikroskopowej powierzchni ikony), dzięki OCT ustaliłam, na jakiej głębokości i w której warstwie werniksu są one zlokalizowane, co okazało się niezwykle istotne dla projektu konserwatorskiego. Ostatecznie konserwatorzy zdecydowali o ścienieniu wtórnej XV-wiecznej olify (z zachowaniem wtórnego złocenia), co ostatecznie pozwoliło uczynić kompozycję i przywrócić niezwykle walory estetyczne dzieła sztuki.

Praca H2: P. Targowski, M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, C. Frosinini, J. Striova, R. Fontana, "Optical Coherence Tomography aids in revealing the hidden history of "The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder" by Leonardo da Vinci and studio", *Angewandte Chemie*, 57(25), s. 7396-7400, (2018) stanowi przyczynek do problematyki interdyscyplinarnych badań nieinwazyjnych. W przypadku obrazu sztalugowego pt. *Madonna z wrzecionem (wersja Landsdowne)*, przypisywanego pracowni Leonarda da Vinci (z częściowym udziałem Mistrza) kuratorzy i konserwatorzy z Opificio delle Pietre Dure we Florencji, w porozumieniu z właścicielem zdecydowali o rezygnacji z jakichkolwiek badań inwazyjnych. Wszystkie badania wykonano w Opificio delle Pietre Dure we Florencji. Technika OCT została użyta jako narzędzie komplementarne do znanych technik obrazujących w skali makro, ale pozbawionych rozdzielczości w głąb: reflektografii w podczerwieni, rentgenografii oraz fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem UV. Celem naukowym pracy było stwierdzenie, czy poprzez użycie OCT możliwe jest uzyskanie dodatkowych informacji o budowie obrazu, istotnych z punktu widzenia planowanej konserwacji-restauracji dzieła. Dla porównania wyników niezwykle istotne było precyzyjne nałożenie map rozproszenia, uzyskanych z danych OCT, na wysokorozdzielcze obrazy fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem ultrafioletowym oraz reflektografii w bliskiej podczerwieni (ok. 950 nm). Pozwoliło to określić na jakiej głębokości znajdują się obiekty widoczne na obrazach uzyskanych w powyższych pasmach promieniowania elektromagnetycznego. W szczególności, niektóre z kształtów widocznych na obrazie reflektograficznym jako szare plamy udało mi się dzięki OCT zidentyfikować jako głęboko położone uzupełnienia zaprawy, natomiast inne jako retusze zlokalizowane pomiędzy warstwami werniksu. Okazało się przy tym, że retusze te nie są widoczne na obrazie fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem UV ze względu na silną fluorescencję wierzchniego werniksu i obecność drugiej, wyżej położonej warstwy konserwatorskich uzupełnień. Użyłam również map rozproszenia uzyskanych z OCT do porównania zasięgu kitów i retuszy pochodzących z dwóch faz, przy czym okazało się, że zasięg ten się nie pokrywa. Wytypowałam w wyniku obrazowania OCT miejsca, w których ingerencje konserwatorskie wydają się mocno wykraczać poza zasięg ubytków (jak np. ucho Dzieciątka), co nie jest widoczne ani w podczerwieni ani w ultrafiolecie. Dokonano także porównania parametrów płótna odcisniętego w warstwie malarskiej w wyniku dawnego transferu obrazu z płótnem obecnym aktualnie

w strukturze obiektu i widocznym na rentgenogramie. W szczególności, na mapach rozproszenia uzyskanych z danych OCT, pod werniksami i przemaalowaniami, na tym samym poziomie co ubytki warstwy malarskiej, widoczna jest też faktura płótna odbita w warstwie malarskiej. Dzięki analizie fourierowskiej możliwe było obliczenie częstotliwości, a więc gęstości nitek w obu kierunkach. Wyniki OCT były zgodne z wynikami uzyskanymi za pomocą mikroprofilometrii konoskopowej [12], jednak porównanie z danymi uzyskanymi z rentgenogramu dowiodło, że odcisk nie odpowiada strukturze płótna obecnego dzisiaj. Obraz w swojej historii poddany był przynajmniej dwóm transferom: z oryginalnego drewnianego podobrazia na płótno, a następnie, w 1976 roku – na sztywne podłoże kompozytowe [13, s. 238]. Prawdopodobnie więc podczas dublowania obrazu w ramach pierwszego transferu doszło do odciśnięcia faktury wtórnego płótna w warstwie malarskiej. Integralną częścią artykułu jest *Supplementary information* (kompletna dokumentacja dwóch punktów pomiarowych), dostępny w wydaniu internetowym artykułu oraz na płycie DVD zawierającej dokumentację wniosku habilitacyjnego.

Analiza konserwatorska wyników badań OCT tego samego obrazu – **H16: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), M. Sylwestrzak, P. Targowski, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), "Examination of the painting *The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder (Madonna dei Fusi)* by Leonardo da Vinci and studio by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation (extended report), UMK, Toruń 2017** zawiera wybrane tomogramy, mapy rozproszenia oraz parametry płótna dla wszystkich zbadanych miejsc, zestawione z wynikami obrazowania za pomocą skanera multispektralnego. Wyniki nieinwazyjnych analiz są obecnie wykorzystywane podczas trwającej we Francji konserwacji dzieła.

W artykule **H3: E.A. Kaszewska, M. Sylwestrzak, J. Marczak, W. Skrzeczanowski, M. Iwanicka, E. Szmít-Naud, D. Anglos, P. Targowski, "Depth-Resolved Multilayer Pigment Identification in Paintings: Combined Use of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) and Optical Coherence Tomography (OCT)", *Applied Spectroscopy* 67(8), s. 960-972 (2013)** przedstawiono po raz pierwszy badania budowy warstwowej obrazu sztalugowego za pomocą sprzężenia technik spektroskopii plazmy wzbudzonej laserowo (LIBS) oraz OCT. LIBS to to emisyjna technika spektroskopowa polegająca na analizie widma fluorescencji plazmy powstającej w wyniku ablacji badanego materiału promieniowaniem laserowym, dostarczająca informację jakościową i pół-ilościową o składzie pierwiastkowym materiału. Celem naukowym połączenia LIBS i OCT było rozwinięcie tzw. profilowania w głąb z użyciem LIBS (depth profile analysis), które przydatne jest do analizy składu układów warstwowych, czyli np. warstw malarskich na obrazach sztalugowych, zawierających nieorganiczne pigmenty. Poprzez stopniową ablację cienkiej warstewki materiału (0,2–2 μm) w jednym nanosekundowym impulsie laserowym i powolne pogłębianie krateru, otrzymuje się informację o pierwiastkach występujących w kolejnych, coraz głębiej położonych, warstwach obrazu [14; 15]. Ze względu jednak na fakt, że ablacja nie postępuje z jednakową szybkością w różnych warstwach obrazu o różnym składzie materiałowym nie jest możliwe wyłącznie w technice LIBS pełne wyskalowanie informacji o składzie pierwiastkowym kolejnych warstw. Włączenie OCT do analizy LIBS pozwoliło na pomiar głębokości krateru i powiązanie zmian jego profilu z kolejnymi pulsami laserowymi, a w konsekwencji wyznaczenie kolejności i bezwzględnej grubości warstw. Badanym obiektem była *Madonna z Dzieciątkiem*, obraz olejny na płótnie konserwowany w ramach pracy dyplomowej w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej na Wydziale Sztuk Pięknych UMK. Stratygrafia w zakresie warstw oryginalnych była przedmiotem badań w Zakładzie Technologii i Technik Malarskich (WSP, UMK). Nieznana historia obrazu, niepewne datowanie oraz

liczne przemalowania budziły jednak wątpliwości co do zakresu autentyczności obiektu oraz postępowania konserwatorskiego. W wyniku przeprowadzonej analizy LIBS-OCT stwierdzono występowanie warstwy werniksu, dwóch pigmentowanych warstw malarskich i zaprawy. Wyniki znalazły potwierdzenie w analizie przekroju jedynej próbki pobranej w partii błękitu. W wyniku badań ustalono, że błękitny płaszcz Madonny wykonany jest z użyciem ultramaryny w warstwie spodniej, leżącej bezpośrednio na zaprawie oraz laserunku zawierającego błękit pruski. Określono również domieszki wchodzące w skład warstw malarskich oraz skład zaprawy. Dodatkowo, tomografia optyczna posłużyła do wyboru miejsc do analizy LIBS-OCT. Wybrałam miejsca o jednorodnej budowie warstwowej, pozbawione konserwatorskich uzupełnień lub ubytków, które mogłyby zafałszować wyniki analizy oraz spękań czy wewnętrznych delaminacji, niosących ryzyko większego uszkodzenia obrazu w wyniku działania impulsu lasera. Ostateczna przydatność wyników badań opisanych w pracy **H3** polegała na potwierdzeniu, że warstwa zawierająca błękit pruski leży bezpośrednio na warstwie ultramaryny i nie jest przemalowaniem; zdecydowano więc o pozostawieniu jej podczas konserwacji.

