

Załącznik 2

Autoreferat

Fizyczna odpowiedź drewna
polichromowanego na fluktuacje
parametrów środowiska

Dr Łukasz Bratasz

SPIS TREŚCI:

Spis treści:	2
1. Życiorys	4
2. Stopnie naukowe	5
3. Obszar badań	5
4. Informacje o dotychczasowym przebiegu kariery zawodowej	6
5. Omówienie jednotematycznego cyklu prac wchodzących w zakres habilitacji	7
5.1. Lista publikacji będących podstawą przewodu habilitacyjnego wraz z analizą bibliometryczną	7
5.2. Omówienie celu naukowego prac wchodzących w zakres habilitacji, osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania.....	9
5.2.1. Wprowadzenie	9
5.2.2. Cel naukowy prezentowanych prac	11
5.2.3. Wyznaczenie właściwości materiałowych potrzebnych do modelowania transportu pary wodnej oraz przestrzennego rozkładu odkształcenia i naprężenia w drewnie polichromowanym.....	13
5.2.4. Analiza czasowa odpowiedzi modelowych obiektów drewna polichromowanego na zmiany parametrów środowiska	17
5.2.5. Doświadczalna weryfikacja odpowiedzi strukturalnej obiektów drewna polichromowanego na zmiany parametrów środowiska	23
5.2.6. Wykorzystanie wyników badań wchodzących w zakres habilitacji	26
5.2.7. Syntetyczne opracowanie obecnego stanu wiedzy o dopuszczalnych fluktuacjach parametrów środowiska dla drewna polichromowanego	29
5.2.8. Literatura.....	30
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i organizacyjnych.....	31
6.1. Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora.....	31
6.2. Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora.....	33
6.3. Rozwój Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań Obiektów Zabytkowych Muzeum Narodowego w Krakowie.....	38
6.4. Działalność na rzecz wzmocnienia obszaru badań nad dziedzictwem kultury w Polsce	41
6.5. Działalność w zakresie normalizacji	41
6.6. Członkostwo zespołów eksperckich i towarzystw naukowych	42
7. Szczegółowa lista osiągnięć.....	43
7.1. Lista publikacji (po doktoracie).....	43
7.2. Udział w projektach badawczych.....	48
7.3. Ustne wystąpienia konferencyjne	51
7.4. Opinie naukowe i praktyczne projekty konserwatorskie	57

7.5.	Dydaktyka	58
7.6.	Nagrody i wyróżnienia	58
7.7.	Upowszechnianie osiągnięć badawczych	58

1. ŻYCIORYS

Imię i nazwisko: Łukasz Bratasz
Data urodzenia: 29 stycznia 1972
Miejsce urodzenia: Kraków

Podstawowe miejsce

zatrudnienia: Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni
im. Jerzego Habera, Polskiej Akademii Nauk
ul. Niezapominajek 8, 30-239 Kraków

Dodatkowe miejsce

zatrudnienia: Muzeum Narodowe w Krakowie
al. 3-go Maja 1, 30-062 Kraków

telefon: 12 639 51 19

email: ncbratas@cyf-kr.edu.pl

2. STOPNIE NAUKOWE

1996 – magister fizyki: Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki,
Uniwersytetu Jagiellońskiego

2002 – doktor nauk fizycznych: Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki,
Uniwersytetu Jagiellońskiego

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Badanie stałych atomowych metodą mieszania czterech fal w plazmie łukowej”

3. OBSZAR BADAŃ

dziedziny badań: *Fizyka* - spektroskopia atomowa, źródła plazmowe, laserowa diagnostyka plazmy, nieliniowa optyka, budowa laserów.

Badania nad dziedzictwem kultury – fizyczne metody nieinwazyjnego badania i monitorowania obiektów muzealnych, modelowanie naprężeń i odkształceń w materiałach spowodowanych oddziaływaniem czynników środowiska, środowisko w muzeach i obiektach zabytkowych, wpływ globalnej zmiany klimatu na dziedzictwo kultury, zastosowanie metod fizycznych w praktycznej ochronie dziedzictwa kultury.

główne techniki badawcze: zdegenerowane mieszanie czterech fal, spektroskopia atomowa, sorpcja pary wodnej, obrazowanie hiperspektralne, emisja akustyczna, wibrometria laserowa, interferometria plamkowa, monitorowanie *in situ* parametrów mikroklimatu i odpowiedzi materiałów w budowlach zabytkowych, techniki światłowodowe fluorescencja rentgenowska, obrazowanie rentgenowskie, tomografia komputerowa, obrazowanie przepływu wody techniką NMR.

4. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM PRZEBIEGU KARIERY ZAWODOWEJ

1996-1997	asystent w Zakładzie Optyki Atomowej, Instytutu Fizyki, Uniwersytetu Jagiellońskiego
1997 - 2002	studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego
1999	sześciomiesięczne stypendium w National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA
2002-2011	adiunkt w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera, Polskiej Akademii Nauk
od 2011	asystent w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera, Polskiej Akademii Nauk
od 2007	starszy specjalista w Muzeum Narodowym w Krakowie
od 2013	kierownik laboratorium fizykochemicznego Muzeum Narodowego w Krakowie

5. OMÓWIENIE JEDNOTEMATYCZNEGO CYKLU PRAC WCHODZĄCYCH W ZAKRES HABILITACJI - wynikającego z 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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

5.1. LISTA PUBLIKACJI BĘDĄCYCH PODSTAWĄ PRZEWODU HABILITACYJNEGO WRAZ Z ANALIZĄ BIBLIOMETRYCZNĄ

Nr	Publikacja	IF (pięcioletni)	Udział [%]
1	S. Jakięła, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Acoustic emission for tracing the evolution of damage in wooden objects”, <i>Studies in Conservation</i> , 52, 101-109, 2007.	0,456	50%
2	Ł. Bratasz, R. Kozłowski, D. Camuffo, E. Pagan, „Impact of indoor heating on painted wood: monitoring the altarpiece in the church of Santa Maria Maddalena in Rocca Pietore, Italy”, <i>Studies in Conservation</i> , 52, 199-210, 2007.	0,456	70%
3	S. Jakięła, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Numerical modelling of moisture movement and related stress field in lime wood subjected to changing climate conditions”, <i>Wood Science and Technology</i> , 42, 21-37, 2008.	1,817	50%
4	S. Jakięła, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Acoustic emission for tracing fracture intensity in lime wood due to climatic variations”, <i>Wood Science and Technology</i> , 42, 269-279, 2008.	1,817	50%
5	Ł. Bratasz, „Acceptable and non-acceptable microclimate variability: the case of wood”, in: <i>Basic Environmental Mechanisms Affecting Cultural Heritage</i> , Nardini Editore, Florencja, 49-58, 2010.	rozdział w monografii	100%
6	R. Kozłowski, Ł. Bratasz, Ł. Lasyk, M. Łukomski „Allowable microclimatic variations for painted wood: direct tracing of damage development”,	artykuł w recenzowanych materiałach	60%

	Postprints of Symposium „Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training”, eds. A.S. Chui, A. Phenix, Getty Conservation Institute, Los Angeles, 158-164, 2011.	konferencyjnych*	
7	Ł. Bratasz, A. Kozłowska, R. Kozłowski, „Analysis of water adsorption by wood using the Guggenheim-Andersen-de Boer equation”, <i>European Journal of Wood Products</i> , 70, 445-451, 2012.	0,630	70%
8	B. Rachwał, Ł. Bratasz, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Response of wood supports in panel paintings subjected to changing climate conditions”, <i>Strain</i> , 48, 366-374, 2012	1,473	60%
9	B. Rachwał, Ł. Bratasz, L. Krzemień, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Fatigue damage of the gesso layer in panel paintings subjected to changing climate conditions”, <i>Strain</i> , 48, 474-481, 2012	1,473	60%
10	Ł. Bratasz, I. Harris, Ł. Lasyk, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Future climate-induced pressures on painted wood”, <i>Journal of Cultural Heritage</i> , 13, 365-370, 2012	1,366	60%
11	Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations for painted wood”, <i>Studies in Conservation</i> , 58, 65-79, 2013.	0,456	100%

Sumaryczny *Impact Factor*, średnia z lat 2007-2011 (wszystkie publikacje) 18,17.

Sumaryczny *Impact Factor* średnia z lat 2007-2011 (publikacje w cyklu habilitacyjnym) 9,94.

Sumaryczna liczba cytowań z dnia 20.05.2013 r. (wszystkie publikacje) 75.

Indeks Hirscha 5.

Relatywnie niski *Impact Factor* czasopism publikujących wyniki badań nauk ścisłych wspierających ochronę dziedzictwa kultury wynika z nieporównanie mniejszego potencjału badawczego i niewielkich nakładów finansowych w tej dziedzinie, w porównaniu z klasycznymi działami fizyki, chemii, czy nauki o materiałach. Wystarczy powiedzieć, że tylko 2 czasopisma z tego obszaru badawczego objęte są Journal Citation Reports Thomsona Reutersa: *Studies in Conservation* (IF 0,456) i *Journal of Cultural*

Heritage (IF 1,366), a relatywnie niskie nakłady są powodem niskich wskaźników oddziaływania tych pism. Niemniej poziom naukowy wydawanych od 50 lat *Studies in Conservation* jest bardzo wysoki, prace są poddawane rygorystycznym recenzjom i redakcji, a ich oddziaływanie na standardy i politykę ochrony dziedzictwa jest znaczące. Niskie wskaźniki oddziaływania wynikają także z faktu, że adresatami publikacji są konserwatorzy, których ścieżka kariery skupia się na dokonaniach artystycznych, i nie jest związana z publikowaniem w czasopiśmie naukowych.

*/ Niezwykle istotnym, a często ważniejszym od typowych publikacji naukowych narzędziem komunikacji badaczy z zakresu nauk ścisłych ze środowiskiem konserwatorskim są recenzowane i starannie redagowane materiały konferencji Komitetu Konserwacji Międzynarodowej Rady Muzeów ICOM, Międzynarodowego Instytutu Konserwacji w Londynie oraz Instytutu Konserwacji Getty'ego w Los Angeles. Publikowałem w materiałach wszystkich trzech konferencji (patrz spis moich publikacji), a w cyklu prac będących podstawą przewodu habilitacyjnego zamieszczam jedną publikację tego rodzaju [H6].

5.2. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC WCHODZĄCYCH W ZAKRES HABILITACJI, OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW ORAZ ICH WYKORZYSTANIA

5.2.1. WPROWADZENIE

Podjęte przeze mnie badania naukowe dotyczą zastosowania metod i technik fizyki stosowanej do rozwiązania jednego z najważniejszych interdyscyplinarnych problemów z obszaru ochrony dziedzictwa kultury, nierozwiązanego w skali międzynarodowej - wyznaczenia krytycznych fluktuacji środowiska powodujących pękanie drewna polichromowanego.

Drewniane obiekty polichromowane są złożonymi wielowarstwowymi strukturami wykonanymi z materiałów higroskopijnych - drewna, kleju zwierzęcego, zaprawy klejowej i farb, które reagują wymiarowo na zmiany wilgotności względnej i temperatury w ich otoczeniu. Wszystkie materiały występujące w drewnianych obiektach polichromowanych wykazują rozszerzalność wilgotnościową tzn. pęcznią, gdy adsorbują parę wodną i kurczą się gdy ją desorbują. Istotne jest jednak, że każdy materiał inaczej reaguje metrycznie na adsorpcję lub desorpcję pary wodnej. Ustalono, że różnica w odpowiedzi warstwy zaprawy klejowej, stosowanej jako warstwa gruntowa na drewnie, i swobodnej odpowiedzi drewnianego podłoża, zwłaszcza w najbardziej niestabilnym wymiarowo kierunku stycznym drewna, stwarza największe zagrożenie całej warstwy malarskiej spękaniem: w trakcie wysychania,

skurcz drewna jest znacznie większy niż słabiej odpowiadającej warstwy zaprawy, co powoduje jej ściskanie, natomiast podczas pęcznienia drewna warstwa zaprawy doznaje naprężeń rozciągających. Jeżeli odkształcenie podłoża drewnianego jest większe niż odkształcenie krytyczne warstwy zaprawy, to może ona pękać lub się odspajać.

Naprężenia generowane w materiale przez zmiany wilgotności względnej nie ograniczają się tylko do warstwy malarskiej. W drewnianym podłożu również mogą wystąpić naprężenia w przypadku nałożenia więzów na jego ruch przez sztywną konstrukcję lub przez połączenie elementów drewnianych o różnej orientacji kierunków anatomicznych. Ograniczenie swobodnej odpowiedzi drewna może spowodować jego deformację i pękanie, a w konsekwencji pękanie i odspajanie się warstwy malarskiej.