W artykule **H4: M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, A. Szkulmowska, P. Targowski, "Pre-restoration condition of superficial layers of the Adoration of the Magi by Leonardo da Vinci as seen by optical coherence tomography", [w:] M. Ciatti, C. Frosinini (red.) Il restauro dell'Adorazione dei Magi di Leonardo. La riscoperta di un capolavoro, Edifir, Florence, 2017, s. 287-293** przedstawione zostały wyniki badań monumentalnego obrazu na desce pt. *Pokłon Trzech Króli* autorstwa Leonarda da Vinci, wykonane w Opificio delle Pietre Dure we Florencji. Badania OCT były elementem multidyscyplinarnej kampanii badawczej poprzedzającej konserwację dzieła (zakończoną w 2017 r.). Prezentowany artykuł wchodzi w skład monografii poświęconej dziełu, zawierającej nie tylko wyniki badań instrumentalnych, ale również studia z zakresu historii sztuki, historii i problematyki konserwatorskiej. Celem badań OCT było ustalenie zasięgu i ocena stanu zachowania dawnych ingerencji konserwatorskich (wtórnych werniksów, lokalnych uzupełnień i ewentualnych przemalowań). Arcydzieło, pozostawione przez Mistrza w stadium podmalowania, pokryte było wtórnymi, zdegradowanymi werniksami. Warstwy malarskie, specyficzne dla techniki Leonarda – cienkie i półprzezroczyste, okazały się w wielu wypadkach przezroczyste dla techniki OCT i na tomogramach widoczny był nawet rysunek wstępny, wykonany czernią węglową. W większości z ponad 30 zbadanych miejsc stwierdziłam obecność dwóch warstw werniksu o łącznej grubości 10-20 μm . Zmierzyłam grubość warstw werniksów w badanych miejscach. Udało mi się też powiązać pewne zniszczenia obrazu widoczne w makroskali ze specyficzną strukturą warstw werniksu czytelną na tomogramach OCT. Porównanie wysokiej rozdzielczości fotografii fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem ultrafioletowym lica obrazu z danymi OCT pozwoliło też na stwierdzenie, że spodnia warstwa werniksu utworzyła w niektórych miejscach krople zastygłe na powierzchni (zapewne w skutek dawnego werniksowania obrazu w orientacji pionowej). Charakterystyczne, biegnące w formie pionowych smug, zabielenia powierzchni zidentyfikowano jako zaślepienie spodniego, dość grubo położonego werniksu, spowodowane mikrospękaniem w całej głębokości tej warstwy. Z kolei zabielenia powielające siatkę spękań skorelowane były, jak się okazało, z obecnością mikrospękań w cieniwej, wierzchniej warstwie werniksu. Wyraźnie można było odróżnić na tomogramach OCT kity i uzupełnienia konserwatorskie, dość przezroczyste dla promieniowania podczerwonego, nie odwzorowujące jednak dobrze powierzchni oryginału. Szczegółowe informacje o grubości werniksów i innych przypowierzchniowych zjawiskach zawarto w obszernym raporcie (mojego autorstwa), przekazanym Opificio delle Pietre Dure przed konserwacją obrazu. Wyniki badań techniką OCT zostały wykorzystane w tworzeniu projektu konserwatorskiego dla tego unikatowego

dzieła sztuki – wtórne werniksy zostały ostatecznie ścienione. Dzieło jest eksponowane w Galleria Degli Uffizi we Florencji.

Artykuł H5: M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "Traces of former restorations of Raphael's *La Muta* as seen by Optical Coherence Tomography", [w:] M. Ciatti, M.R. Valazzi (red.) *Raffaello, La Muta. Indagini e restauro*, Edifir, Florencja 2015, s. 117-119 opublikowany w monografii poświęconej wielodyscyplinarnym badaniom obrazu Rafaela Santiago prezentuje, w jaki sposób technika tomografii optycznej może wspomóc interpretację fotografii fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem ultrafioletowym. Podobnie do innych technik obrazujących w skali makro, również ta pozbawiona jest rozdzielczości w głąb, co oznacza, że informacje pochodzące z różnych głębokości w strukturze badanego obiektu nakładają się. Jako, że generalnie materiały nowsze wykazują słabszą fluorescencję niż starsze, często obecność ciemnych plam na fotografiach fluorescencji obrazów sztalugowych interpretuje się jako przemalowania. Zdarza się jednak również często, że użycie konkretnych pigmentów (np. umbry lub zieleni miedziowych) hamuje powstawanie fluorescencji spoiwa [16]. W przypadku obrazu pt. *La Muta* badania OCT pozwoliły mi wyjaśnić obecność rozległych ciemnych plam widocznych na obrazie fluorescencji wzbudzonej UV. Przyczyną okazało się dawne, niejednorodne ścienienie werniksu, który w cienkiej warstwie wykazywał wyraźnie słabszą fluorescencję. Dzięki OCT wykryto także obecność przemalowań, które, pomimo że zlokalizowane pod cienkim werniksem, nie były widoczne w promieniowaniu ultrafioletowym ze względu na słabą fluorescencję oryginalnej warstwy malarskiej. Analiza OCT może być więc użyta jako pewnego rodzaju klucz do interpretacji wyników analiz uzyskanych za pomocą bardziej klasycznych i szerzej dostępnych technik badawczych.

Praca H6: P. Targowski, M. Iwanicka, B.J. Rouba, C. Frosinini, „OCT for examination of works of art”, [w:] W. Drexler, J.G. Fujimoto (red.), *OCT: Technology and Applications – 2nd edition*, Springer, Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015, s. 2473-2495, opublikowana na zaproszenie w największej i najbardziej wszechstronnej monografii poświęconej technice OCT, stanowi artykuł przekrojowy prezentujący zarówno wyniki uzyskane przez zespół w którym pracuję, jak i przez badaczy z innych ośrodków. Celem pracy było zebranie i podsumowanie najistotniejszych zastosowań tomografii optycznej do badania różnorodnych dzieł sztuki oraz przegląd literatury. W pierwszej części artykułu opisano następujące zastosowania OCT: badanie obrazów sztalugowych (stratygrafia laserunków i werniksów, obrazowanie *en face* rysunku, ocena autentyczności inskrypcji, rozpoznawanie zniszczeń na przykładzie rozwarstwień, monitorowanie rozpuszczalnikowego usuwania werniksu), obrazów namalowanych na odwrociu szkła, obserwacja procesu wysychania werniksów i tworzenia przez nie błon o różnych właściwościach optycznych, ocena zasięgu atmosferycznej korozji szkła oraz crizzlingu (bardzo drobnych spękań w szkłe), obrazowanie warstw lakierów na instrumentach muzycznych, glazury na ceramice, kamieni półszlachetnych, pergaminów z inskrypcjami wykonanymi atramentem żelazowo-galusowym. Jako przykłady użycia OCT do kontroli ablacji laserowej omówiono stratyografię LIBS-OCT oraz monitorowanie usuwania werniksu. W drugiej części artykułu przedstawione zostały przykładowe tomogramy pochodzące z wykonanych przeze mnie badań obrazów sztalugowych. Na przykładzie zinterpretowanych przeze mnie wyników skanowania OCT przedstawione zostały w artykule następujące zagadnienia: obrazowanie za pomocą OCT struktury zdegradowanych werniksów (*Pokłon Trzech Króli* Leonarda da Vinci oraz *Portret kobiety z bukietem kwiatów* konserwowany niedawno w ZKMIRP UMK) oraz przemalowań zlokalizowanych na werniksach (*Pokłon Pasterzy* z klasztoru w Pakości, przedmiot pracy dyplomowej w ZKMIRP UMK), jak i pomiędzy werniksami, na dobrze zachowanej warstwie oryginalnej (*Madonna*

z wrzecionem Leonarda). W artykule przedyskutowano zalety i ograniczenia nieinwazyjnych badań struktury dzieł sztuki za pomocą OCT w porównaniu z klasyczną analizą stratygraficzną przekrojów próbek materii zabytkowej. Najistotniejszą różnicą pomiędzy obrazowaniem OCT i obrazem mikroskopowym, poza oczywistym ograniczeniem wynikającym z różnej przezierności warstw malarskich dla podczerwieni, jest względnie duży rozmiar badanego obszaru, co oznacza w praktyce możliwość porównywania obszarów o różnych właściwościach w ramach jednego tomogramu OCT oraz zwiększenie reprezentatywności wyników (szczególnie w zakresie oceny grubości warstw).

W artykule H7: P. Targowski, M. Pronobis-Gajdzis, A. Surmak, M. Iwanicka, E.A. Kaszewska, M. Sylwestrzak, "The application of macro-X-ray fluorescence and optical coherence tomography for examination of parchment manuscripts", *Studies in Conservation*, 60 s. S167-S177 (2015) przedstawiono badania XVI-wiecznego manuskryptu na pergaminie – gradułu obecnie przechowywanego w cysterskim opactwie w Krzeszowie (pochodzącego z klasztoru benedyktynek we Lwowie). Koherencyjna tomografia optyczna została użyta uzupełniająco do badań makro XRF. Dzięki zastosowaniu spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej w wersji skanującej uzyskano wgląd w paletę malarską, identyfikując: minię, aury pigment, cynober, zieleń zawierającą miedź i cynk, złoty płatek na bolusie. Dwa pigmenty błękitne użyte zostały do różnych celów (azuryt w bordiurach i miniaturach, smalta w inicjałach w tekście gradułu). Okazało się także, że w dwóch rodzajach inicjałów (mniejszych i większych, bardziej dekoracyjnych) smalta występowała w dwóch odmianach, różniących się znacząco zawartością ołowiu, co dało podstawy do hipotezy o różnym autorstwie w obrębie różnych partii manuskryptu. Technikę OCT wykorzystałam do porównania własności smalty w obrębie różnych rodzajów inicjałów na kilku kartach. Widoczne były różnice w profilu powierzchni, wynikające z różnej grubości warstwy smalty oraz różna przezierność, wyraźnie mniejsza niż w przypadku wykonanej przeze mnie próbki modelowej. Z analizy makro XRF wiadomo było, że dwa rodzaje smalty różniły się zawartością ołowiu. Widoczne w OCT zwiększenie rozpraszania przypisałam dodatkowi bieli ołowiowej (co zostało potwierdzone na próbkach modelowych przygotowanych przeze mnie kilka lat wcześniej w ramach pracy doktorskiej). Interesujące okazało się również badanie atramentu żelazowo-galusowego. Obrazowanie makro XRF z analizą PCA (analiza głównych składowych) przeprowadzone na 15 obszarach dowiodło, że o ile skład pierwiastkowy atramentu na różnych kartach jest taki sam, to proporcje ilościowe pomiędzy pierwiastkami znacząco się różnią i pozwalają na wyróżnienie dwóch rodzajów atramentu, użytych w pierwszej i drugiej połowie księgi. Wyniki te świadczą o rozłożonym w czasie pisaniu gradułu, ponieważ atrament żelazowo-galusowy ma tendencję do rozwarstwiania się i wytrącania osadów w naczyniach. Struktura atramentu na pergaminie była dobrze czytelna na tomogramach OCT: atrament żelazowo-galusowy jest przejrzysty dla podczerwieni, dokonałam więc oceny grubości warstwy atramentu oraz profilu pergaminowego podłoża. O ile w przypadku badań tego konkretnego obiektu technika obrazująca – makro XRF ewidentnie dostarczyła kluczowych informacji dotyczących budowy i historii jego wykonania, to tomografia optyczna dobrze sprawdziła się jako narzędzie uzupełniające informacje o strukturze obiektu.

Praca H8: M. Iwanicka, M. Sylwestrzak, P. Targowski, "Optical Coherence Tomography (OCT) for examination of artworks", [w:] D.M Bastidas, E. Cano (red.), *Advanced Characterization, Diagnostics, and Evaluation in Heritage Science*, Springer Verlag 2018, s. 49-59 jest artykułem na zaproszenie w monografii poświęconej nowoczesnym technikom diagnostycznym stosowanym w ochronie zabytków. Zawiera, poza omówieniem techniki OCT i zastosowań opisanych w literaturze, trzy przykłady analizy struktury różnorodnych dzieł sztuki. Celem naukowym artykułu było pokazanie,

w jaki sposób koherencyjna tomografia optyczna może uzupełniać niektóre klasyczne techniki badawcze, zarówno inwazyjne (analiza UV-VIS przekrojów próbek), jak i nieinwazyjne (obrazowanie makro XRF, fluorescencja wzbudzona promieniowaniem UV, obserwacja mikroskopowa powierzchni obiektu). Dwa zbadane obiekty zabytkowego rzemiosła pochodzą ze zbiorów Muzeum Okręgowego w Toruniu: japońska szkatułka oraz XVI-wieczny kafel ceramiczny znaleziony na terenie Zamku Krzyżackiego w Toruniu. W przypadku drewnianej szkatułki badaniom poddałam wnętrze wykonane w technice *nashiji*, w której płatki złota uwięzione są pomiędzy dwiema warstwami lakieru. Na tomogramie OCT doskonale widoczna jest struktura warstw wykończeniowych obiektu, aż do drewna; można ocenić niezwykle jednorodną grubość lakierów oraz ich doskonały stan zachowania. Kolejnym przykładem jest szklony kafel z przedstawieniem kobiety i mężczyzny w medalionach. Dzięki wykonanym wcześniej badaniom XRF ustaliłam, że kafel pokryty jest szkliwem ołowiowym, barwionym na zielono związkami miedzi. Szkliwo jest całkowicie przejrzyste dla obrazowania OCT. Na tomogramie widoczne są wyraźnie zarówno nawarstwienia powierzchniowe, jak i uszkodzenia: rozwarstwienia równoległe do powierzchni szkliwa, czy spękania biegnące do niej prostopadle. Dzięki niezwykle precyzyjnemu systemowi dokumentowania lokalizacji tomogramów OCT na obiekcie dokonałam porównania obrazu mikroskopowego dokładnie w obszarze badania i powiązanie szczegółów morfologii powierzchni szkliwa (rdzawe wykwyty biegnące wzdłuż spękań) ze strukturą widoczną w badaniach OCT. W tym wypadku ziarna rozpraszające światło zostały zidentyfikowane jako związki żelaza migrujące z czerepu, przez spękania, na powierzchnię. Obrazowanie makro XRF (wyniki nie zostały zamieszczone w artykule) potwierdziło tę obserwację, przy czym o ile pod mikroskopem i na skanach XRF widoczne były wyłącznie wykwyty powierzchniowe, na tomogramach OCT można zauważyć również ziarna związków żelaza wciąż „uwięzione” w strukturze szkliwa. W tym samym artykule jako przykład badań obrazu sztalugowego opisałam ciekawy przypadek XVII-wiecznej *Martwej natury z krabem* ze zbiorów Muzeum Warmii i Mazur w Olsztynie, sygnowanej: *J. Walscapele*. Analiza obrazu fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem ultrafioletowym nie wniosła żadnych istotnych informacji, ponieważ jednolita, dość silna fluorescencja pożółkłego i pociemniałego werniksu zasłaniała detale kompozycji i stanu zachowania obrazu. Skanowanie makro XRF, poza ujawnieniem typowej dla XVII-wiecznych dzieł palety malarskiej (biel ołowiowa, cynober, zieleń miedziowa, ochry i umbry), przyniosło nieoczekiwany wynik. Stwierdziłam mianowicie, że wszystkie światła w obrębie kompozycji wykonane są z użyciem bieli cynkowej i barytowej, a zielony obrus z użyciem zieleni chromowej – pigmentów, które nie były używane przed XIX stuleciem. Aby wyjaśnić, w której warstwie obiektu znajdują się pigmenty nowoczesne, skanowanie OCT wykonałam w 20 miejscach. Poza analizą tomogramów, decydujące znaczenie dla interpretacji wyników miało wytworzenie z danych OCT map rozproszenia (obrazów *en-face*). Kostka danych ma w tym przypadku formę serii klatek obrazujących zasięg warstw na różnej głębokości w strukturze obrazu. Udało mi się odnaleźć kształty odpowiadające rozkładowi konkretnego pigmentu na skanie makro XRF i w ten sposób stwierdzić, gdzie w strukturze obrazu znajdują się warstwy zawierające pigmenty nowoczesne. W ten sposób stwierdziłam, że biel cynkowa, biel barytowa oraz zieleń chromowa zostały użyte w rozległych przemalowaniach zlokalizowanych pomiędzy werniksami. W celu ostatecznego potwierdzenia tych obserwacji pobrałam jedną próbkę blisko krawędzi obrazu, z partii zieleni. Analiza UV-VIS przekroju potwierdziła obecność warstwy zieleni o słabej fluorescencji wzbudzonej UV (odpowiadającej fluorescencji zieleni chromowej) na dokładnie takiej samej głębokości, jak wynikało z pomiarów OCT. Ze względu na dobry ogólny stan zachowania i brak ubytków warstwy malarskiej w centralnej części kompozycji, pobieranie większej ilości próbek było niewskazane. Niniejszy artykuł pokazuje więc

w jaki sposób, dzięki ograniczeniu badań inwazyjnych do absolutnego minimum i zastosowaniu dwóch technik nieinwazyjnych, dających w sumie informację trójwymiarową, możliwe jest w określonych sytuacjach uzyskanie wiedzy o zasięgu, składzie pierwiastkowym i datowaniu warstw oryginalnych i wtórnych.

W artykule H9: **G. Fiocco, T. Rovetta, C. Invernizzi, M. Albano, M. Malagodi, M. Licchelli, A. Re, A. Lo Giudice, G.N. Lanzafame, F. Zanini, M. Iwanicka, P. Targowski, M. Gulmini**, "A Micro-Tomographic Insight into the Coating Systems of Historical Bowed String Instruments", *Coatings* **9(2)**, s. 81 (2019) przedstawiono po raz pierwszy na świecie porównanie zastosowania dwóch technik tomograficznych do nieinwazyjnej oceny stratygrafii lakierów i warstw przygotowawczych na zabytkowych instrumentach muzycznych. Badania OCT wykonane zostały w Muzeum Skrzypiec w Cremonie. Badalam pięć fragmentów skrzypiec usuniętych podczas restauracji przeprowadzonych w pierwszej połowie XX wieku z instrumentów mistrzów: Jacobusa Stainera, Gaspara da Salò, Giovanniego Paolo Magginiego i Lorenza Guadagniniego. Obok koherencyjnej tomografii optycznej zastosowano mikrotomografię rentgenowską CT z promieniowaniem wzbudzonym w synchrotronie (*Synchrotron Radiation Micro-Computed Tomography*). Wyniki porównywano z informacjami uzyskanymi wcześniej dzięki analizie przekrojów próbek [17] oraz technikom spektroskopowym [18]. Celem naukowym pracy była ocena przydatności technik tomograficznych do ustalenia stratygrafii warstw wykończeniowych na instrumentach i pomiar ich grubości i ustalenie czy na granicy drewna i lakierów znajdują się warstwy przygotowawcze. Ważne było również wykrycie obecności ziaren pigmentów w lakierach oraz określenie ich cech charakterystycznych (ilość w stosunku do lakieru, średni rozmiar ziarna, tendencja do tworzenia agregatów). Ostatecznie stwierdzono, że o ile mikroskopia optyczna jest najbardziej precyzyjnym narzędziem umożliwiającym rozróżnienie wielu bardzo cienkich warstw na przekroju próbki (oczywiście z pewnymi ograniczeniami – np. pomiar grubości w punkcie nie jest reprezentatywny dla całego obiektu), to w zakresie badań nieinwazyjnych za pomocą obu rodzajów tomografii osiągnięto podobne rezultaty. Mikrotomografia rentgenowska ma nieco lepszą rozdzielczość w głąb niż optyczna koherencyjna tomografia (OCT), w niektórych przypadkach więc możliwe było rozróżnienie dzięki niej większej ilości warstw. Z drugiej jednak strony, fakt, że OCT jest metodą czułą na różnice we właściwościach optycznych różnych ośrodków, spowodował, że tomografia optyczna w dwóch przypadkach pozwoliła mi wykryć warstwę przygotowawczą na drewnie, niewidoczną na tomogramach rentgenowskich z uwagi na brak kontrastu pomiędzy warstwami w tym badaniu. Ocena rozmiaru ziaren pigmentów zawartych w lakierach okazała się bardziej skuteczna z użyciem mikrotomografii CT, ponieważ tomografia optyczna (OCT) ma gorszą rozdzielczość poprzeczną niż rozdzielczość w głąb. Ostatecznie należy jednak pamiętać, że zastosowanie OCT jest łatwiejsze w przypadku obiektów o większych rozmiarach (nie mieszczących się do komory pomiarowej przy synchrotronie) oraz jest możliwe *in situ*, w miejscu przechowywania obiektów zabytkowych.