Rozpowszechniony w środowisku muzealnym pogląd, że stabilny klimat zabezpiecza drewno polichromowane przed powstaniem uszkodzeń, wynikał z obserwacji praktycznych. Jednak stosunkowo niedawno podjęto systematyczne badania naukowe dwóch kluczowych zagadnień: odpowiedzi wymiarowej obiektów na zmiany temperatury i wilgotności względnej, oraz krytycznych poziomów odkształceń, w których materiały zaczynają odkształcać się plastycznie lub niszczyć fizycznie (Mecklenburg, Tumosa i Erhardt, 1998).

Badacze ci zaproponowali, aby jako kryterium zagrożenia uszkodzeniem przyjąć granicę odkształcenia sprężystego drewna lub zaprawy. Oznacza to, że dopuszczalne wahania temperatury i wilgotności względnej nie mogą powodować odkształceń drewna czy warstwy zaprawy wykraczających poza obszar sprężysty tak, aby materiały te pozostawały w obszarze zmian odwracalnych. Tak zdefiniowane kryterium zagrożenia pozwoliło na określenie zakresu dopuszczalnych zmian tych parametrów, biorąc pod uwagę ich wielkość i poziom początkowy.

Alternatywne podejście do ustalenia kryteriów kontroli środowiska oparto o koncepcję "aklimatyzacji" drewnianych obiektów polichromowanych do warunków środowiska, w których były przechowywane przez dłuższy czas. Michalski (2009) zaproponował pojęcie "fluktuacji dowiedzionej" rozumianej jako spektrum największych wahań wilgotności względnej lub temperatury, na które obiekt był narażony w przeszłości. Przyjęto, że zagrożenie nowymi uszkodzeniami fizycznymi, poza tymi, które pojawiły się w przeszłości, jest bardzo niskie, o ile obecne fluktuacje parametrów środowiska nie są większe od „fluktuacji dowiedzionych”. Koncepcja fluktuacji dowiedzionej eliminuje potrzebę skomplikowanych obliczeń mechanicznej odpowiedzi obiektów i pozwala na ocenę zagrożeń opartą tylko na historycznych

danych środowiskowych. Koncepcja aklimatyzacji została bezpośrednio wykorzystana w międzynarodowych normach dotyczących kontroli warunków środowiska we wnętrzach zapewniających odpowiednią ochronę wrażliwych obiektów zabytkowych (UNI 10969, 2002, PN-EN 15757, 2012). Należy podkreślić, że brak szkodliwości zastanych warunków środowiska jest kluczowym założeniem tego podejścia. Założenie to należy dokładnie sprawdzić w każdym przypadku, ponieważ uszkodzenia fizyczne mogą mieć charakter kumulacyjny/zmęczeniowy, a nie katastroficzny, stąd nawet zmienność warunków, która nie przekracza historycznych wartości, może stanowić zagrożenie.

5.2.2. CEL NAUKOWY PREZENTOWANYCH PRAC

Prace badawcze zrealizowane przeze mnie w ciągu ostatnich 10 lat, miały na celu pogłębione zrozumienie fizycznej odpowiedzi drewna polichromowanego, jako złożonego, wielowarstwowego układu, na fluktuacje parametrów środowiska i wyznaczenie wartości krytycznych fluktuacji, które powodują uszkodzenie obiektu. Objęły one:

- analizę zależności czasowych odpowiedzi polichromowanego drewna na zmiany wilgotności względnej i temperatury, aspektu do tej pory całkowicie zaniebanego, poprzez modelowanie procesów transportu pary wodnej oraz przestrzennego rozkładu odkształcenia i naprężenia wewnątrz drewnianych elementów polichromowanych przy użyciu techniki obliczeniowej elementów skończonych
- określenie doświadczalne właściwości materiałów występujących w drewnie polichromowanym: sorpcji pary wodnej, rozszerzalności wilgotnościowej, dyfuzji pary wodnej i współczynników emisji powierzchniowej, zależności naprężenie-odkształcenie, potrzebnych do precyzyjnego modelowania czasowego przebiegu odkształcenia obiektów
- uściślenie kryterium zagrożenia przez analizę odpowiedzi złożonego i sprzężonego mechanicznie układu - drewnianego podłoża pokrytego wielopowłokową strukturą materiałów tworzącą warstwę malarską, zamiast uproszczonej analizy odpowiedzi poszczególnych warstw układu jaką dotychczas stosowano
- uwzględnienie podatności warstwy malarskiej na uszkodzenia zmęczeniowe - wynikające z efektów kumulacyjnych, gdyż ciągła kumulacja drobnych zmian, a nie

rzadko występujące poważne zagrożenia, stanowi główną przyczynę uszkodzeń badanego układu.

Przeprowadzone analizy były oparte o metody i teorie fizyczne obejmujące:

- trzyparametrowe równanie sorpcji Guggenheima–Andersena–de Boera
- hipotezę podobieństw Peralty i Bangiego do modelowania histerezy sorpcji
- równania dyfuzji z zależnym od zawartości wody, temperatury i gęstości drewna współczynnikiem dyfuzji, dyskretyzowane przy wykorzystaniu metody ważonych residuów w formalizmie Galerkina. Równania te były rozwiązywane metodą Newtona–Raphsona.
- poprawkę na prężność pary wodnej wynikającą z zależności zawartości wody w drewnie od zmian temperatury, zakładając przemianę izochoryczną wewnątrz komórki drewna
- model sprężystych oddziaływań mechanicznych przy założeniu odpowiedzi metrycznej drewna w postaci trzyparametrowej funkcji Hilla
- algorytmy korelacji obrazu interferogramów plamkowych do wyznaczania krytycznych odkształceń zmęczeniowych dla warstwy malarskiej w testach mechanicznych.

Z drugiej strony, zastosowałem pomiar emisji akustycznej jako metodę bezpośredniego eksperymentalnego monitorowania powstawania uszkodzeń fizycznych wywołanych niestabilnością parametrów środowiska. Metoda ta polega na ciągłym monitorowaniu energii uwalnianej w postaci fal ultradźwiękowych podczas procesów pękania w materiałach. Metoda emisji akustycznej jest nieinwazyjna i umożliwia pracę w rzeczywistych warunkach ekspozycji obiektów. Opracowana przeze mnie metodyka pomiaru pozwoliła zastąpić klasyczny pomiar parametrów środowiska oddziałującego na obiekt, przez bezpośrednią i ciągłą rejestrację oraz falkową analizę częstotliwościową sygnałów związanych z uszkodzeniem obiektu, które można uznać za wskaźniki zniszczenia. Wykorzystanie metody emisji akustycznej otworzyło nową perspektywę naukowego podejścia do kontroli bezpieczeństwa obiektów z drewna polichromowanego w muzeach i budynkach zabytkowych.

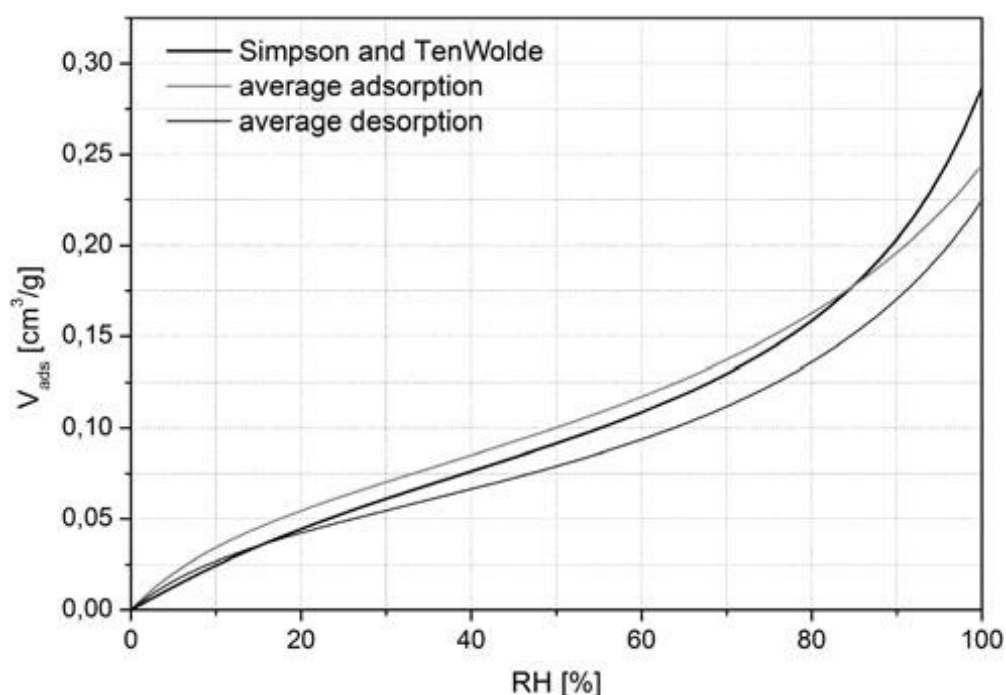
Aby przedstawić główne osiągnięcia mojej pracy badawczej, wybrałem jednorodny cykl publikacji „Fizyczna odpowiedź drewna polichromowanego na fluktuacje parametrów środowiska”, do którego weszło 11 najbardziej reprezentatywnych prac

z mojego całego dorobku publikacyjnego. Wyniki badań, powstałe koncepcje i oraz ich wykorzystanie opisałem zwięźle poniżej.

5.2.3. WYZNACZENIE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWYCH POTRZEBNYCH DO MODELOWANIA TRANSPORTU PARY WODNEJ ORAZ PRZESTRZENNEGO ROZKŁADU ODKSZTAŁCENIA I NAPRĘŻENIA W DREWNI POLICHROMOWANYM

Badania właściwości materiałowych potrzebnych do modelowania objęły: sorpcję pary wodnej, rozszerzalność wilgotnościową, współczynniki dyfuzji pary wodnej, współczynniki powierzchniowej emisji pary wodnej, oraz właściwości mechaniczne: zależności naprężenie-odkształcenie, współczynniki Younga i Poissona, oraz funkcje zmęczeniowe. Szczegółowe informacje na temat metodyki pomiarowej oraz zmierzonych parametrów zawarte są w pracach **H3, H6-H9**. Działając w obszarze badań stosowanych musiałem wziąć pod uwagę znaczną różnorodność materiałów występujących w obiektach dziedzictwa kultury (na przykład gatunków drewna) oraz różnorodność warunków środowiska (temperatury, wilgotności względnej, szybkości przepływu powietrza) jakie mogą wystąpić w otoczeniu modelowanych obiektów.

Dobrym przykładem złożoności badań było wyznaczenie izoterm sorpcji wody dla reprezentatywnej liczby gatunków drewna najczęściej występujących w obiektach dziedzictwa kultury. Po raz pierwszy w nauce przeprowadziłem pomiary sorpcji pary wodnej dla 21 historycznie ważnych gatunków drewna stosowanych w przeszłości w obiektach sztuki użytkowej i dekoracyjnej oraz malarstwie tablicowym i rzeźbie [H7]. W zakresie od 0% do 90% wilgotności względnej zależności między ilością zaadsorbowanej wody a wilgotnością względną opisuje izoterma o kształcie sigmoidalnym typu II według klasyfikacji IUPAC z 1985 roku. Wskazuje ona na wielowarstwową sorpcję fizyczną, w której grubość warstwy zaadsorbowanej na powierzchni stopniowo wzrasta ze wzrostem ciśnienie pary wodnej aż do osiągnięcia ciśnienia nasycenia. Do analizy sorpcji fizycznej pary wodnej w drewnie użyłem trzyparametrowego równania Guggenheima-Andersena-de Boera (GAB), które umożliwia opis pełnego kształtu izotermy typu II i otrzymanie parametrów o jasnym sensie fizycznym takich jak pojemność monowarstwy i stała energetyczna związana z molowym ciepłem adsorpcji. Równania tego użyłem także do określenia średniej izotermy adsorpcji i desorpcji dla całego zbioru danych zmierzonych dla 21 gatunków drewna (il. 1).

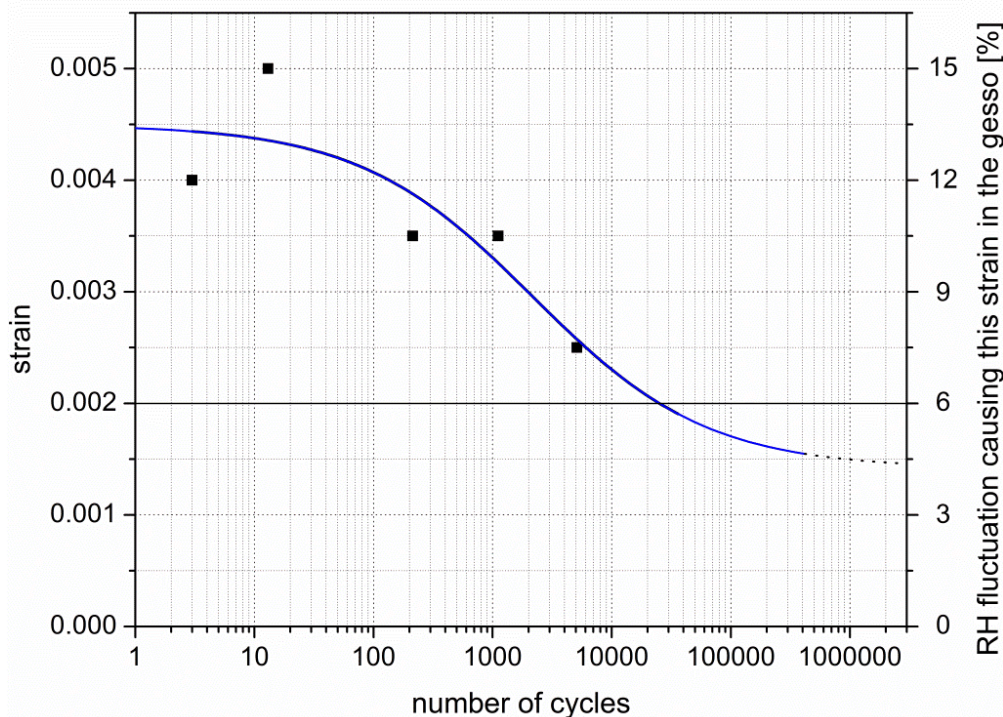


Ilustracja 1. Średnia izoterma adsorpcji i desorpcji pary wodnej obliczona z równania GAB przy użyciu parametrów uzyskanych dla całego zbioru danych adsorpcji i desorpcji dla 21 gatunków drewna ważnych dla dziedzictwa kultury. Dla porównania zamieszczono "ogólną" krzywą adsorpcji zaproponowaną przez Simpsona i TenWolde (1999) używaną powszechnie w nauce o drewnie.

Badania pokazały, że sorpcja pary wodnej jest stosunkowo mało zmienna dla różnych gatunków drewna odzwierciedlając podobny skład chemiczny tego materiału. Dla większości zastosowań praktycznych, sorpcję pary wodnej przez drewno może przybliżyć izoterma (adsorpcji i desorpcji) średnia, która w pierwszym przybliżeniu stosuje się dla wszystkich gatunków drewna tworzących obiekty dziedzictwa.

Krzywa zmęczeniowa zaprawy klejowej, stosowanej jako warstwa gruntowa na drewnie, jest z kolei przykładem wyznaczonego w moich pracach kluczowego parametru mechanicznego opisującego zagrożenie warstwy malarskiej spękaniem [H6]. Zaprawę klejową wytwarza się przez zmieszanie kleju zwierzęcego z gipsem lub kredą. Objętościowy stosunek wypełniacza do kleju ma kardynalny wpływ na właściwości mechaniczne i odpowiedź wymiarową zaprawy. Dla wysokich zawartości wypełniacza, powszechnie stosowanych w przeszłości, otrzymywano wytrzymałe, ale miękkie zaprawy o małej odpowiedzi wymiarowej na zmiany wilgotności względnej otoczenia. Dlatego, jak wspomniano we wstępie, różnica w odpowiedzi zaprawy i swobodnej odpowiedzi drewnianego podłoża, stwarza największe zagrożenie warstwy malarskiej spękaniem.

Mecklenburg, Tumosa i Erhard (1998) zaproponowali, aby podobnie jak dla drewna, odkształcenie odpowiadające granicy zakresu sprężystego – wyznaczone eksperymentalnie na 0,002 – przyjąć za kryterium zagrożenia warstwy zaprawy uszkodzeniem. Należy przypomnieć, że odkształcenie to wyznacza się poddając próbkę jednemu cyklowi obciążającemu i określając zakresy odkształceń sprężystych (odwracalnych) i plastycznych, dla których materiał zaczyna się odkształcać nieodwracalnie. W moich badaniach, kryterium zagrożenia uszkodzeniem rozwinąłem przez uwzględnienie uszkodzeń zmęczeniowych powodowanych przez wielokrotne cykle odkształceń. Próbki drewna pokrytego warstwą zaprawy poddawano powtarzającym się cyklom mechanicznego rozciągania naśladującego swobodną odpowiedź wymiarową drewna wywołaną przez wahania wilgotności względnej. Ze względu na bardzo niewielki rozmiar powstających pęknięć, rzędu mikrometrów, rejestracja rozwoju uszkodzeń wymagała zastosowania wysokoczułej i odpowiednio powtarzalnej metody. W tym celu zaprojektowano i skonstruowano interferometr plamkowy, który monitorował powstawanie i narastanie pęknięć w warstwie zaprawy pracując w trybie korelacji obrazu plamkowego. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie krzywej zmęczeniowej S-N, gdzie S jest odkształceniem prowadzącym do pęknięcia po liczbie N cykli (il. 2). Warto dodać, że stworzony algorytm analizy sygnału opracowanego interferometru sprzężonego z generatorami fal dźwiękowych wzbudzających drgania powierzchni stał się przedmiotem publikacji niebędącej podstawą niniejszego postępowania. Pozwalał na mapowanie i śledzenie rozwoju odspojień warstwy malarskiej – typowych uszkodzeń obrazów – zarówno w laboratorium jak i w warunkach rzeczywistej ekspozycji obiektów w muzeum czy zabytkowym wnętrzu.



Ilustracja 2. Odształcenie i odpowiadająca mu amplituda zmiany wilgotności względnej, prowadzące do pęknięcia warstwy zaprawy w funkcji liczby cykli odształcenia. Do obliczenia amplitudy zmiany wilgotności względnej przyjęto najbardziej odpowiadający metrycznie, styczny kierunek drewna oraz założono, że zmiana ta powoduje pełną odpowiedź podłoża drewnianego. Amplitudę zmiany wilgotności względnej obliczono przyjmując poziom początkowy wilgotności względnej wynoszący 50%.

Ogólny kształt krzywej zmęczeniowej jest sigmoidalny, zaczyna się ona od odształcenia powodującego pęknięcie w jednym lub kilku cyklach i spada do plateau, gdy powtarzane odształcenia nie powodują uszkodzenia materiału nawet dla nieskończonej liczby cykli. Odształcenie 0,002 uznano za bliskie tej wartości w kontekście praktycznej oceny zagrożeń, ponieważ tej wielkości odształcenie nie powoduje pęknięcia warstwy zaprawy nawet dla bardzo dużej liczby 30 000 cykli, równoważnych około 100 latom dobowych cykli odształcenia. Zmęczeniowe kryterium pęknięcia wyznaczone eksperymentalnie jest bliskie kryterium granicy zakresu sprężystego wyznaczonego w jednym cyklu obciążeniowym. Jest to wynik zgodny z teoretycznymi oczekiwaniami, gdyż kumulacja zniszczenia jest możliwa tylko w przypadku istnienia, co najmniej lokalnie, odształceń plastycznych.

Innym szczególnym osiągnięciem badań materiałowych był pomiar współczynnika Poissona dla zaprawy klejowej, niedostępnego dotychczas w literaturze [H9]. Pomiaru dokonano przy pomocy interferometru plamkowego dla szerokiego zakresu wilgotności względnej od 25 do 65%. Próbki zaprawy poddawano ścisaniu w krokach odkształcenia wynoszących 0,0015 określając odkształcenie poprzeczne z obrazu interferencyjnego. Wartość współczynnika Poissona ustalono na 0,2 dla całego badanego zakresu wilgotności względnej.

5.2.4. ANALIZA CZASOWA ODPOWIEDZI MODELOWYCH OBIEKTÓW DREWNA POLICHRMOWANEGO NA ZMIANY PARAMETRÓW ŚRODOWISKA

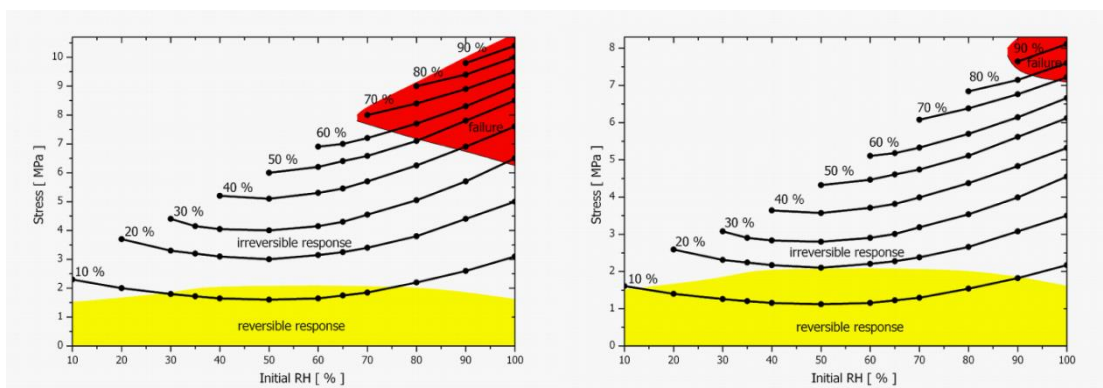
Wyznaczenie przepływu i sorpcji pary wodnej pod wpływem fluktuacji parametrów środowiska – temperatury i wilgotności względnej, oraz przestrzennych rozkładów odkształcenia i naprężenia wywołanych tymi fluktuacjami przeprowadziłem dla dwóch najważniejszych obiektów modelowych:

- **obiektem o symetrii cylindrycznej** jako układu modelowego imitującego masywne elementy drewniane takie jak rzeźby. Można uznać, że elementy takie odzwierciedlają strukturę pnia drzewa, przy czym powierzchnie elementu mają w przybliżeniu orientację styczną i są równoległe do osi pnia. Powstawanie naprężenia w takich obiektach jest wynikiem powolnej dyfuzji pary wodnej przy skokowej zmianie wilgotności względnej środowiska, co prowadzi do powstania gradientu zawartości wody w przekroju drewna. Wytworzony gradient generuje naprężenia, ze względu na gradient zmiany wymiarowej materiału. Wytworzone naprężenia zanikają powoli wraz ze stopniowym zmniejszaniem się gradientu zawartości wody, aż do momentu osiągnięcia jednorodnej równowagowej zawartości wody w przekroju walca.

- **płaskiego swobodnie odpowiadającego obiektu z warstwą malarską** imitującego polichromie na deskach. Powstawanie naprężeń i uszkodzeń w warstwie malarskiej dla takiego układu jest wynikiem, jak napisano wcześniej, różnicy pomiędzy znaczną wymiarową odpowiedzią wilgotnościową podłoża drewnianego, zwłaszcza w kierunku stycznym, a znikomo małą odpowiedzią malarskiej zaprawy podkładowej.

Modelowanie procesów transportu pary wodnej oraz przestrzennych rozkładów odkształcenia i naprężenia w strukturze drewna polichromowanego przeprowadzono rozwiązując metodą Newtona–Raphsona równania dyfuzji z zależnym od zawartości wody, temperatury i gęstości drewna współczynnikiem dyfuzji, dyskretyzowane metodą ważonych residuów w formalizmie Galerkina, oraz stosując model sprężystych oddziaływań mechanicznych, przy użyciu techniki obliczeniowej

elementów skończonych. Zastosowane równania konstytutywne i procedury obliczeniowe są dokładnie opisane w pracach **H3** i **H9**. Wszystkie symulacje zaczynały się od stanu stacjonarnego układu określonego przez początkową temperaturę i wilgotność względną środowiska. Równowagową zawartość wody w materiałach odpowiadającą każdemu stanowi stacjonarnemu obliczano z historii zmian parametrów środowiska i określonych doświadczalnie histerez izoterm adsorpcyjnych i desorpcyjnych. W kolejnym kroku symulacji rozwiązywano jednowymiarowe różniczkowe równania dyfuzji pary wodnej opierając się na dwuwymiarowej dyskretyzacji obiektów: dla przekroju walca (kierunek dyfuzji pary wodnej wzdłuż promienia) oraz dla przekroju deski (kierunek dyfuzji pary wodnej prostopadły do płaszczyzny). Ponieważ współczynnik przewodnictwa cieplnego jest 4-5 rzędów większy od współczynnika dyfuzji pary wodnej przyjmowano, że odpowiedź badanego układu na zmiany temperatury jest natychmiastowa i przy takim założeniu uwzględniano wpływ zmian temperatury na przestrzenny rozkład zawartości pary wody obliczony w każdym kroku czasowym zakładając izochoryczną przemianę gazową wewnątrz komórki drewna wypełnionej materią w 25%. Z rozkładu tego wyznaczano rozkład przestrzenny odkształceń wilgotnościowych i naprężeń wynikających z nałożonych na odkształcenia więzów zakładając sprężysty model oddziaływań mechanicznych.