Poniżej omówione zostaną dwie prace podejmujące temat monitorowania zabiegów konserwatorskich za pomocą koherencyjnej tomografii optycznej w połączeniu z innymi technikami instrumentalnymi. Celem naukowym pracy H10: **M. Iwanicka, P. Moretti, S. van Oudheusden, M. Sylwestrzak, L. Cartechini, K.J. van den Berg, P. Targowski, C. Miliani**, "Complementary use of Optical Coherence Tomography (OCT) and Reflection FTIR spectroscopy for in-situ non-invasive monitoring of varnish removal from easel paintings", *Microchemical Journal*, **138**, s. 7-18 (2018) było sprawdzenie, czy poprzez powiązanie dwóch technik: optycznej koherencyjnej tomografii (OCT) i spektroskopii odbiciowej w podczerwieni (FTIR) możliwa będzie skuteczniejsza ocena postępu

i skuteczności zabiegu rozpuszczalnikowego usuwania werniksu niż w przypadku zastosowania każdej z tych technik oddzielnie. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem obiektów modelowych, na które nałożono po dwa różne werniksy oraz na dwóch obrazach sztalugowych. Zarówno dla obiektów testowych, jak i obrazów, miejsca prób usuwania werniksu ($12 \times 12 \text{ mm}^2$) zostały wybrane i oznaczone przy użyciu taśmy papierowej (na obiektach modelowych) oraz za pomocą "okien" wyciętych w folii poliestrowej (w przypadku obrazów sztalugowych). Na początku każdej próby, przed oczyszczaniem, przeprowadzany był pomiar FTIR w środku oznaczonego obszaru. Następnie obiekt był przenoszony pod głowicę OCT; po skanowaniu OCT usuwałam werniks za pomocą bawełnianego wacika w zdefiniowany sposób (z określoną ilością „rolowań”), bezpośrednio pod głowicą OCT. Następnie ponownie zbierałam dane OCT, bez poruszenia obiektu, co było konieczne dla powtarzalności skanów, czyli dokładnego porównania skanów uzyskanych przed i po zabiegu. Po tym obiekt był przenoszony do analizy FTIR na tym samym zaznaczonym obszarze. Dla rejestracji kolejnego etapu usuwania werniksu obiekt przenoszono z powrotem pod głowicę OCT. Taką procedurę powtarzano dla tylu kroków (etapów), ile było konieczne w przypadku każdego obiektu. Ocenę skutków każdego etapu zabiegów wykonywano natychmiast z wykorzystaniem OCT i FTIR, co pozwalało na podjęcie decyzji o kontynuacji lub zakończeniu usuwania werniksu. Stwierdzono, że wyniki uzyskane za pomocą obu technik były generalnie zgodne, to znaczy zarówno tomografia optyczna, jak i spektroskopia odbiciowa w podczerwieni FTIR pozwalały stwierdzić, czy warstwa werniksu jest usuwana oraz czy warstwa malarska nie jest uszkodzana. Dodatkowo w kilku przypadkach można było zauważyć efekt synergii, kiedy jedna z technik dostarczała bardziej szczegółowych informacji niż druga lub pozwalała rozstrzygnąć pewne wątpliwości związane z interpretacją wyników drugiej techniki. Najczęstsza sytuacja tego typu występowała wtedy, gdy sygnał z usuwanej warstwy po kilku etapach oczyszczania wciąż był wykrywany przez spektroskopię FTIR, ale na tomogramach OCT można było stwierdzić, że warstwa werniksu jest już usunięta (a sygnał FTIR pochodził z resztek rozpuszczonego werniksu, który wniknął w strukturę warstwy malarskiej). W takich przypadkach technika OCT pozwalała na zakończenie zabiegu w bezpiecznym momencie, zanim nastąpiło uszkodzenie warstwy malarskiej. Inny przykład: spektroskopia FTIR nie jest często w stanie odróżnić sygnału z warstwy werniksu naturalnego od olejnej warstwy malarskiej, na której leży. W takich przypadkach obrazowanie OCT daje ostateczną odpowiedź, czy warstwa werniksu wciąż znajduje się na powierzchni obrazu. Okazało się również, że dla niektórych kombinacji werniksów analiza FTIR pozwalała zidentyfikować nie tylko wierzchnią, ale i spodnią warstwę werniksu, wspierając tym samym analizę stratygraficzną wykonaną za pomocą tomografii optycznej. Z danych OCT dodatkowo wytworzono tzw. mapy różnicowe, czyli obrazy *en face*, na których kolorem zakodowana jest grubość usuniętego w każdym kroku materiału. Ta odmiana prezentacji wyników okazała się być niezwykle praktyczna dla oceny szybkości i równomierności zabiegu usuwania werniksu, a także do oceny czy zastosowana mieszanka rozpuszczalników ma działanie selektywne, tzn. czy rozpuszcza wierzchni werniks bez naruszania spodniego. Podsumowując, w przypadku obrazów sztalugowych połączenie technik OCT i FTIR jako narzędzi monitorujących próby usuwania werniksu pozwala na równoczesne określenie ilości i grubości powłok oraz ich składu chemicznego, a więc uzyskanie pełnej informacji niezbędnej dla prawidłowego zaplanowania zabiegów konserwatorskich.

W artykule H11: M. Iwanicka, J. Musiela, J.W. Łukaszewicz, H. Stoksik, M. Sylwestrzak, "The potential of OCT for assessing laser assisted removal of deposits from ceramic tiles", [w:] P. Targowski, M. Walczak, P. Pouli (red.) Lasers in the Conservation of Artworks XI,

Proceedings of the International Conference LACONA XI, Kraków, Poland, 20-23 September 2016,

Wyd. UMK, Toruń 2017, s. 105-114 opisano z kolei pierwsze na świecie zastosowanie tomografii optycznej OCT (w połączeniu z obrazowaniem makro XRF oraz wykonaną na próbkach analizą SEM-EDS) do monitorowania laserowej ablacji nawarstwień na zabytkowych szklawionych kaflach ceramicznych. Z obiektów ze zbiorów Muzeum Okręgowego w Toruniu, odkrytych podczas wykopaliisk archeologicznych na Zamku Krzyżackim w Toruniu w latach 1958–1966, wytypowałam dwa fragmenty kafla o różnym stanie zachowania (nigdy nie konserwowane) oraz jeden obiekt zachowany w całości – XV-wieczny kafel z przedstawieniem Św. Doroty (po nieudokumentowanej dawnej konserwacji). Dzięki mapowaniu pierwiastków za pomocą techniki makro XRF ustaliłam w pewnym zakresie budowę technologiczną obiektów oraz rozkład nawarstwień (w przypadku fragmentów) lub wtórnych konserwatorskich lakierów (w przypadku kafla z przedstawieniem Św. Doroty). Jako uzupełniające badanie budowy i stanu zachowania fragmentów kafla wykonano analizę SEM-EDS na próbkach pobranych z obiektów. Na tomogramach OCT wykonanych w ramach rozpoznania obiektów przed próbami oczyszczania, doskonale widoczne były nawarstwienia mineralne na szklawie oraz pewne defekty struktury (jak np. rozwarstwienia zlokalizowane blisko powierzchni szklawia), które niosły ryzyko powstania dalszych uszkodzeń podczas oczyszczania laserem. Do testów oczyszczania użyto lasera Nd:YAG Thunder Art (Light For Art., El.En. S.p.A., Włochy) operującego w podczerwieni (1024 nm), z czasem trwania impulsu 8 ns i ze średnicą plamki ok. 7 mm. Każdy etap oczyszczania rozpoczynał się od wykonania fotografii mikroskopem optycznym, a następnie następowało skanowanie OCT. Mechanizm precyzyjnego przemieszczania głowicy OCT umożliwiał wykonanie obu pomiarów bez przenoszenia obiektu. Po ablacji laserowej wykonywana była kolejna fotografia mikroskopowa, a głowica OCT wracała z mikrometrową precyzją dokładnie w to samo miejsce, w którym znajdowała się na początku i zbierane były ponownie dane OCT. Ta procedura była powtarzana dla kolejnych kroków oczyszczania. Na tomogramach OCT porównywałam bezpośrednio profile powierzchni przed i po zabiegu, natomiast dzięki mapom różnicowym uzyskanym z danych OCT dokonałam oceny postępu oczyszczania oraz wykryłam pewne uszkodzenia powierzchni wywołane użyciem lasera. Co jest niezwykle ważne – w wyniku analizy danych OCT możliwe było także określenie „obszarów ryzyka” dla każdego obiektu, tj. miejsc, które nie powinny być oczyszczane laserowo lub powinny być traktowane ze szczególną ostrożnością z powodu istniejących wcześniej delaminacji lub szczególnie cienkiego szklawia. Po testach oczyszczania wykonałam ponownie skanowanie makro XRF, które potwierdziło usunięcie niepożądanych warstw na powierzchni całego obiektu. Poza wkładem do rozwoju metodologii kontroli i oceny procesu ablacji laserowej, praca miała przełożenie praktyczne dla konserwacji jednego z badanych obiektów. Kafel z przedstawieniem Św. Doroty został oczyszczony z dawnego żółtkatego lakieru za pomocą lasera, a następnie zakonserwowany zgodnie z zasadami sztuki konserwatorskiej.

Omówione poniżej analizy konserwatorskie wyników badań dzieł istotnych dla kultury **H12 – H16** to wybrane ekspertyzy (dokumentacje badawcze), które powstały podczas kampanii badawczych w ramach projektu CHARISMA oraz Mobilnego Laboratorium MOLAB (działającego obecnie w ramach projektu europejskiego IPERION CH [19]). Od 2015 nasz interdyscyplinarny zespół oferuje badania za pomocą optycznej koherencyjnej tomografii OCT w ramach programu MOLAB. Wszystkie badania realizowane są *in situ*, w europejskich muzeach, instytucjach konserwatorskich lub obiektach

historycznych, w których eksponowane są badane dzieła sztuki. Projekty są wyłaniane w systemie konkursowym, a badania, z założenia interdyscyplinarne, wykonywane są nieodpłatnie przez zespoły z pięciu krajów (Włochy, Francja, Polska, Grecja, Niemcy), dysponujące w sumie ok. dwudziestoma technikami instrumentalnymi.