Ilustracja 3. Naprężenia w walcu drewna lipowego o średnicy 130 mm powstałe przy zmianach wilgotności względnej w zakresie pomiędzy 10% i 90%, które zachodzą natychmiast (po lewej) i w ciągu 24 godzin (po prawej), wykreślone w funkcji poziomu początkowej wilgotności względnej. Zaznaczono domeny zmian wilgotności względnej powodujących odpowiedzi odwracalne (obszar żółty) lub nieodwracalne (obszar biały), oraz prowadzących do pęknięcia drewna (obszar czerwony).

Przeprowadzone modelowanie dla **walca** [H3] doprowadziło do ustalenia map maksymalnych naprężeń generowanych w drewnie pod wpływem gradientu

zawartości wody w przekroju materiału, wywołującego jego różnicową zmianę wymiarową. Wielkości gradientów, a stąd naprężeń, zależą od wielkości zmiany wilgotności względnej w środowisku, szybkości tej zmiany oraz poziomu wilgotności względnej, od którego zmiana nastąpiła. Przykłady map naprężeń obliczonych dla drewnianego walca o średnicy 130 mm dla dwóch różnych skal czasowych zachodzenia zmiany – natychmiastowej i dobowej – przedstawiono na il. 3.

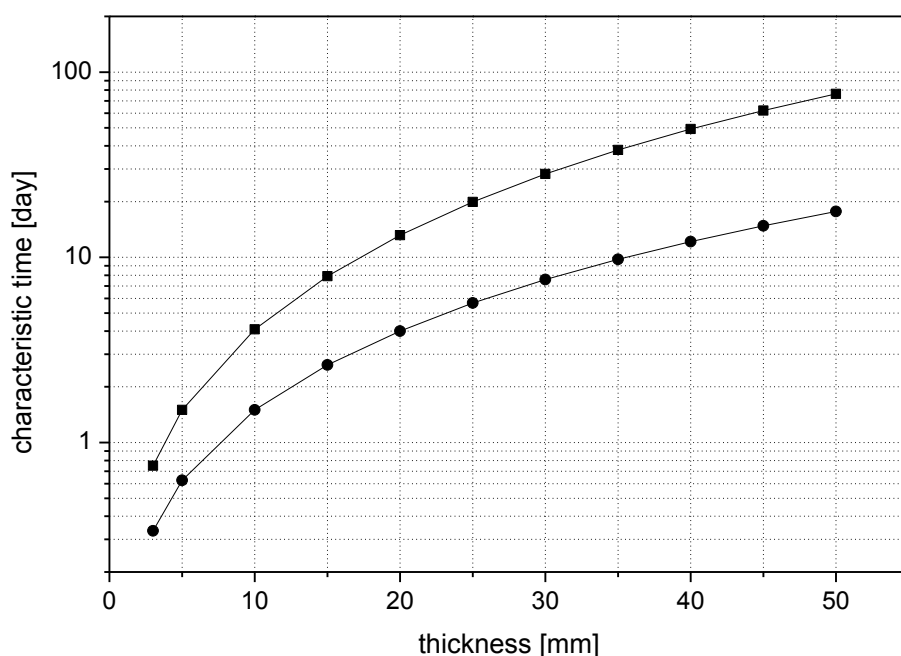
Nakładając na mapy naprężeń ustalonych w modelowaniu kryterium granicy obszaru sprężystego, opisane we wstępie, ustalono dopuszczalne wahania wilgotności względnej w funkcji wielkości, czasu trwania i wyjściowego poziomu, poniżej których ryzyko uszkodzenia mechanicznego jest bardzo niewielkie (domeny zaznaczone kolorem żółtym na il. 3). Z kolei, nakładając na mapy naprężeń wytrzymałość drewna na rozciąganie jako kryterium pęknięcia, ustalono domeny, w których drewno jest zagrożone pękaniem (zaznaczone kolorem czerwonym na il. 3).

Wyniki badań pokazały, że środkowy zakres wilgotności względnej jest optymalny z punktu widzenia ograniczenia naprężeń w drewnianym walcu. Dla najgroźniejszych nagłych zmian wilgotności względnej, wielkość bezpiecznych zmian wynosi 15% w tym zakresie, ale zmniejsza się znacznie poza nim. Dopuszczalna wielkość wahań wzrasta, gdy czas zachodzenia zmiany się wydłuża. Jednak pole naprężeń nie znika nawet dla bardzo powolnych, quasi-statycznych zmian wilgotności względnej z powodu więzów wewnętrznych wynikających z anizotropii odpowiedzi metrycznej drewna.

Podobnie przeprowadzone modelowanie dynamiki **swobodnej odpowiedzi deski pokrytej warstwą malarską [H8, H9]** doprowadziło do wyznaczenia wielkości krytycznych wahań wilgotności względnej, poniżej której zaprawa pozostaje w stanie nieuszkodzonym. Podczas pierwszego etapu obliczeń [H8] posłużono się kryterium granicy zakresu sprężystego zaprawy (odkształcenie 0,002) i założono swobodną odpowiedź w najsilniej odpowiadającym wilgotnościowo kierunku stycznym drewna. Jeżeli wahania wilgotności względnej trwają znacznie dłużej niż czas odpowiedzi deski, krytyczne wahania wilgotności względnej można wyznaczyć odczytując z izoterm wilgotnościowego pęcznienia zmianę wilgotności względnej, która spowoduje różnicę pomiędzy odpowiedzią zaprawy i drewna w kierunku stycznym wynoszącą 0,002. Tak wyznaczone dopuszczalne fluktuacje wilgotności względnej pokazano na prawej osi wykresu zamieszczonego na il. 2.

Proste wyliczenie krytycznych wielkości wahań wilgotności względnej udoskonalono biorąc pod uwagę czas potrzebny na dyfuzję pary wodnej do deski, tak aby uwzględnić dynamikę procesu tj. wpływ wahań wilgotności względnej trwających

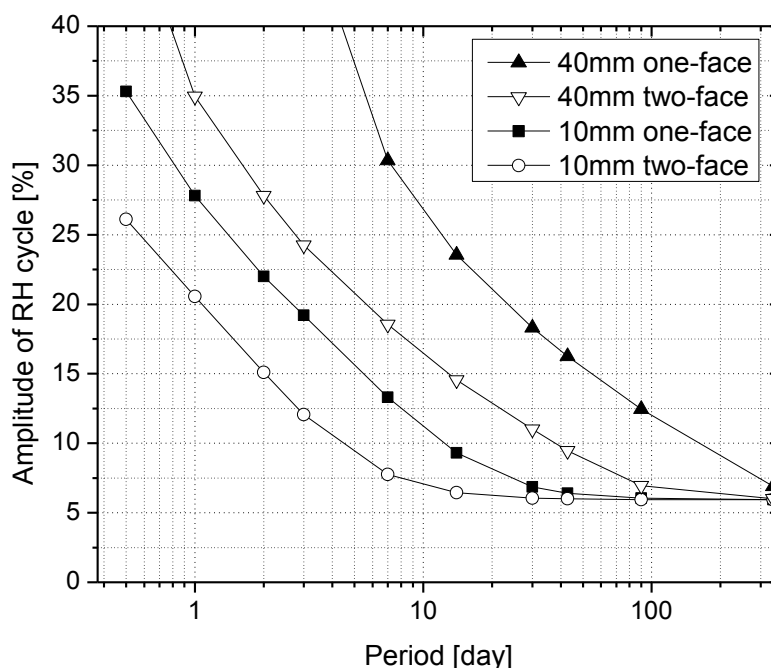
krócej niż czas odpowiedzi deski. Zachowanie się deski poddanej skokowej zmianie wilgotności względnej od początkowych warunków suchych do końcowych wilgotnych zilustrowano na il. 4, która przedstawia zależność pomiędzy grubością deski a czasem potrzebnym do osiągnięcia $(1 - 1/e) \cdot 100\% \approx 63.2\%$ odkształcenia asymptotycznego. Analizowany parametr można przyjąć za stałą czasową odpowiedzi deski. Zależności wykreślono dla dwóch sytuacji: symetrycznej dyfuzji pary wodnej przez obydwie powierzchnie deski lub asymetrycznej dyfuzji przez jedną z tych powierzchni, co odtwarza skrajną sytuację całkowitego zahamowania przepływu pary wodnej przez powierzchnię deski pokrytą warstwą malarską.



Ilustracja 4. Czas odpowiedzi drewnianej deski z jedną powierzchnią otwartą dyfuzyjnie (■) lub dwiema takimi powierzchniami (●), poddanej skokowej zmianie wilgotności względnej, w zależności od grubości.

Skokowe zmiany przedstawione powyżej występują sporadycznie w środowisku obiektów. To cyklicznie powtarzające się fluktuacje wilgotności względnej odpowiadają za znaczną część uszkodzeń polichromowanego drewna. Cykliczne fluktuacje wilgotności względnej były przybliżane w symulacjach numerycznych przez funkcję sinus. Mimo, że rzeczywiste wahania tego parametru są procesem ergodycznym przyjęto, że proste funkcje sinusoidalne mogą dobrze uchwycić ogólny typ odpowiedzi deski na zmiany o różnych okresach i amplitudach. Każdy cykl o danej amplitudzie i okresie powoduje dwa następujące po sobie odkształcenia deski:

pęcznienie i skurcz. Wielkość odkształcenia zależy, jak pokazano powyżej, od grubości deski i konfiguracji dyfuzji. Amplitudę sinusoidalnej fluktuacji wilgotności względnej powodującej odkształcenie 0,002, granicę zakresu sprężystego dla warstwy malarskiej, w najsilniej odpowiadającym wilgotnościowo kierunku stycznemu drewna, wyznaczono dla środkowego zakresu wilgotności względnej w funkcji okresu, grubości deski i konfiguracji dyfuzji (il. 5).

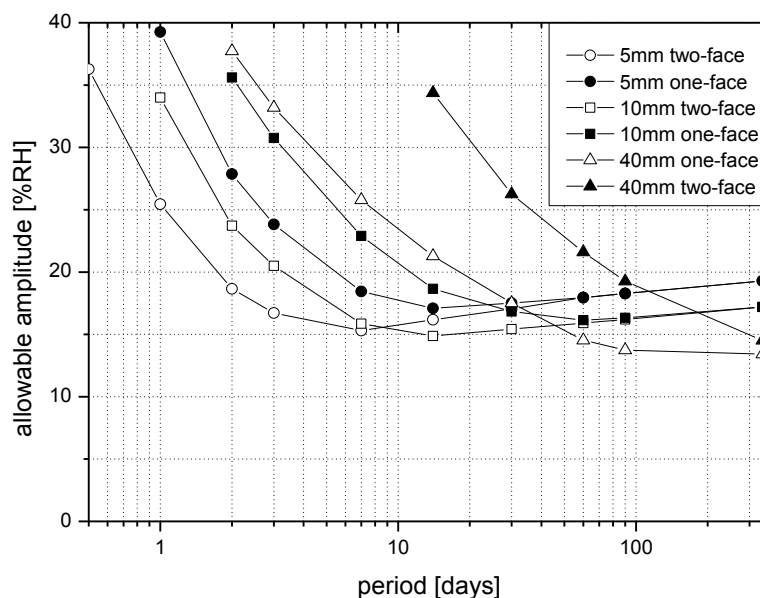


Ilustracja 5. Amplituda sinusoidalnych cykli wilgotności względnej wywołujących krytyczne odkształcenie 0.002 w kierunku stycznym drewna w funkcji okresu cyklu dla dwóch grubości deski wynoszących 10 i 40 mm oraz symetrycznej i asymetrycznej dyfuzji w temperaturze 20 °C.

Opisaną powyżej analizę swobodnej odpowiedzi deski pokrytej warstwą malarską na wahania wilgotności względnej rozwijałem w kolejnym etapie badań przez dodatkowe uwzględnienie dwóch istotnych czynników [H9]. Po pierwsze, uwzględniłem sprzężenie drewnianego podłoża ze sztywną warstwą zaprawy, która je pokrywa tworząc obiekt niejednorodny materiałowo, ale zwarty mechanicznie i dyfuzyjnie. Właściwości materiałowe zaprawy zmierzono doświadczalnie, a następnie wykorzystano do określenia jej odpowiedzi wymiarowej, jak i wywieranego przez nią wpływu na swobodną odpowiedź związanego z nią drewnianego podłoża. Po drugie, uwzględniłem podatność warstwy zaprawy na procesy zmęczeniowe biorąc pod

uwagę relację między krytycznym odkształceniem a liczbą cykli odkształcających opisaną powyżej.

Do obliczenia zakresu wahań wilgotności względnej dopuszczalnych dla polichromii na desce, przybliżano wahania ponownie przez funkcję sinus. Dopuszczalne amplitudy cykli wilgotności względnej dla danego układu obliczono jako wartości, które cyklicznie powodują różnice w sprzężonych odpowiedziach drewnianego podłoża i warstwy zaprawy prowadzących do pierwszego pęknięcia tej warstwy po 100 lat występowania cyklu. Okres stu lat został wybrany jako typowy dla muzealnych strategii ochrony horyzont czasowy, w którym kumulujące się w obiekcie trwałe zmiany spowodują pojawienie się "zauważalnego uszkodzenia", w tym przypadku pierwszego pęknięcia nowej warstwy zaprawy. Wyniki obliczeń pokazano na il. 6.



Ilustracja 6. Dopuszczalna amplituda sinusoidalnych cykli wilgotności względnej w funkcji okresu cyklu dla desek o grubościach między 5 a 40 mm i grubości warstwy zaprawy 0,5 mm oraz przepływie pary wodnej przez jedną lub dwie powierzchnie w temperaturze 20 °C.

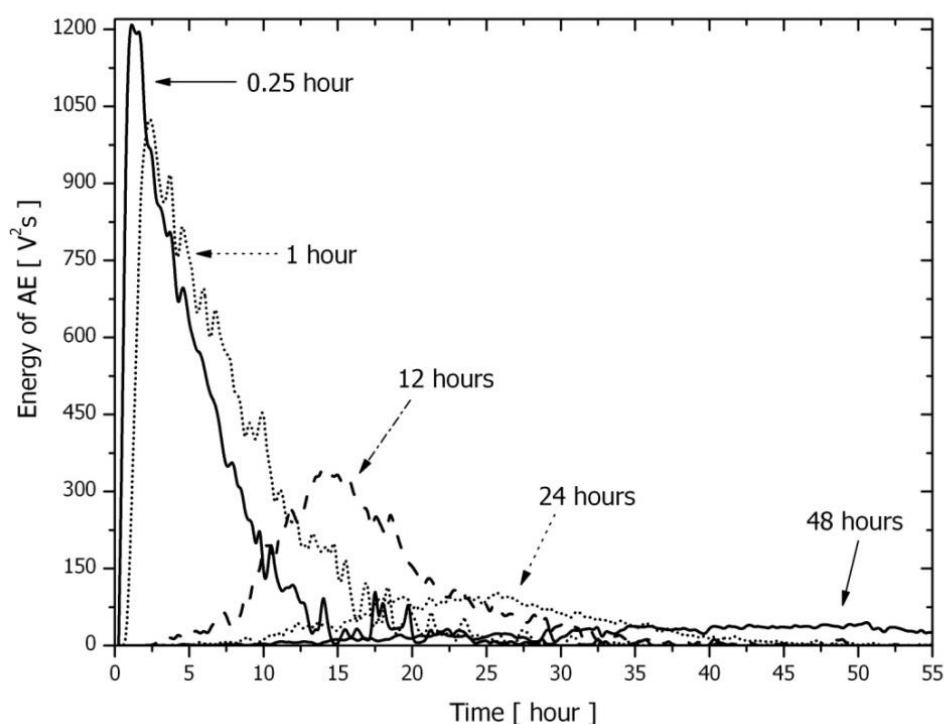
Deski podłoża odpowiadają wymiarowo w coraz mniejszym stopniu kiedy zmniejsza się okres fluktuacji, co znajduje odzwierciedlenie w rosnącej dopuszczalnej amplitudzie fluktuacji. Jednocześnie, kiedy okres cyklu przekracza czas odpowiedzi deski, dopuszczalna amplituda cyklu zwiększa się ponieważ mniejsza liczba cykli zajdzie w rozważanym okresie 100 lat. Ponadto, odpowiedź wymiarowa polichromii

na cienkich deskach zmniejsza się na skutek więzów nałożonych na ich swobodną odpowiedź wymiarową przez warstwę zaprawy. Ustalono, że sytuacja deski o grubości 10 mm z obydwoma powierzchniami otwartymi dla dyfuzji pary wodnej, poddanej cyklom fluktuacji wilgotności względnej trwającym 14 dni, jest „najgorszym przypadkiem” w świetle przeprowadzonych badań, a dopuszczalna amplituda fluktuacji dla tego przypadku wynosi $\pm 14\%$.

Udoskonalony fizyczny model odpowiedzi strukturalnej drewna polichromowanego dał w wyniku ponad dwukrotny wzrost dopuszczalnej amplitudy najbardziej groźnych cyklicznych fluktuacji wilgotności względnej do $\pm 14\%$ w porównaniu z wartością zaledwie $\pm 6\%$ otrzymaną z uproszczonego podejścia opartego o kryterium odkształcenia krytycznego otrzymanego z pojedynczego testu obciążeniowego i bez uwzględnienia sprzężenia warstwy zaprawy z drewnianym podłożem.

5.2.5. DOŚWIADCZALNA WERYFIKACJA ODPOWIEDZI STRUKTURALNEJ OBIEKTÓW DREWNA POLICHROMOWANEGO NA ZMIANY PARAMETRÓW ŚRODOWISKA

Do doświadczalnej weryfikacji wyników modelowania zaadoptowałem, rozwinąłem i zastosowałem - po raz pierwszy w świecie w badaniach nad procesem fizycznego niszczenia obiektów dziedzictwa - metodę emisji akustycznej, polegającą na monitorowaniu energii sprężystej uwolnionej w postaci fal ultradźwiękowych podczas procesu pęknięcia w materiałach [H1, H4]. Badania próbek drewna w kształcie walca pokazały, że wysokoczęstotliwościową składową generowaną podczas pęknięcia drewna można wyodrębnić z rejestrowanych sygnałów przez wykorzystanie transformaty falkowej. Wydzielona energia dla tego zakresu częstotliwości jest ściśle skorelowana z wielkością pęknięć, a ta z kolei z amplitudą i szybkością zmiany wilgotności względnej. Badania potwierdziły poprawność modelowania numerycznego pokazując, że aktywność emisji akustycznej generowanej w drewnianym walcu staje się znikoma jeśli wahania wilgotności względnej są mniejsze niż dopuszczalne zmiany wyznaczone przez modelowanie, lub jeśli czas zachodzenia zmiany jest dostatecznie długi (il. 7).



Ilustracja 7. Energia emisji akustycznej zarejestrowana w 15-minutowych interwałach czasowych w trakcie spadku wilgotności względnej z 70 do 30%. Różne krzywe pokazują wpływ różnych czasów zachodzenia zmiany wilgotności względnej.

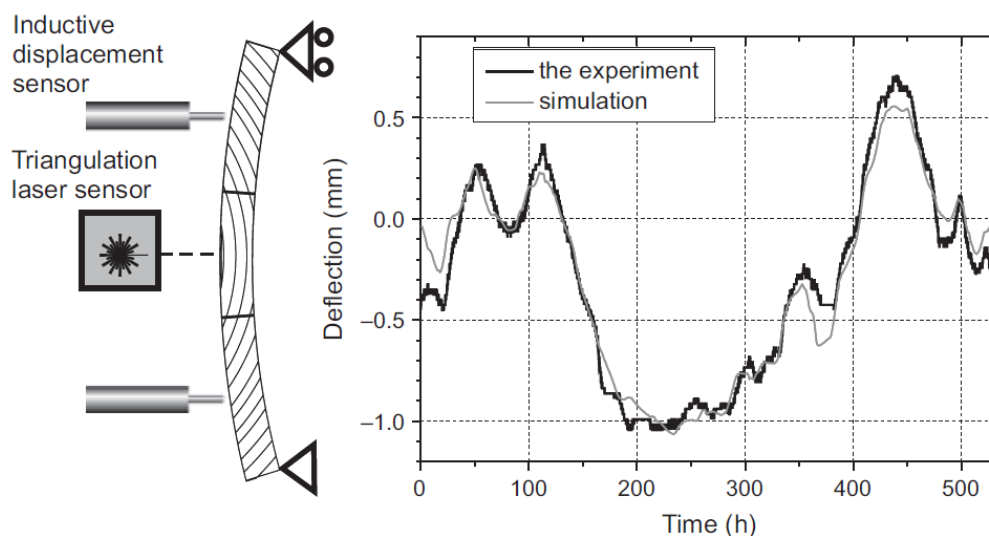
Monitoring *in situ* emisji akustycznej drewnianego ołtarza w zabytkowym kościele potwierdził użyteczność metody w śledzeniu rozwoju naprężeń w drewnie generowanych przez niestabilność parametrów środowiska [H1]. Ponadto, wyniki badań potwierdziły możliwość śledzenia stopniowego rozwoju mikro-uszkodzeń, będących prekursorami powstania makroskopowych, z perspektywy konserwatora lub opiekuna obiektu, uszkodzeń drewna.

Innym potwierdzeniem poprawności modelowania odpowiedzi strukturalnej drewnianego walca na fluktuacje parametrów środowiska były dwuletnie pomiary *in situ* zmian wymiarowych elementów zabytkowych drewnianych rzeźb w kościele w Rocca Pietore we Włoszech [H2]. Odpowiedzi te różniły się znacznie między sobą w zależności od grubości monitorowanych obiektów. Mały drewniany element o grubości 5 mm, szybko rozszerzał się i kurczył, a jego odpowiedź była pełna nawet podczas krótkotrwałych zmian wilgotności względnej. Z kolei odpowiedź wymiarowa dużego drewnianego elementu o średnicy 150 mm była znacznie wolniejsza i niepełna, gdyż absorpcja lub desorpcja pary wodnej była zbyt wolna by doprowadzić

do jednorodnego rozkładu zawartości wody w drewnie. W czasie monitorowania śledzono również zmiany szerokości dużej szczeliny (pęknięcia) biegnącej w przybliżeniu w kierunku promieniowym w drewnianym elemencie o kształcie walca przy zastosowaniu czujnika opartego o pomiar prądów Eddiego.

Przeprowadzony monitoring potwierdził wnioski uzyskane z modelowania: jedynie zewnętrzna warstwa drewna o grubości kilku milimetrów silnie reaguje na każdą, nawet szybką, zmianę wilgotności względnej, a powstające gradienty zawartości wody w kierunku promieniowym generują naprężenia w kierunku stycznym drewna wynikające z nałożonych na ruch wewnętrznych więzów. Monitorowana szerokość szczeliny odpowiednio wzrastała i malała ze spadkami i wzrostami wilgotności względnej, ze względu na pęcznienie lub skurcz zewnętrznej warstwy drewna powodujących wzrost naprężeń rozciągających lub ściskających. Rozszerzanie i zmniejszanie szerokości pęknięcia było szybkie i synchroniczne nawet z krótkimi wahaniami parametrów środowiska. Przeprowadzone symulacje pokazały, że istniejące pęknięcie powodowało redukcję o 25% naprężeń stycznych obliczonych w sytuacji całkowitego ograniczenia ruchu warstwy zewnętrznej. Stąd powstające pęknięcia powodują "aklimatyzację" elementów do fluktuacji parametrów środowiska i w konsekwencji, wielkość bezpiecznych fluktuacji tych parametrów zwiększa się powyżej wartości krytycznych określonych przez modelowanie. Opisana obserwacja potwierdza, że te wartości krytyczne stanowią ostrożną podstawę norm środowiskowych dla bezpiecznego ekspozowania i przechowywania obiektów wrażliwych, ponieważ opierają się na bardzo ostrożnym kryterium jedynie sprężystego odkształcenia drewna i przyjęcia najgorszego przypadku więzów na maksymalną odpowiedź drewna w kierunku stycznym.

Wartym zaznaczenia jest także doświadczalne stwierdzenie zgodności wyników symulacji numerycznych z pomiarami wygięcia deski pokrytej zaprawą klejową, którą ekspozowano w rzeczywistych warunkach w Muzeum Narodowym w Krakowie [H9, il. 8]. Ponieważ pierwotnym wynikiem modelowania są odkształcenia, zaobserwowana zgodność pomiędzy wyliczonym i zmierzonym wygięciem stanowi dowód na prawidłowe wyznaczenie wszystkich właściwości mechanicznych i dyfuzyjnych badanych materiałów, i stąd zadowalającą dokładność wyliczanych przez stworzony przeze mnie model odkształceń powstających w skutek fluktuacji parametrów środowiska.



Ilustracja 8. Układ do monitorowania wygięcia deski pokrytej zaprawą (po lewej) oraz zmiany wygięcia deski w odpowiedzi na fluktuacje parametrów środowiska: mierzone i wyliczone (po prawej).

5.2.6. WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ WCHODZĄCYCH W ZAKRES HABILITACJI

Zrozumienie odpowiedzi strukturalnej drewna polichromowanego na fluktuacje parametrów środowiska i mechanizmu powstawania związanych z nimi uszkodzeń otworzyło drogę do opracowania syntetycznego wskaźnika zagrożeń. Wskaźnik taki przydatny do oceny stabilności środowiska może stanowić narzędzie wsparcia długofalowej polityki i strategii ochrony obiektów dziedzictwa kulturowego.