W ciągu wielu lat uczestniczenia przeze mnie w tego typu projektach wypracowana została formuła współpracy z osobami koordynującymi badania ze strony instytucji zlecających. Moja wiedza konserwatorska w połączeniu z praktyczną wiedzą o technice tomografii optycznej i umiejętnością interpretacji wyników badań OCT oraz nabyte doświadczenie w łączeniu informacji pochodzących z różnych innych technik badawczych pozwoliły mi na szczegółowe zaplanowanie i przeprowadzenie badań w ograniczonym czasie. Każda wyjazdowa kampania badawcza trwała trzy-cztery dni robocze, w czasie których wykonywano zazwyczaj w sumie ok. stu pomiarów OCT. W związku z tym mój udział w tych projektach polegał zawsze na zrozumieniu problematyki konserwatorskiej i pytań badawczych postawionych przez konserwatorów odpowiedzialnych za obiekty zabytkowe, wyborze i dokumentacji miejsc badań OCT, współwykonaniu pomiarów, opracowaniu wyników, wyborze tomogramów do zamieszczenia w ekspertyzie, identyfikacji i opisie warstw na tomogramach, interpretacji wyników badań OCT w kontekście wiedzy o obiekcie uzyskanej dzięki innym technikom instrumentalnym, sformułowaniu wniosków i redakcji tekstu ekspertyz.

Dokumentacje badawcze (ekspertyzy) zostały przekazane zlecającym instytucjom, a następnie wykorzystane **do tworzenia projektów konserwatorskich** dla badanych obiektów zabytkowych, a także **do dalszej pracy naukowej** (wyniki zostały lub wkrótce zostaną opublikowane w czasopiśmie). Wyniki badań zamieszczone w ekspertyzach zostały także upublicznione w Polsce w ramach mojej **wystawy habilitacyjnej**, która była eksponowana w Interdyscyplinarnym Centrum Nowoczesnych Technologii UMK w dniach 29.03-28.04.2019 r oraz w katalogu wystawy (zamieszczonym na płycie DVD z dokumentacją wniosku habilitacyjnego).

W ekspertyzie **H12: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), M. Sylwestrzak, P. Targowski, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna)**, „**Examination of the painting *Vase with Sunflowers* by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project SUNMIX (project leader prof. Koen Janssens) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028**”, UMK, Toruń 2016 znajdują się wyniki badań obrazu szerzej znanego jako *Słoneczniki* Vincenta van Gogha z kolekcji Muzeum van Gogha w Amsterdamie, gdzie zostały też wykonane badania. Obszerna kampania badawcza została przeprowadzona w związku z planowaną konserwacją obrazu. Pierwsza konserwacja arcydzieła van Gogha została przeprowadzona pod koniec lat 20. XX wieku w Amsterdamie przez Jana Cornelisa Traasa i obejmowała zdublowanie płótna za pomocą żelazka i zawerniksowanie lica. Po raz kolejny obraz został zawerniksowany w latach 70. XX wieku. Zabiegi nie zostały wystarczająco udokumentowane.

Celem badań OCT było ustalenie ilości i grubości warstw werniksu oraz ustalenie stratygrafii w obrębie uzupełnień warstw malarskich. Obiektem badań były też zniszczenia charakterystyczne dla tego obrazu: lokalne pociemnienie werniksu w zagłębieniach duktów pędzla, migracja warstwy malarskiej do werniksu, obecność i potencjalny rozwój skupisk mydeł ołowiowych.

W większości badanych miejsc stwierdziłam na tomogramach OCT obecność dwóch warstw werniksu oraz zmierzyłam ich grubość. Połączenie tych wyników z badaniami spektroskopowymi dostarczyło pełnej informacji na temat stratygrafii i składu werniksów. Zarówno za pomocą

odbiciowej spektroskopii FTIR oraz ATR-FTIR (badania wykonane przez dr Patrizię Moretti oraz prof. dr Costanzę Miliani w Perugii) oraz spektroskopii GC-MS (wykonanej przez prof. dr. Klaasa Jana van den Berga w RCE w Amsterdamie) zidentyfikowano te warstwy jako werniks alkidowy pochodzący z drugiej konserwacji przeprowadzonej w 1961 r. Z kolei widoczne na tomogramach OCT pozostałości żywicy leżące w zagłębieniach impastów, bezpośrednio na warstwie malarskiej zidentyfikowane zostały jako werniks damarowy z pierwszej konserwacji w 1927 r., usunięty w 1961 r. (dzięki połączeniu spektroskopii GC-MS oraz DTMS – badania wykonane przez prof. dr. K.J. van den Berga). Na tomogramach OCT widoczna była również rozpraszająca światło warstwa leżąca pomiędzy dwiema warstwami werniksu alkidowego, zawierająca ziarna pigmentów. Połączenie informacji z obrazowania OCT z fotografiami wykonanymi następnie mikroskopem Hirox i wiedzą o praktyce J.C. Traasa pozwoliły profesor Elli Hendriks na sformułowanie hipotezy, że warstwa ta jest pewnego rodzaju laserunkowym „poziomym retuszem” wykonanym przez konserwatora w celu scalenia optycznego różnych partii kompozycji. Dodatkowo, udało mi się ustalić położenie kryjących, zmienionych optycznie konserwatorskich uzupełnień warstwy malarskiej: znajdują się one pomiędzy warstwami werniksu.

W odpowiedzi na pytania dotyczące specyficznych zniszczeń obrazu, ustaliłam, że wszystkie przebadane skupiska mydeł ołowiowych były przykryte werniksami z lat 1960-tych, co świadczy o zahamowaniu niszczącego procesu w wyniku ustabilizowania warunków klimatycznych w Muzeum van Gogha w Amsterdamie. Warto zauważyć, że skupiska mydeł są półprzezroczyste dla obrazowania OCT; podczas badań udało się wykryć skupiska na różnym poziomie zaawansowania, to znaczy zlokalizowane w strukturze warstwy malarskiej, wypiętrzone w formie „wzgórz” ponad powierzchnię otaczającej farby oraz wypiętrzone i uszkodzone, w formie „kraterów”. Kolejnym problemem konserwatorskim wymagającym wyjaśnienia było widoczne pod mikroskopem Hirox uniesienie warstwy malarskiej w partiach kwiatów wykonanych z przewagą żółcieni chromowej. Obrazowanie OCT pozwoliło mi stwierdzić, że doszło do rozwarstwienia warstwy malarskiej. Drobne płatki nieprzezroczystej żółcieni uwięzione są pomiędzy dwiema warstwami werniksu alkidowego. Dodatkowo, na wielu tomogramach widoczne były ziarna pigmentu migrującego do warstw werniksu. Można przypuścić, że do uwrażliwienia warstwy malarskiej doszło już podczas pierwszej konserwacji obrazu w 1927 r., kiedy został on poddany wysokiej temperaturze podczas zabiegu dublowania wykonanego żelazkiem. Działanie rozpuszczalników podczas pierwszego werniksowania, a następnie, w trakcie kolejnej konserwacji, podczas usuwania werniksu i aplikowania kolejnych warstw dopełniło procesu zniszczenia.

Ekspertyza zawiera również wyniki pięciu prób usuwania werniksu monitorowanych za pomocą techniki optycznej koherencyjnej tomografii. Stosowaną równolegle techniką była spektroskopia odbiciowa w podczerwieni FTIR. Wykorzystanie map usuniętego materiału oraz map zachowanego werniksu (wytworzonych z danych OCT) w połączeniu z informacją o zmianach w pasmach widm FTIR odpowiadających werniksom syntetycznym pozwoliło na określenie dynamiki procesu rozpuszczania werniksu, a także ocenę równomierności zabiegu.

Interdyscyplinarne badania *Słoneczników*, w których brałam udział, miały fundamentalny wpływ na kształt programu konserwatorskiego. 24 stycznia 2019 r. w Muzeum van Gogha odbyła się konferencja prasowa [20], podczas której ogłoszono, że obraz nie będzie wypożyczany oraz że w związku ze stwierdzonym fizycznym połączeniem warstwy malarskiej z warstwami werniksu konserwacja nie będzie obejmować usuwania wtórnych werniksów i uzupełnień konserwatorskich.

W związku z tym jedyną możliwą formą scalenia optycznego warstwy malarskiej będą uzupełnienia wykonane na powierzchni obecnego wierzchniego werniksu. Badania zostały opisane w trzech rozdziałach z moim współautorstwem w monografii: *Van Gogh's Sunflowers Illuminated: Art Meets Science*, która ukaże się w czerwcu 2019 r.

Dokumentacje badawcze **H13**: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiary i analiza numeryczna), "Examination of the painting *Congregation leaving the Reformed Church in Nuenen* by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project VAN GOGH RETURNS (project leader Kathrin Pilz) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028", UMK, Toruń 2018 oraz **H14**: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiary i analiza numeryczna), "Examination of the painting *View of the sea at Scheveningen* by Vincent van Gogh by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access Project VAN GOGH RETURNS (project leader Kathrin Pilz) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028", UMK, Toruń 2018 zawierają wyniki badań wykonanych w Muzeum van Gogha w Amsterdamie w 2018 r., których przedmiotem były dwa obrazy utracone w wyniku niesławnej kradzieży w 2002 r.: *Kongregacja opuszczająca kościół w Nuenen* oraz *Widok morza w Scheveningen*. Oba obrazy zostały odnalezione w 2016 r. w okolicy Neapolu we Włoszech i, po powrocie do Muzeum, poddane badaniom i konserwacji.