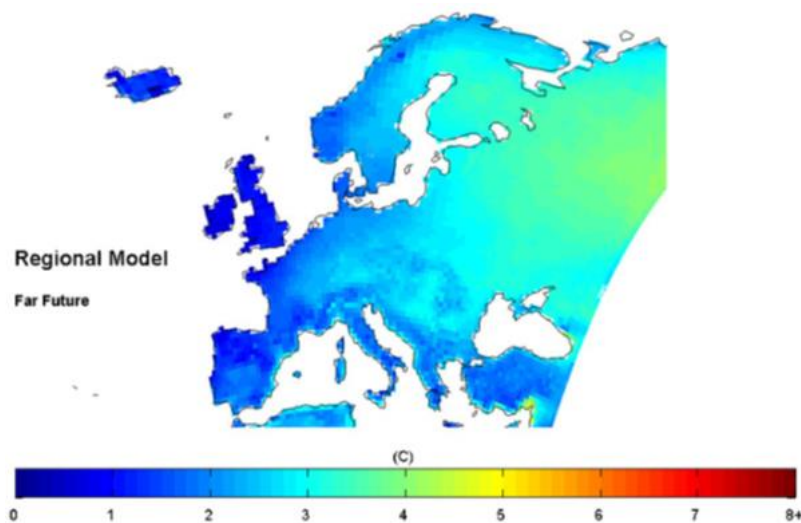
Zaproponowany przeze mnie wskaźnik można określić jako roczną „dawkę” skumulowanego uszkodzenia zmęczeniowego warstwy malarskiej spowodowanego rzeczywistymi fluktuacjami parametrów środowiska, zgodnie z równaniem:

$$C = \left(\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} + \sum_{j=1}^l n_j \frac{A_j}{A_0} \right) \times \frac{1}{a}$$

gdzie k jest liczbą zakresów wilgotności względnej mniejszych niż A_0 , każdy o liczbie cykli n_i – gdzie A_0 jest progowym zakresem powodującym pęknięcie warstwy malarskiej w jednym cyklu, N_i jest liczbą cykli powodujących pęknięcie dla danego zakresu wilgotności względnej, j jest liczbą zakresów wilgotności względnej większych niż A_0 o liczbie cykli n_j dla każdego zakresu A_j , a jest liczbą lat, dla których liczone są cykle wilgotności względnej z rzeczywistych nieperiodycznych zmian czasowych

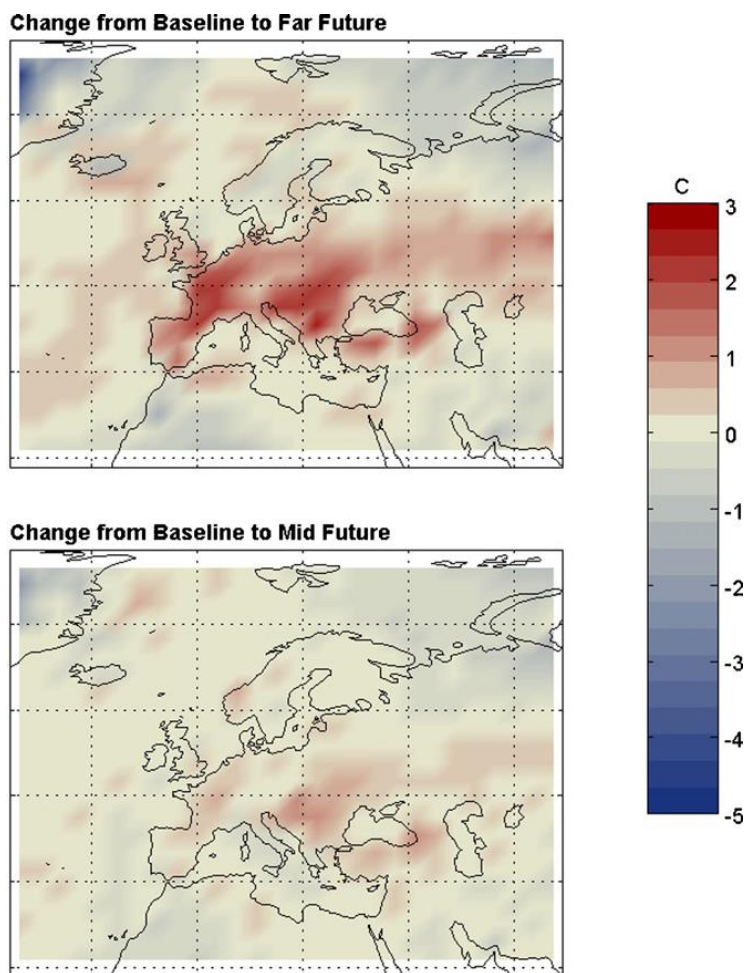
wilgotności względnej. Pierwszy człon w nawiasie, znany w nauce o materiałach jako reguła Minera, uwzględnia sumę szkodliwego wpływu wszystkich cykli poniżej progowego zakresu A_0 . Drugi czynnik uwzględnia szkodliwe oddziaływanie cykli wilgotności względnej powyżej progu A_0 , a szkodliwość każdego cyklu jest ważona przez stosunek danego zakresu A_j do zakresu progowego A_0 .

Zaproponowany wskaźnik użyto do oceny wpływu globalnej zmiany klimatu na polichromie na desce eksponowane we wnętrzach [H10]. Prognozy przyszłego klimatu zostały otrzymane za pomocą dwóch powszechnie stosowanych modeli z Centrum Hadleya w Wielkiej Brytanii: HadCM3 i HadRM3. HadCM3 jest globalnym modelem cyrkulacyjnym sprzęgającym ocean i atmosferę o rozdzielczości siatki $2,5 \times 3,75^\circ$ tj. $278 \times 295 \text{ km}^2$ dla 45° szerokości geograficznej północnej. HadRM3 jest regionalnym modelem klimatu, który obejmuje Europę w wyższej rozdzielczości (siatka o równych komórkach $50 \times 50 \text{ km}^2$), ale jego przewidywania obejmują tylko lata od 2070 do 2099.



Ilustracja 9. Mapa wskaźnika zagrożeń klimatycznych dla polichromowanego drewna dla całej Europy dla lat 2070-2099 uzyskana z prognoz modelu HadRM3, zakładając scenariusz emisji A2.

Funkcje korelacji pomiędzy parametrami klimatu wewnątrz i klimatu zewnętrznego uzyskano z pomiarów rzeczywistych warunków w nieogrzewanych budynkach zabytkowych. Następnie, uzyskane prognozowane zmiany wilgotności względnej we wnętrzach zostały poddane matematycznemu procesowi filtracji przebiegów czasowych, w którym zostały one zredukowane do prostych cykli o różnych amplitudach wykorzystując algorytm Rainflow-Counting. W końcu uzyskano europejską mapę zagrożeń klimatycznych (il. 9) oraz mapę różnic wskaźnika zagrożeń dla bliskiej i dalekiej przyszłości przyjmując lata 1961-1990 za okres odniesienia (il. 10).



Ilustracja 10. Mapy różnic wskaźnika zagrożeń klimatycznych drewna polichromowanego dla najbliższej przyszłości (2010-2039) i dalekiej przyszłości (2070-2099) w stosunku do lat 1961-1990 uzyskana z prognoz modelu HadCM3 i scenariusza emisji A2.

Zastosowanie omówionej metodyki nie ogranicza się do prognozowania niszczącego wpływu przyszłych zmian klimatycznych na drewno polichromowane. Można ją również zastosować do oceny stabilności środowiska w bardziej precyzyjny sposób niż przez odniesienie się do ogólnych klas jakości klimatu zawartych w normach środowiskowych (na przykład ASHRAE, 2007). Analizę można stosować zarówno w budynkach o naturalnym mikroklimacie nieposiadających aktywnych systemów kontroli klimatu jak i do obiektów o klimacie kontrolowanym, w których aktywne systemy regulują temperaturę powietrza (ogrzewanie), temperaturę i wilgotności powietrza (klimatyzacja), lub szybkość wentylacji. Innym potencjalnym zastosowaniem wskaźnika zagrożeń jest ocena bezpieczeństwa różnych strategii ograniczenia kontroli klimatu na potrzeby ochrony obiektów, zmierzających do obniżenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, zwłaszcza kosztów energii.

5.2.7. SYNTETYCZNE OPRACOWANIE OBECNEGO STANU WIEDZY O DOPUSZCZALNYCH FLUKTUACJACH PARAMETRÓW ŚRODOWISKA DLA DREWNA POLICHROMOWANEGO

Naukowe zrozumienie mechanizmu wpływu zmian w warunkach środowiska na drewno polichromowane wymaga, z samej natury zagadnienia, podejścia interdyscyplinarnego. W trakcie mojej pracy odkrywałem obszar badań, w którym nakłada się kilka dyscyplin naukowych, w szczególności: fizykochemia procesów powierzchniowych, takich jak adsorpcja i dyfuzja pary wodnej, nauka o drewnie, fizyka procesów transportu, mechanika doświadczalna i fizyczne metody śledzenia uszkodzeń. Z kolei wyniki moich prac badawczych mają duże znaczenie dla praktycznej ochrony zasobów dziedzictwa kultury i zarządzania tymi zasobami, i dlatego powinny być odpowiednio komunikowane środowisku związanemu z ochroną dziedzictwa.

W trakcie rozwoju mojej pracy naukowej chciałem coraz usilniej zapewnić, by moje dokonania naukowe docierały do praktykujących konserwatorów i osób kreujących politykę ochrony dziedzictwa kultury w Polsce i na świecie. Dlatego, opublikowałem jako jedyny autor dwa artykuły przeglądowe dokonując syntezy osiągnięć naukowych w tej dziedzinie: rozdział w książce [H5] *“Basic environmental mechanisms affecting cultural heritage”*, oraz artykuł [H11] w *Studies in Conservation* – wiodącym międzynarodowym czasopiśmie poświęconym badaniu i konserwacji obiektów zabytkowych oraz dzieł sztuki. W pracach tych zebrałem różnorodne aspekty moich badań, tworząc uporządkowany przegląd wielu aspektów fizycznej odpowiedzi drewna polichromowanego – złożonego, wielowarstwowego układu – na fluktuacje parametrów środowiska, oraz przedyskutowałem implikacje dla praktyki ochrony zabytków.

Najbardziej ogólny wniosek płynący z dokonanej syntezy dotyczy coraz poważniejszego i częstszego kwestionowania ortodoksyjnego poglądu o konieczności ścisłej kontroli parametrów środowiska w muzeach, co prowadzi w konsekwencji do postulatu rozluźnienia wymagań środowiskowych – indywidualnego ustalania, dla danego zbioru obiektów, długookresowych poziomów stabilizacji z uwzględnieniem zmian rocznych oraz szerszych dopuszczalnych zakresów krótkotrwałych fluktuacji.

Każdy drewniany obiekt polichromowany, z jego niepowtarzalną oryginalną strukturą, zaaklimatyzowany do konkretnego środowiska, w którym był przechowywany, wymaga indywidualnych poziomów i zakresów temperatury i wilgotności względnej. Jednak większość danych naukowych wskazuje, że umiarkowane fluktuacje w przybliżonym zakresie $50 \pm 15\%$ wilgotności względnej nie stwarzają zagrożenia dla

obiektów dziedzictwa; temperatura jest parametrem podrzędnym w aspekcie ochrony.

Zakres ten stanowi ostrożny poziom odniesienia dla norm środowiskowych określających warunki bezpiecznego przechowywania drewna polichromowanego. Ten poziom odniesienia można dalej modyfikować wraz z rozwojem badań nad mechanizmem uszkodzeń fizycznych drewna polichromowanego, w szczególności lepszym określeniem wielkości odkształceń krytycznych. Jestem przekonany, że bezpośrednie monitorowanie emisji akustycznej drewna polichromowanego w celu śledzenia mikro-uszkodzeń spowodowanych przez niestabilność parametrów środowiska stanie się dodatkowym, ważnym narzędziem kontroli bezpieczeństwa drewnianych obiektów zabytkowych

W pracy **H11** dokonałem także przeglądu istniejących wytycznych i norm środowiskowych. Szczególnie wartościowa jest nowa norma europejska PN-EN 15757:2012, w opracowaniu której oraz jej tłumaczeniu na język polski osobiście uczestniczyłem jako członek Komitetu Technicznego 346 CEN oraz przewodniczący Komitetu Technicznego 311 PKN.

Jestem przekonany, że wszystkie omówione artykuły trafiły do środowiska związanego z ochroną dziedzictwa w najbardziej szerokim tego słowa znaczeniu: praktykujących konserwatorów, naukowców związanych z dziedzictwem i muzeami, specjalistów zarządzających zbiorami i ich ochroną, wykładowców i studentów konserwacji, pracowników naukowych uczelni w obszarze moich badań. Jestem także przekonany, że w ten sposób badania zebrane w mojej habilitacji dostarczyły syntetycznej naukowej podstawy do obecnej debaty nad poprawą norm środowiskowych dla zbiorów dziedzictwa kultury, w kontekście zmniejszenia zużycia energii i emisji dwutlenku węgla przy zachowaniu wysokich standardów ochrony przechowywanych zbiorów (IIC 2008, IIC 2010).

5.2.8. LITERATURA

ASHRAE - Museums, Galleries, Archives and Libraries, Chapter 21. 2007. W: *ASHRAE Handbook – HVAC applications*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc.

IIC 2008. *Climate Change and Museum Collections*, a discussion held on September 17, 2008 London, edited transcription, International Institute of Conservation. Dostępna:

http://www.iiconservation.org/dialogues/IIC_climate_change_transcript.pdf

IIC 2010. *The Plus/Minus Dilemma: The Way Forward in Environmental Guidelines*, a discussion held on May 13, 2010 Milwaukee Wisconsin, USA, edited transcription, International Institute of Conservation. Dostępna:

http://www.iiconservation.org/dialogues/Plus_Minus_trans.pdf

Mecklenburg, M.F., Tumosa, C.S., & Erhardt, D. 1998. Structural response of painted wood surfaces to changes in ambient relative humidity. W: V. Dorge & F. C. Howlett, eds. *Painted Wood: History and Conservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, ss. 464-483.

Michalski, S. 2009. The ideal climate, risk management, the ASHRAE chapter, proofed fluctuations, and towards a full risk analysis model. W: F. Boersma, ed. *Proceedings of Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, Tenerife, 2007*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. Dostępna:

http://www.getty.edu/conservation/our_projects/.../climate/paper_michalski.pdf

PN-EN 15757:2012. 2012. *Konserwacja dóbr kultury -- Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu*.

Simpson, W. & TenWolde, A. 1999. Physical properties and moisture relations of wood. In: *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*, Madison: Forest Products Society, ss. 3.1-3.5.

UNI 10969. 2002. *Cultural Heritage - Environmental conditions for conservation. General principles for the choice and the control of the indoor environmental parameters. Part 1 Microclimate*.

6. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH I ORGANIZACYJNYCH

6.1. PRZEBIEG PRACY NAUKOWEJ PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

Po obronie pracy magisterskiej w Zakładzie Optyki Atomowej na Wydziale Matematyki, Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Jagiellońskiego, poświęconej pomiarowi temperatury plazmy używanej do elektroerozyjnej obróbki materiałów, podjąłem pracę jako asystent w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, którą później kontynuowałem jako doktorant w tymże instytucie. W grupie prof. dra hab. Karola Musioła początkowo kontynuowałem badania rozpoczęte w ramach realizacji pracy magisterskiej. Badania

plazmy elektroerozyjnej zaowocowały dwiema publikacjami w czasopiśmie z listy Thomsona Reutersa:

1. A. Miernikiewicz, Ł. Bratasz, S. Pellerin, N. Pellerin, K. Musioł, and J. Chapelle, "New interesting results on the Electro-Discharge Machining", *High Temp. Material Processes* 3, 193-211, 1999.
2. N. Pellerin, S. Pellerin, Ł. Bratasz, K. Musioł, K. Dzierżęga, A. Miernikiewicz, and J. Chapelle, "Analysis of some Electrical-Discharge Machining Mechanism", *High Temp. Material Processes*, 5, 423-437, 2001.

Następnie zainteresowania badawcze mojej grupy skoncentrowały się na pomiarach struktury linii widmowych atomów i jonów krzemu, germanu, kryptonu, ksenonu, neonu i argonu, pierwiastków ważnych dla przemysłu elektronicznego, ale także badań z zakresu astrofizyki. Uzyskane wyniki pozwoliły mi na zdobycie półrocznego stażu w National Institute of Standards and Technology w Gaithersburgu, USA, gdzie brałem udział w kalibracji i wykorzystaniu do badań stałych struktury atomowej unikatowego spektrometru fourierowskiego pracującego w zakresie od głębokiego ultrafioletu (180nm) do końca zakresu widzialnego (780nm).

Wyniki tych badań zostały opublikowane w trzech artykułach w pismach z listy Thomsona Reutersa:

1. S. Zielinska, Ł. Bratasz and K. Dzierżęga, "Absolute Transition Rates for transition from $5p^4$ (3P) $6p$ $^4P^{\circ}_{5/2}$, $^4P^{\circ}_{3/2}$, $^4D^{\circ}_{7/2}$ and $^2D^{\circ}_{5/2}$ levels of Xe II", *Physica Scripta*, 66 (6), 454-457, 2002.
2. K. Dzierżęga, Ł. Bratasz, U. Griesmann, G. Nave, "Absolute transitions rates for transitions from $5p$ levels in Kr II", *Physica Scripta*, 63, 3, 209-218, 2001.
3. Ł. Bratasz, K. Musioł, "Branching Ratio measurements for Ge I and Ge II", *Acta Physica Polonica*, 98, 4, 345-351, 2000.

oraz w jednym artykule w recenzowanych materiałach konferencyjnych:

U. Griesmann, R. Kling, JH. Burnett; Ł. Bratasz, "The NIST FT700 Vacuum Ultraviolet Fourier Transform Spectrometer: applications in ultraviolet spectrometry and radiometry", *Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, Denver, 3818, 180-188, 1999.

Po powrocie do kraju wziąłem udział w realizacji projektu badawczego KBN poświęconego pomiarom parametrów starkowskich (szerokość, przesunięcie i asymetria linii widmowych) w zależności od rozkładu i gęstości elektronów w plazmie łukowej oraz mikropola jonowego przy wykorzystaniu metody optyki nieliniowej – zdegenerowanego mieszania czterech fal. Rozwój metody opartej o zdegenerowane mieszanie czterech fal pozwolił na ominięcie problemów związanych z użyciem metod klasycznej spektroskopii:

nielokalności pomiaru związanej z całkowaniem sygnału na całej długości drogi optycznej i założenia o stabilności czasowej wyładowania plazmowego. Otrzymane wyniki stały się podstawą publikacji w czasopiśmie z listy Thomsona Reutersa:

K. Dzierżęga , Ł. Bratasz, S. Pellerin, B. Pokrzywka and K. Musioł, "Stark Width and Shift Measurement for the 696,543nm ArI line using degenerate four wave mixing (DFWM) Spectroscopy", *Physica Scripta* 67, 1-7, 2003,

a także stanowiły trzon mojej pracy doktorskiej, przygotowanej pod kierunkiem prof. dra hab. Karola Musioła, którą obroniłem w 2002 roku.

6.2. PRZEBIEG PRACY NAUKOWEJ PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Po uzyskaniu stopnia doktora zdecydowałem się na kontynuowanie pracy naukowej w grupie badań nad ochroną zabytków kierowanej przez prof. dra hab. Romana Kozłowskiego (wtedy jeszcze docenta) w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk. Pierwsze zadania w tej niezwykle interesującej i zupełnie dla mnie nowej tematyce badawczej, łączącej metody chemii i fizyki z zagadnieniami z dziedzin sztuki i humanistyki, związane były z realizacją w latach 2002-2005 projektu europejskiego FRIENDLY HEATING w ramach 5. Programu Ramowego. Projekt skupiał się na badaniach wpływu wzmożonych przepływów ciepła, pyłów i wilgoci wywołanych ogrzewaniem zabytkowych kościołów na historyczne materiały i obiekty, szczególnie obiekty z drewna polichromowanego. W ramach projektu wraz z tworzącym się od podstaw zespołem badawczym, rozwinąłem trzy nowatorskie narzędzia badawcze:

- układ triangulacyjnych czujników laserowych i czujników przemieszczeń opartych o pomiar prądów Eddiego do ciągłego monitorowania *in situ* zmian metrycznych drewnianych obiektów zabytkowych, takich jak rzeźby lub obrazy na desce, w odpowiedzi na fluktuacje temperatury i wilgotności względnej w ich otoczeniu
- modelowanie numeryczne dyfuzji pary wodnej i ciepła w obiektach drewnianych pozwalające na wyznaczanie gradientów zawartości wody w przekroju materiałów i wewnętrznych naprężeń, jakie pojawiają się w rezultacie tych gradientów; modelowanie zostało oparte na bardzo szerokich pomiarach laboratoryjnych potrzebnych parametrów materiałowych – izoterm sorpcji pary wodnej oraz zmian wymiarowych, współczynników dyfuzji, współczynników emisji powierzchniowej oraz szeregu właściwości mechanicznych

- monitorowanie i analizę emisji akustycznej zdefiniowanej jako energia sprężysta uwolniona w wyniku powstawania pęknięcia, deformacji lub zmęczenia materiałów.

Zastosowanie opisanych technik badawczych doprowadziło do nowego wyniku poznawczego, jakim było wyznaczenie mapy krytycznych fluktuacji temperatury i wilgotności względnej, po przekroczeniu których następuje zagrożenie deformacją lub uszkodzeniem fizycznym zabytkowych obiektów drewnianych, w zależności od amplitudy, czasu trwania i początkowego poziomu fluktuacji.

Wyniki te zostały zawarte w sumie w 6 publikacjach, skierowanych zarówno do specjalistów z zakresu nauki o materiałach, jak i środowiska konserwatorów i badaczy dzieł sztuki. Obok 3 publikacji, które stały się podstawą niniejszego postępowania habilitacyjnego, opublikowałem jeszcze 3 prace:

1. Ł. Bratasz, S. Jakiela, R. Kozłowski, "Allowable thresholds in dynamic changes of microclimate for wooden cultural objects: monitoring *in situ* and modeling", *ICOM Committee for Conservation, 14th Triennial Meeting, The Hague: Preprints*, ed. I. Verger, James & James, London, 582-589, 2005.
2. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, "Laser sensors for continuous monitoring of dimensional response of wooden objects *in situ*", *Studies in Conservation*, 50, 307-315, 2005.
3. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, A. Kozłowska, S. Rivers, "Conservation of the Mazarin Chest: structural response of Japanese lacquer to variations in relative humidity", *ICOM Committee for Conservation, 15th Triennial Conference, New Delhi: Preprints*, ed. I. Verger, 2, 933-940, 2008.

W aspekcie aplikacyjnym, uzyskana wiedza pozwoliła na precyzyjną ocenę niszczącego wpływu systemów grzewczych, które powodują destabilizację warunków temperatury i wilgotności we wnętrzach zabytkowych kościołów. Sklasyfikowano również wspomniane systemy ze względu na ich przydatność. W swej części inżynierskiej prace badawcze doprowadziły do opracowania nowego systemu ogrzewania zlokalizowanego do obszaru, w którym znajdują się ludzie. Dzięki temu udało się zminimalizować zaburzenia warunków w otoczeniu zabytkowego wyposażenia. Kontynuacja podjętych działań praktycznych możliwa była dzięki zdobyciu kolejnych projektów badawczych „Właściwe ogrzewanie zabytkowych kościołów drewnianych - charakterystyka cyrkulacji powietrza, osadzania się pyłów, naprężenia drewna” - projekt badawczy w ramach umowy między rządami Polski i Flandrii, oraz projekt IGNIS „Konserwatorskie systemy grzewcze dla zabytkowych kościołów”, którego byłem kierownikiem w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego – Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw. Projekt IGNIS doprowadził do opracowania nowatorskiego systemu sterowania

ogrzewaniem zapewniającym optymalne połączenie oczekiwań co do komfortu z wymaganiami związanymi z ochroną obiektów zabytkowych wrażliwych na zaburzenia klimatu. Opracowany system sterowania został wdrożony do produkcji przez firmę TermoTechnika ze Świdnicy.

Wyniki badań związanych z tematyką ochrony dziedzictwa kultury w kościołach zostały opublikowane w pracy stanowiącej podstawę przewodu habilitacyjnego, jak również w wydawnictwie książkowym, którego byłem współautorem i w kolejnej publikacji szczegółowej:

1. *Church Heating and the Preservation of the Cultural Heritage. Guide to the Analysis of the Pros and Cons of Various Heating Systems*, Electa, Mediolan, 2006.
2. L. Samek, A. De Maeyer-Worobiec, Z. Spolnik, L. Bencs, V. Kontozova, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, R. Van Grieken, "The impact of electric overhead radiant heating on the indoor environment of historic churches", *Journal of Cultural Heritage*, 8, 361-369, 2007.

Wyniki te przedstawiłem również na wielu konferencjach poświęconych prewencji konserwatorskiej. Obecnie badania związane z wpływem ogrzewania kościołów na stan zachowania zabytkowych wnętrz są kontynuowane w ramach krajowego projektu badawczego koncentrującego się na śledzeniu, analizie i ocenie konserwatorskich skutków podnoszenia i osiadania pyłów na powierzchniach architektonicznych w trakcie epizodów grzewczych:

„Wpływ ogrzewania zabytkowych kościołów na przenoszenie i osadzanie pyłów”, projekt badawczy NCN nr UMO-2011/01/D/HS2/02604.