Opisany w dokumentacji nr **H13** obraz pt. *Kongregacja opuszczająca kościół w Nuenen* powstał na początku 1884 roku jako prezent dla matki malarza, która z powodu złamanej nogi nie mogła opuszczać łóżka. Przedstawia kościół, w którym ojciec Vincenta był pastorem. Półtora roku później, jesienią 1885 r., van Gogh zabrał obraz od matki i częściowo przemalował. Dodatkowo z tego czasu są m.in. obecne na pierwszym planie postacie, w tym kobiety w żałobnych szalach, które być może stanowią motyw nawiązujący do niedawnej śmierci ojca Vincenta oraz jesienne barwy krajobrazu. Celem naukowym pracy było ustalenie ilości, grubości i topografii warstw werniksu i ich lokalizacji w stosunku do dwóch faz chronologicznych obecnych w strukturze obrazu (warstwa malarska z 1884 r. oraz autorskie przemalowanie z 1885 r.). Obraz zbadałam za pomocą OCT w 35 miejscach, w tym w 7 miejscach przeprowadziłam ocenę wykonanych wcześniej prób usuwania werniksu lub monitorowanie takich prób, krok po kroku, w połączeniu ze spektroskopią FTIR (badania wykonane przez dr Patrizię Moretti oraz dr Brendę Doherty z Istituto CNR di Scienze e Tecnologie Molecolari z Perugii).

Na tomogramach OCT rozpoznałam obie fazy chronologiczne, odkryłam również obecność oryginalnego autorskiego werniksu z 1884 r., który jest zlokalizowany pomiędzy nimi i ma formę przejrzystych grudek o silnej fluorescencji wzbudzonej promieniowaniem UV. Van Gogh nie werniksował swoich najbardziej klasycznych dzieł, jednak *Kongregacja* jest obrazem z wczesnego, holenderskiego okresu twórczości artysty, zanim w pełni ukształtowała się jego technika malarska.

W trakcie prób monitorowania usuwania werniksu, z danych OCT (tomogramów oraz map usuniętego materiału) uzyskaliśmy informację, które warstwy zostały usunięte na danym etapie. Z kolei podczas analizy wyników FTIR wykorzystano nowatorską technikę zbierania sygnału z ekstraktu rozpuszczalnikowego uzyskanego z wacików, którymi były usuwane kolejne warstwy (badania wykonała dr Patrizia Moretti z CNR w Perugii). Dzięki połączeniu informacji z obu technik możliwa była identyfikacja zarówno usuniętego, wierzchniego werniksu (żywica alkidowa), jak

i pozostałego, oryginalnego werniksu (o komponentach proteinowych – być może werniks z białka jaja). Dodatkowo, dzięki monitorowanym przez OCT-FTIR próbom usuwania werniksu, konserwatorka Kathrin Pilz zyskała potwierdzenie selektywnego działania mieszanki rozpuszczalników wyłącznie na wierzchnią, wtórną warstwę werniksu. Spodni, oryginalny werniks został pozostawiony na powierzchni. Konserwacja i restauracja obrazu zakończy się w kwietniu 2019 r.

Wykonana w ramach tego samego projektu MOLAB-u dokumentacja H14 dotyczy obrazu pt. *Widok morza w Scheveningen*, który był pierwszym obrazem olejnym namalowanym przez van Gogha. Jest to również jedyny w kolekcji amsterdamskiej obraz z okresu haskiego artysty. Van Gogh użył podłoża papierowego, a niedługo po jego śmierci obraz został zdublowany, a następnie prawdopodobnie pokryty warstwą patyny i werniksu przez marchanda, który w ten sposób „przygotował” dzieło do sprzedaży. Celem badań było ustalenie ilości i grubości warstw werniksu, a także lokalizacji warstwy patyny niejasnego pochodzenia w strukturze obrazu oraz kwestia autentyczności sygnatury. Przeprowadzono również monitorowanie prób usuwania werniksu, w połączeniu z techniką refleksyjnej spektroskopii FTIR.

W toku badań OCT ustaliłam, że w większości badanych plam występuje jedna warstwa werniksu o grubości od około 7 do 40 mikronów. W niektórych obszarach na powierzchni znaleziono dwie warstwy lakieru. Pod wierzchnią warstwą lub warstwami werniksu znajduje się półprzezroczysta warstwa patyny, którą konserwatorzy wiążą ze znaną ze źródeł archiwalnych wtórną ingerencją, dokonaną po śmierci artysty. Okazało się jednak, że na większości tomogramów OCT pod patyną (tj. w obszarach, w których patyna jest wystarczająco cienka, aby przepuszczać promieniowanie podczerwone, stosowane w OCT) widoczna jest przejrzysta warstwa (o grubości do około 30 μm). Warstwa ta nie była widoczna pod mikroskopem; za pomocą techniki spektroskopii odbiciowej FTIR nie udało się niestety zidentyfikować jej składu. Być może jest to linoksyd utworzony przez nadmiar oleju, którego nie było w stanie zaabsorbować użyte przez van Gogha podłoża papierowe. Potwierdziłam również, że sygnatura, nietypowa na tak wczesnym dziele artysty, nie jest autentyczna, ponieważ leży na warstwie wtórnej patyny. Prawdopodobnie jest pokryta bardzo cienką warstwą werniksu. Z kolei za autorskie uznałam ciemne ostre linie o łukowatym kształcie widoczne na powierzchni; tomogramy OCT ujawniły, że zostały one wryte w farbie (są wklęsłe), pokryte patyną i wypełnione werniksem. Próba monitorowania usuwania werniksu za pomocą tomografii optycznej w połączeniu z techniką refleksyjnej spektroskopii FTIR pomogła w dopracowaniu procedury usuwania werniksu bezpiecznej dla wtórnej, lecz historycznej warstwy patyny, którą konserwatorzy zdecydowali się zachować. Widma mikro FTIR uzyskane z analizy ekstraktów z wacików użytych podczas kolejnych etapów próby nr 1 usuwania werniksu, porównane z widmem referencyjnym damary oraz widmem acetonowego ekstraktu z czystej waty bawełnianej, pozwoliły na identyfikację wierzchnich warstw werniksu jako żywicy damarowej (badania wykonała dr Patrizia Moretti). Niestety nie powiodła się próba identyfikacji składu odsłoniętej patyny za pomocą techniki spektroskopii odbiciowej FTIR.

Dokumentacja H15: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), P. Targowski, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka (pomiary i analiza numeryczna), „Examination of two paintings by P.P. Rubens and studio: *The Apotheosis of James I* and *The Wise Rule of King James I* by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation. Results obtained within MOLAB Transnational Access, Project RUBENS TCR BHW (project leader dr Constantina Vlachou-Mogire) within the EU H2020 Project IPERION CH, contract no. 654028”, UMK, Toruń 2018 zawiera wyniki badań dwóch

obrazów z monumentalnego cyklu obrazów olejnych na płótnie zlokalizowanych na suficie Whitehall Banqueting House w Londynie.

Dziewięć monumentalnych obrazów olejnych na płótnie pędzla Petera Paula Rubensa i jego pracowni zostało zainstalowanych na suficie w Sali Bankietowej niezachowanego dziś pałacu Whitehall w 1636 roku. Zleceniodawcą był król Karol I, a program artystyczny stanowić miał świadectwo chwały dynastii Stuartów poprzez apoteozę życia i osiągnięć ojca Karola, Jakuba I. Jako jedna z największych (243 m²) i najbardziej skomplikowanych prac Rubensa, która przetrwała *in-situ* prawie 400 lat, ten zespół malowideł ma niezmierną wartość artystyczną i historyczną. Budynek, w którym znajdują się malowidła jako jedyny ocalał w pożarze, który strawił olbrzymi pałac Whitehall w 1698 roku. Od czasu swego powstania obrazy były zdejmowane z sufitu co najmniej pięć razy, a poddawane różnym zabiegom co najmniej dziewięć razy. Interwencje te obejmowały zdjęcie płócien z ich oryginalnych krosien i naklejenie (maruflaż) na płyty ze sklejki na początku XX w., demontaż, rozcięcie i ewakuację paneli podczas II Wojny Światowej, szeroko zakrojoną konserwację po wojnie oraz dwie późniejsze (w latach siedemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku).

Projekt konserwatorski i ekspozycyjny przeprowadzony przez kuratora pałacu, fundację Historic Royal Palaces w 2018 r., był rzadką okazją do przeprowadzenia pierwszej w historii pełnej i systematycznej oceny technicznej zabytku, wykorzystującej szereg nieinwazyjnych metod badawczych. Celem badań, poprzedzających planowaną kompleksową konserwację i restaurację, było w szczególności określenie w jaki sposób obrazy powstawały, jaka jest ich budowa, jak zmieniały się przez lata i jaki jest ich stan zachowania. Dzięki wybudowaniu rusztowań dostęp do malowideł był możliwy między lutym a kwietniem 2018 r. Było to impulsem dla wielostronnej, międzynarodowej kampanii badawczej, prowadzonej przez mobilne laboratorium MOLAB. Jedną z wykorzystanych technik była optyczna koherencyjna tomografia OCT, obok spektroskopii odbiciowej w podczerwieni FTIR, zintegrowanej techniki spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej sprzężonej z dyfrakcją rentgenowską (XRF-XRD) oraz cyfrowej holograficznej interferometrii plamkowej (DHSPi). Pomimo pracy na platformie rusztowania, na wysokości 17 metrów nad posadzką i stosunkowo krótkiego czasu zbierania danych podczas cztero- i pół dniowej kampanii badawczej możliwe było zbadanie i zobrazowanie za pomocą OCT łącznie 90 miejsc na obrazach *Apoteoza Jakuba I* oraz *Mądre Rządy Jakuba I*.

W odniesieniu do warstw oryginalnych technika OCT pozwoliła na obrazowanie warstw laserunkowych o różnej grubości. Wyraźnie widoczna była tendencja do opracowywania ważniejszych partii kompozycyjnych (np. postaci Króla na obu obrazach) z użyciem większej ilości warstw laserunkowych niż np. partii szat aniołów, które uznano zapewne za mniej ważne. Być może przyczyną takiej różnicy w budowie technicznej warstw malarskich był również różny udział Mistrza w opracowaniu różnych postaci – należy oczywiście założyć, że portretowe przedstawienia Jakuba I wyszły spod ręki Rubensa. Warto zauważyć też, że laserunki położone w cienkich warstwach są już dziś odbarwione i wyniki obrazowania za pomocą tomografii optycznej stanowią świadectwo stanu pierwotnego.

W wyniku badań OCT stwierdziłam obecność od dwóch do pięciu warstw werniksów, w niektórych przypadkach wypełniających ubytki warstwy malarskiej. Mimo, że obrazy są ogólnie w dobrym stanie, w kilku miejscach wykryłam rozwarstwienia obecne na różnych głębokościach: pomiędzy warstwami werniksu, a także między warstwami werniksu i warstwą malarską. Rozwarstwienia te w makroskali powodują optyczne zaślepienie werniksu. Warto zauważyć, że w przypadku *Apoteozy Jakuba I* mamy

do czynienia z obydwoma rodzajami delaminacji. Dzięki analizie map rozproszenia uzyskanych z danych OCT odkryłam, że rysunek rozwarstwień na różnym poziomie w strukturze obrazów jest wyraźnie inny: te, które są zlokalizowane pomiędzy werniksami, mają kształt „pajęczyny” powielającej siatkę spękań warstwy malarskiej i werniksu, spowodowane są więc zapewne migracją pary wodnej w strukturę obrazu. Z kolei rozwarstwienia występujące na poziomie warstwy malarskiej mają formę poetek, można więc przypuścić, że przyczyną ich powstania były problemy z adhezją wtórnego werniksu do warstwy malarskiej. Na obrazie *Mądre Rzqdy* występują tylko delaminacje pomiędzy werniksami a warstwą malarską, co wynika prawdopodobnie z użycia innego werniksu w warstwie wierzchniej (ketonowego) niż na *Apoteozie* (werniks damarowy). Werniksy wierzchnie na obu obrazach zostały zidentyfikowane dzięki spektroskopii odbiciowej w podczerwieni FTIR. Na obrazie *Mądre Rzqdy Jakuba I* technika OCT pozwoliła również na potwierdzenie, które warstwy są z całą pewnością wtórne, poprzez obrazowanie układu wtórnych werniksów zalewających liczne ubytki warstwy malarskiej sięgające aż do płótna. Ustaliłam też przyczynę charakterystycznych zmian w morfologii powierzchni w niektórych miejscach: lokalne zmarszczenia występujące wyłącznie w wierzchniej warstwie werniksu, nie odwzorowujące profilu warstwy malarskiej, spowodowane zostały wysychaniem zbyt grubej warstwy werniksu. Okazało się także, że lokalne zażółcenia powierzchni występujące zwłaszcza na karnacjach spowodowane są nierównomiernym dawnym usuwaniem werniksu. Odkryłam też inne ślady dawnych restauracji, to jest np. retusze pochodzące z dawnych konserwacji zlokalizowane pomiędzy warstwami werniksu na *Apoteozie Jakuba I*. Tomografia optyczna pozwoliła mi też ocenić stopień spłaszczenia impastów w wyniku dawnych zabiegów konserwatorskich (w tym maruflażu): generalnie do spłaszczenia impastów doszło tylko na obrazie *Mądre Rzqdy*.

Reasumując, dzięki technice optycznej koherencyjnej tomografii możliwe okazało się określenie cech charakterystycznych dla poprzednich restauracji obrazów, które wpłynęły na ich obecny stan zachowania.

Wyniki badań OCT zestawione z wynikami obrazowania za pomocą skanera multispektralnego zamieszczone w dokumentacji badawczej **H16: M. Iwanicka (analiza konserwatorska), M. Sylwestrzak, P. Targowski, M. Iwanicka (pomiar i analiza numeryczna), R. Fontana, J. Striova (obrazowanie w różnych pasmach promieniowania elektromagnetycznego), “Examination of the painting *The Landsdowne Virgin of the Yarnwinder (Madonna dei Fusi)* by Leonardo da Vinci and studio by means of optical coherence tomography (OCT). Results and interpretation (extended report), UMK, Toruń 2017** zostały omówione wraz z publikacją **H2** (s. 14-15 w niniejszym dokumencie).

4.2.3. Literatura

1. Karta Ateńska. Postanowienia Konferencji w Atenach w 1931 r. [w:] Vademecum Konserwatorów Zabytków – Międzynarodowe Normy Ochrony Dziedzictwa Kultury. Biuletyn ICOMOS. Warszawa 2015, s. 27-30.
<https://www.nid.pl/upload/iblock/15f/15f3d8201c79013f37d81be7c64697f5.pdf> [dostęp: 12.02.2019]
2. Karta Wenecka. Postanowienia i Uchwały II Międzynarodowego Kongresu Architektów i Techników Zabytków w Wenecji w 1964 r. (Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji

- Zabytków i Miejsc Zabytkowych) [w:] Vademecum Konserwatorów Zabytków – Międzynarodowe Normy Ochrony Dziedzictwa Kultury. Biuletyn ICOMOS. Warszawa 1996, s. 19-28
3. Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, Konferencja Generalna UNESCO, Paryż, 21.11.1972 [w:] Vademecum Konserwatorów Zabytków – Międzynarodowe Normy Ochrony Dziedzictwa Kultury. Biuletyn ICOMOS. Warszawa 2015, s. 45-53
<https://www.nid.pl/upload/iblock/15f/15f3d8201c79013f37d81be7c64697f5.pdf> [dostęp: 12.02.2019]
 4. The Conservation-Restorer: A definition of Profession, ICOM CC (International Council of Museum Conservation Committee), Kopenhaga 1984. <http://www.icom-cc.org/47/about/definition-of-profession-1984/#.XGK9FFxKiZ8> [dostęp 10.02.2019]
 5. I. Szmelter, Współczesna teoria konserwacji i restauracji dóbr kultury. Zarys zagadnień, „Ochrona Zabytków”, 2006, nr 2, s. 5-40
 6. M. Stec, Projektowanie jako podstawa optymalizacji nakładów i usprawnienia polityki konserwatorskiej, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki”, 2000, nr 2, s. 57-61
 7. I. Szmelter, Strategia decyzyjna i projektowanie konserwatorskie na tle przeglądu teorii i doktryn konserwatorskich, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki”, 2000, nr 2, s. 61-64
 8. I. Szmelter, The Strategy of Project Decision-Making Design in Conservation Policy, (w:) 5th FRAME Conference UE , Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge, publikacja 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej, Kraków 2003, s. 200-203, www.heritage.xtd.pl
 9. B.J. Rouba, Proces ochrony dóbr kultury – pojęcia, terminologia, [w:] Materiały z konferencji „Ars longa – vita brevis – tradycyjne i nowoczesne metody badania dzieł sztuki”, pod red. J. Flika, Toruń 2003, s. 349-379
 10. B.J. Rouba, Projektowanie konserwatorskie, „Ochrona Zabytków”, 2008, nr 1, s. 57-78
 11. S. Muñoz-Viñas, Contemporary Theory of Conservation, Elsevier, Oxford 2005
 12. R. Fontana, M.C. Gambino, M. Greco, L. Marras, M. Materazzi, E. Pampaloni, A. Pelagotti, L. Pezzati, P. Poggi, C. Sanapo, 2D and 3D optical diagnostic techniques applied to ‘Madonna dei Fusi’ by Leonardo da Vinci, "Proc. of SPIE" 2005, 5857, s. 58570L-1–58570L-11
 13. F. Zöllner, Leonardo da Vinci (1452–1519). Dzieła wszystkie, Taschen, Köln 2006
 14. D. Anglos, S. Couris, C. Fotakis, Laser Diagnostics of Painted Artworks: Laser- Induced Breakdown Spectroscopy in Pigment Identification, "Applied Spectroscopy" 1997, 51 (7), s. 1025–1030
 15. I. Osticioli, M. Wolf, D. Anglos, An Optimization of Parameters for Application of a Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Microprobe for the Analysis of Works of Art, "Applied Spectroscopy" 2008, 62 (11), s. 1242–1249
 16. E.R. de la Rie, Fluorescence of paint and varnish layers, (Part III), "Studies in Conservation" 17, 1982, s. 102–108
 17. G.V. Fichera, T. Rovetta, G. Fiocco, G. Alberti, C. Invernizzi, M. Licchelli, M. Malagodi, Elemental analysis as statistical preliminary study of historical musical instruments. Microchemical Journal 2018, 137, s. 309–317
 18. G. Fiocco, T. Rovetta, M. Gulmini, A. Piccirillo, M. Licchelli, M. Malagodi, Spectroscopic analysis to characterize finishing treatments of ancient bowed string instruments. Applied Spectroscopy 2017, 71, s. 2477–2487.
 19. <http://www.iperionch.eu/molab/> [dostęp: 03.03.2019]
 20. <https://www.vangoghmuseum.nl/en/news-and-press/press-releases/van-gogh-museum-to-keep-sunflowers-in-amsterdam> [dostęp: 03.03.2019]

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1. Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Od 2003 r. jestem zaangażowana w prace interdyscyplinarnego zespołu konserwatorów z Zakładu Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej w Instytucie Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK oraz fizyków z Zespołu Optycznych Badań Strukturalnych Zakładu Biofizyki i Fizyki Medycznej Instytutu Fizyki UMK. Zespół zajmuje się badaniami dzieł sztuki za pomocą optycznej koherencyjnej tomografii. Badania te miały charakter pionierski w skali światowej. W ramach pracy magisterskiej wykonałam badania podstawowe w zakresie oceny przydatności techniki OCT do badania werniksów i warstw malarskich na próbkach modelowych. Poza dwoma przykładami, nie przedstawiono wtedy szerzej wyników badań budowy warstwowej obrazów zabytkowych. Po rozpoczęciu studiów doktoranckich kontynuowałam tę tematykę. Mój projekt został nagrodzony stypendium i grantem w programie Ventures realizowanym przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (2009-2012). W pracy badawczej skupiłam się na konserwatorskiej interpretacji badań OCT. Opracowałam klucz do interpretacji wyników obrazowania OCT na malowidłach sztalugowych: poprzez badania obszernego zestawu próbek modelowych oraz porównanie tomogramów OCT z mikrofotografiami próbek pobranych wcześniej z obrazów zabytkowych w tym samym miejscu, stworzyłam katalog obrazowania różnych wariantów budowy malowidła, z uwzględnieniem możliwych zniekształceń i artefaktów (błędów obrazowania). W drugim etapie, polegającym na implementacji techniki OCT do praktyki konserwatorskiej, zbadałam ogółem 22 obrazy zabytkowe. Wykazałam, że badania OCT pomagają zarówno w nieinwazyjnym rozpoznaniu budowy obiektu w odniesieniu do oryginalnych warstw półprzezroczystych (obrazowanie wielu warstw werniksów i laserunków), jak i, co jest nawet ważniejsze z punktu widzenia praktyki konserwatorskiej, w rozpoznaniu i ocenie nawarstwień wtórnych i efektów dawnych ingerencji konserwatorskich.

Udział naszego Zespołu w międzynarodowym projekcie badawczym w ramach 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej "CHARISMA" (Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation/Restoration) zaowocował zaproszeniem do wykonania badań OCT obiektów cennych dla światowego dziedzictwa kulturowego, m.in.: Tryptyku *Sąd Ostateczny* Hansa Memlinga w Gdańsku i *Ołtarza Baranka Mistycznego* braci van Eyck w Gandawie. Moją rolą w tych badaniach była konserwatorska interpretacja badań OCT i opracowanie ekspertyz.

Równocześnie poszerzałam wiedzę o innych nowoczesnych technikach badawczych stosowanych w badaniach obiektów dziedzictwa kulturowego, np. poprzez uczestnictwo w kursie *Training course on Spectroscopic Techniques (invasive and non invasive)*, zorganizowanym przez Microchemistry and Microscopy Art Diagnostic Laboratory (M2ADL) w Rawennie, we Włoszech w 2010 r. oraz aktywny udział w 9 międzynarodowych i 5 krajowych konferencjach naukowych.

5.2. Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora w dziedzinie nauk o sztuce w 2013 roku kontynuowałam pracę badawczą w międzynarodowym projekcie badawczym CHARISMA (zakończonym w 2014 r.). W ramach tego projektu wykonałam ekspertyzy ze zrealizowanych we Florencji badań obrazów: *Madonna z wrzecionem* Leonarda da Vinci, *La Muta* Raffaella Santięgo oraz z wcześniej wykonanych w Gandawie badań *Ołtarza Baranka Mistycznego* braci van Eyck.

Od 2015 r. pracuję w międzynarodowym projekcie „IPERION CH (Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage)” realizowanym w ramach Programu Ramowego Horyzont 2020 Unii Europejskiej. W tym projekcie uczestniczyłam w pracy mobilnego laboratorium MOLAB, oferującego nieodpłatne badania dzieł sztuki *in situ* w systemie grantowym. W ramach MOLABu wykonałam badania wraz z dokumentacjami wyników dla następujących obiektów: w Muzeum van Gogha w Amsterdamie: *Słoneczniki* Vincenta van Gogha, *Kongregacja opuszczająca kościół w Nuenen* Vincenta van Gogha, *Widok morza w Scheveningen* Vincenta van Gogha, dwa monumentalne malowidła z pracowni Petera Paula Rubensa na suficie Whitehall Banqueting House w Londynie, zespół pięciu pastelii przedstawiających portrety członków rodziny króla Ludwika XIV w Wersalu, dwa secesyjne witraże w oknach Casa-Museu Dr. Anastácio Gonçalves w Lizbonie. W ramach projektu IPERION brałam również udział w pracach międzynarodowego zespołu d.s. rozwoju nowoczesnej diagnostyki wspierającej oczyszczanie obrazów sztalugowych. Był to duży podprojekt (WP 7.1a: *Diagnostic strategies for assessing the cleaning of paintings*), obejmujący badania za pomocą wielu technik instrumentalnych zarówno niszczących (mikroskopia optyczna i SEM-EDX na przekrojach, mikroskopia FTIR, spektroskopia mikro-FTIR, GC-MS, LIF), jak i nieniszczących (spektroskopia odbiciowa FTIR, kolorymetria, mikroprofilometria, NMR, mikroskopia cyfrowa 3D, obrazowanie multispektralne). Badanymi obiektami były trzy obrazy sztalugowe pochodzące ze zbiorów Rijksmuseum oraz RCE (Agencja Dziedzictwa Kulturowego Niderlandów) w Amsterdamie, wytypowane ze względu na zróżnicowane problemy konserwatorskie. Badania OCT i XRF wykonywane były na kilku etapach oczyszczania (zarówno tradycyjnego, rozpuszczalnikami nanoszonymi wacikami, jak i za pomocą innowacyjnych żeli czyszczących i ablacji laserowej). Mój wkład w ten projekt polegał na opracowaniu metodologii monitorowania oczyszczania obrazów za pomocą OCT, na wykonywaniu i obróbce badań OCT oraz makro XRF oraz na opracowaniu ekspertyz z badań (por. Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych – zał. 4. do wniosku habilitacyjnego, punkt II.F.3). Zintegrowane wyniki badań wykonane za pomocą wielu technik zostały zaprezentowane (z moim aktywnym udziałem) na specjalnie temu celowi poświęconej konferencji w Amsterdamie “New strategies for diagnostics of conservation treatments” w lutym 2019 r. i wkrótce zostaną opublikowane. Dodatkowo brałam udział w pomiarach OCT warstw na obiektach modelowych i opracowywaniu ekspertyz w podprojektach WP7.1b (*Diagnostic strategies for assessment of treatments, patina and coatings of metals*) oraz WP6 (*Innovative instruments and methods for integrated approaches to CH analysis and diagnostics*).

W 2013 roku nasz interdyscyplinarny zespół otrzymał wsparcie w postaci nowego laboratorium w Interdyscyplinarnym Centrum Nowych Technologii UMK, dla którego udało się pozyskać jeden z pierwszych prototypów wielkoformatowego skanera XRF M6 JetStream firmy Bruker. Był to wówczas jedyny taki instrument w Polsce. Umożliwia on wykonywanie map występowania pierwiastków chemicznych (o liczbach atomowych większych niż 15(P)) o wymiarach do 70 x 55 cm i z submilimetrową rozdzielczością. Jest to narzędzie bardzo przydatne do bezinwazyjnej, szybkiej oceny stanu zachowania obiektu, lokalizacji interwencji konserwatorskich oraz w szeregu przypadkach do datowania obiektu. Od początku moim zadaniem była obróbka widm XRF oraz interpretacja konserwatorska uzyskiwanych map, a z czasem również wykonywanie pomiarów.

W latach 2016-18 brałam udział w projekcie Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki: „Dziedzictwo kulturowe – poszukiwanie nowoczesnych środków i metod konserwacji drewna zabytkowego”, który był realizowany w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK we współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu (kierownik projektu: prof. dr hab. Bartłomiej Mazela) i dotyczył podjęcia prób wprowadzenia do praktyki konsolidacji drewna

zabytkowego preparatów opartych na związkach krzemoorganicznych i nanocelulozie. Mój udział w projekcie polegał na ocenie zmian powierzchni próbek drewna nasączonego testowanymi preparatami w skutek różnego pęcznienia materiału. Tomografia optyczna OCT została w tym celu wykorzystana jako narzędzie profilometryczne - wyniki oceniano na profilach powierzchni oraz na modelach 3D (por. Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych – zał. 4. do wniosku habilitacyjnego, punkt II.F.4).

W 2017 r. wykonałam badania do grantu Narodowego Centrum Nauki „Wpływ polimerów na stan zachowania malowideł ściennych w Polsce oraz możliwość ich usuwania przy zastosowaniu nanoemulsji” realizowanego przez Akademię Sztuk Pięknych w Krakowie (kierownik projektu: dr hab. Zofia Kaszowska). Wykonałam badania OCT wraz z pomiarem grubości warstw dwóch zestawów próbek modelowych symulujących dawne powłoki konserwatorskie spotykane na malowidłach ściennych na terenie Polski (por. Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych – zał. 4. do wniosku habilitacyjnego, punkt II.F.4).

W tym samym roku brałam udział w badaniach w ramach grantu NCN „Warsztat Szymona Czechowicza (1689-1775). Materiały malarskie i technika w twórczości artysty” (kierownik projektu: dr Ewa Doleżyńska-Sewerniak). Wykonałam badania OCT oraz makro XRF trzech obrazów Szymona Czechowicza (por. Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych – zał. 4. do wniosku habilitacyjnego, punkt II.F.4).

Od 2014 r. prowadzę badania obrazów sztalugowych, rzeźb polichromowanych i malowideł ściennych konserwowanych w ramach prac studenckich w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej w Instytucie Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK. Nadzoruję pobieranie próbek do badań mikroskopowych, wykonuję analizy techniką mikroskopii fluorescencyjnej UV-VIS, w przypadku części obiektów w połączeniu z obrazowaniem makro XRF i OCT, a także nadzoruję powstawanie studenckich dokumentacji badań specjalistycznych. W ciągu tego czasu opracowałam kilkadziesiąt ekspertyz z badań OCT i/lub makroXRF, które stanowią załączniki do studenckich dokumentacji konserwatorskich (służących powstawaniu projektów konserwatorskich i przekazywanych właścicielom obiektów), a także do prac magisterskich, wykonywanych w innych Zakładach w naszym Instytucie (por. Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych – zał. 4. do wniosku habilitacyjnego, punkt II.F.2). Sprawowałam też w 2015 r. nadzór nad studenckimi ćwiczeniami terenowymi, polegającymi na wykonaniu kompleksowych badań i projektu konserwatorskiego dla secesyjnych malowideł na klatce schodowej toruńskiej kamienicy przy ul. Marii Konopnickiej 24.

Od marca 2019 r. jestem członkinią jednego z priorytetowych zespołów badawczych, które wyłoniono w konkursie ogłoszonym w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w ramach projektu „Strategia doskonałości – uczelnia badawcza”. Nagrodzony zespół nosi nazwę: *Interdisciplinary Team for Research, Conservation and Restoration of the Cultural Heritage at NCU*, a jego liderami są: prof. dr hab. Elżbieta Basiul, prof. dr hab. Tomasz Ważny oraz prof. dr hab. Piotr Targowski.

Od czasu uzyskania stopnia doktora brałam udział czynny udział w 8 konferencjach międzynarodowych oraz 3 krajowych, podczas których zaprezentowałam 11 ustnych referatów i 2 postery.