W latach 2006-2008 byłem kierownikiem zespołu badawczego Instytutu Katalizy realizującego kolejny projekt europejski SENSORGAN w ramach 6. Programu Ramowego. Środki na realizację tego projektu udało się pozyskać dzięki opracowaniu wspomnianej wyżej metody polegającej na bezkontaktowym śledzeniu rozwoju uszkodzeń, która opiera się na pomiarze i analizie emisji akustycznej generowanej podczas mikropęknięcia materiałów. Celem badań było opracowanie zestawu czujników do śledzenia fizycznych i chemicznych uszkodzeń zabytkowych organów przez czynniki środowiska. Realizacja tego projektu doprowadziła do opracowania prostego i ekonomicznego czujnika emisji akustycznej, będącego elementem całego zestawu, pozwalającego na śledzenie *in situ* rozwoju uszkodzeń w obiektach drewnianych. Uzyskane *know how* umożliwiło podpisanie umowy licencyjnej z firmą Hanwell Ltd. i wdrożenie do produkcji opracowanego prototypu. Czujnik emisji akustycznej został zintegrowany z innymi elementami oferowanymi przez producenta w jeden system radiowego monitoringu warunków przechowywania obiektów zabytkowych, który jest obecnie w ofercie rynkowej firmy – <http://www.the-imcgroup.com/product/item/woodwatch>

Ponadto efektem prac była publikacja:

C.J. Bergsten, M. Odlyha, S. Jakiela, J. Slater, A. Cavicchioli, D.L.A. de Faria, A. Niklasson, J.-E. Svensson, L. Bratasz, D. Camuffo, A. della Valle, F. Baldini, R. Falciai, A. Mencaglia, F. Senesi, C. Theodorakopoulos „Sensor System for Detection of Harmful Environments for Pipe Organs (SENSORGAN)”, *e-Preservation*, 7, 116-125, 2010.

Opisaną metodę rozwijałem w ramach kolejnych projektów badawczych:

- SMOOHS, 7. Program Ramowy Unii Europejskiej, 2008-2011.
- „Emisja Akustyczna do monitorowania obiektów muzealnych jako uniwersalna metoda prewencji konserwatorskiej” – projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, którego byłem kierownikiem, 2009-2012.
- „Opracowanie metody monitorowania rozwoju mikro uszkodzeń materiałów mineralnych stosowanych w zabytkowych obiektach architektury i rzeźby”, projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2009-2013.

Innym tematem badawczym, rozpoczętym w projekcie FRIENDLY HEATING i kontynuowanym później było modelowanie numeryczne sorpcji i transportu pary wodnej oraz powstających naprężeń w materiałach zabytkowych wrażliwych na wahania temperatury i wilgotności względnej w otoczeniu. Modelowanie to zastosowałem do oceny wpływu globalnej zmiany klimatu na obiekty drewniane i mineralne materiały ilaste w ramach kolejnego projektu 6. Programu Ramowego Unii Europejskiej NOAH'S ARK (2005-2007). Prace badawcze polegały na modelowaniu dla całej Europy, z rozdzielczością 50x50 km², wpływu przewidywanej zmiany klimatu na materiały i obiekty w perspektywie roku 2100. Pozwoliło to na stworzenie atlasu wpływu globalnej zmiany klimatu na europejskie dziedzictwo kultury, publikacji przeznaczonej dla środowisk decydujących o polityce w ochronie dziedzictwa:

C. Sabioni, A. Bonazza P. Messina, M. Cassar, P. Biddulph, N. Blades, P. Brimblecombe, C. Grossi, I. Harris, J. Tidblad, R. Kozłowski, Ł. Bratasz, S. Jakiela, M. Drdacky, J. Blaha, I. Herle, J. Lesak, D. Masin, S. Pospisil, Z. Slizokwa, C. Saiz-Jimenez, T. Grontoft, G. Svenningsen, I. Wainwright, C. Hawkins, A. Gomez-Bolea, X. Arino Vila, E. Llop, „*The atlas of climate change impact on European cultural heritage*”, Anthem Press, 2010.

Projektowi NOAH'S ARK przyznano pierwszą nagrodę Unii Europejskiej w dziedzinie dziedzictwa kultury, Europa Nostra, w kategorii badania.

Ponadto, prowadzone badania pozwoliły na opublikowanie jednej publikacji, która jest podstawą przewodu habilitacyjnego.

Opisana powyżej analiza naprężeń powstałych na skutek sorpcji i transportu pary wodnej w obiektach zawierających materiały higroskopijne jest nadal jednym z głównych obszarów mojej pracy badawczej. Tematykę tę poszerzyłem o zagadnienia mechanizmu uszkodzeń układów warstwowych charakterystycznych dla większości dzieł sztuki. Zrozumienie takich wielowarstwowych struktur złożonych z materiałów wrażliwych na oddziaływanie pary wodnej – których ważną kategorią jest drewno polichromowane – jest jednym z najważniejszych wyzwań współczesnej nauki o ochronie dziedzictwa, zarówno w aspekcie poznawczym jak i praktycznym związanym z ochroną obiektów. Realizowałem ten temat w ramach zadań badawczych kilku projektów:

- „Ustalenie norm dopuszczalnych fluktuacji mikroklimatu dla drewna polichromowanego”, Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego,
- „Zarządzanie kolekcją muzealną w oparciu o komputerowe modelowanie wpływu wahań mikroklimatu na obiekty zabytkowe” projekt badawczy w ramach Akcji COST,
- „Mechanizm zniszczeń obrazów panelowych z uwzględnieniem struktury przyrostów rocznych drewna i rzeczywistych fluktuacji klimatu”, projekt badawczy NCN, którego jestem kierownikiem.

Sz szczególnie nowatorskie w skali międzynarodowej były badania nad uszkodzeniami materiałów historycznych o charakterze zmęczeniowym powstałymi pod wpływem wielokrotnie powtarzanych cykli zaburzeń warunków otoczenia, co stanowi istotną cechę środowiska wielu budowli zabytkowych i muzeów.

Podjęcie tego zagadnienia wymagało opracowania nowej metody pomiaru rozwoju uszkodzeń za pomocą technik interferometrycznych, które można będzie stosować zarówno w laboratorium jak i w rzeczywistych warunkach obiektu zabytkowego. Rozpoczęte prace rozwojowe związane z rozwinięciem i wykorzystaniem metody wibrometrii akustycznej sprzężonej z interferometrią plamkową dostarczyły nie tylko użytecznego narzędzia badawczego, ale doprowadziły także do dalszego udoskonalenia samej metody pomiaru i analizy danych, co stało się podstawą publikacji w czasopiśmie z listy Thomsona Reutersa:

Ł. Lasyk, M. Łukomski, Ł. Bratasz, „Simple DSPI for Investigation of Art Objects”, *Optica Applicata*, XLI, No. 3, 687-700, 2011.

Innym, bardzo odmiennym kierunkiem moich badań w okresie ostatnich kilku lat było określenie właściwości i wymogów stosowania tzw. cementów romańskich lub rzymskich - naturalnych spoiw hydraulicznych szeroko stosowanych do dekoracji elewacji budynków w XIX i początku XX wieku. Po roku 1914 zaprzestano produkcji i

stosowania tych materiałów w związku z wdrożeniem i produkcją na masową skalę nowego cementu portlandzkiego. Dokładne badania fizykochemiczne nad reakcjami prowadzącymi do syntezy krzemianów i glinokrzemianów wapnia w trakcie wypalania surowców oraz zachodzących podczas hydratacji cementów były możliwe w skutek realizacji dwóch projektów badawczych Unii Europejskiej w ramach 5. i 7. Programu Ramowego: ROCEM (realizowany w latach 2003-2006) oraz ROCARE (realizowany w latach 2009-2012).

Moje badania skupiły się na dwóch zagadnieniach: optymalizacji właściwości materiałów w celu ograniczenia zagrożenia uszkodzeniem materiału zabytkowego w czasie naprawy nowym cementem romańskim - innymi słowy kompatybilności nowego materiału naprawczego z podłożem zabytkowym – oraz optymalizacji procesu hydratacji cementu romańskiego tak, aby zminimalizować jego pękanie w trakcie wysychania. Prowadzone badania były ściśle powiązane z technikami aplikacyjnymi ważnymi dla praktycznej konserwacji dziedzictwa architektonicznego. Część otrzymanych wyników została już opublikowana:

G. Adamski, L. Bratasz, N. Mayr, D. Mucha, R. Kozłowski, M. Stilhammerova and J. Weber, „Roman Cement – key historic material to cover the exteriors of buildings”, Technical Report of the RILEM’s Technical Committee „*Historic mortars*”, 2-1, 2009.

W ramach prowadzonych badań i międzynarodowych projektów współpracuję w sposób stały z wieloma ośrodkami o ugruntowanej pozycji w dziedzinie badań nad dziedzictwem i jego ochroną. Do najważniejszych należą:

- Instytut Nauki o Atmosferze i Klimacie CNR, Padwa, Włochy
- Smithsonian Institution, Waszyngton, USA
- Muzeum Wiktorii i Alberta, Londyn, Wielka Brytania
- Instytut Badań nad Dziedzictwem Kulturowym NIKU, Oslo, Norwegia

6.3. ROZWÓJ LABORATORIUM ANALIZ I NIENISZCZĄCYCH BADAŃ OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH MUZEUM NARODOWEGO W KRAKOWIE

Realizowana działalność naukowa oraz dydaktyczna zaowocowała zaproszeniem mnie do współpracy z powstałym w 2004 roku Laboratorium Analiz i Nieniszczących Badań Obiektów Zabytkowych w Muzeum Narodowym w Krakowie, którego jestem obecnie kierownikiem. Moja działalność w Laboratorium przyniosła realizację 8 projektów badawczych krajowych i Unii Europejskiej, dzięki którym rozwinięto ważne dla instytucji kultury metody badania obiektów zabytkowych i metody ich ochrony:

- „Poprawa ochrony obrazów podczas wystaw, przechowywania i transportu”, projekt badawczy, 6. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2008-2010.
- „Bezpieczna ekspozycja w muzeach dzieł sztuki wrażliwych na fotodegradację”, projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych, 2008-2010, pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.
- „Bezpośrednie monitorowanie odkształceń tkanin w celu ochrony zabytkowych obiektów tekstylnych i podobrazii”, projekt w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego, 2008-2011, pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.
- „Technologie i narzędzia oceny i diagnozy wpływu zanieczyszczeń powietrza na dziedzictwo kultury”, projekt badawczy, 7. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2008-2011, pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.
- „Zabytkowe obiekty drewniane impregnowane polimerami: zmiany strukturalne, ocena zagrożeń, strategia ochrony”, projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych, 2009-2011, którego byłem kierownikiem.
- „Opracowanie metody monitorowania rozwoju mikro uszkodzeń materiałów mineralnych stosowanych w zabytkowych obiektach architektury i rzeźby”, projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2009-2012.
- „Zarządzanie kolekcją muzealną w oparciu o komputerowe modelowanie wpływu wahań mikroklimatu na obiekty zabytkowe”, projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych, 2009-2011.
- „Nicolaus Haberschrack - pictor de Cracovia”, projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2010-2013.

Pozyskane środki zewnętrzne w łącznej wysokości 5 mln zł, pozwoliły na rozwój kadry kierowanej przeze mnie grupy badawczej, który ilustruje poniższa tabela:

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
chemicy ze stopniem doktora	-	1	1	1	2	2
chemicy ze stopniem magistra	-	-	1	2	1	1
fizycy ze stopniem doktora	-	1	1	1	1	1
fizycy ze stopniem magistra	1	1	1	1	1	1
konserwatorzy	1	1	1	1	2	2
specjaliści od pozyskiwania funduszy	-	1	1	1	1	1

Pozwoliły również na stworzenie nowoczesnej bazy aparaturowej, unikatowej w skali polskich muzeów, na którą składają się: system obrazowania hiperspektralnego, mikroskop SEM, system radiowego monitoringu warunków przechowywania, system bezprzewodowej radiografii cyfrowej, spektrometr μ -fluorescencji rentgenowskiej, przenośny spektrometr ramanowski, spektrofotometr, skaner 3D, zestaw emisji akustycznej, mikrofedometr, fourierowski spektrometr w podczerwieni z zestawem światłowodów do nieinwazyjnego badania obiektów zabytkowych.

Rozwijając działalność badawczą w Muzeum nawiązałem stałą współpracę z następującymi zagranicznymi placówkami badań z zakresu nauk ścisłych i technicznych nad dziedzictwem kultury: Instytutem Getty’ego, federalnym zespołem muzeów i centrów badawczych Stanów Zjednoczonych „The Smithsonian Institution”, agencją rządu Wielkiej Brytanii ds. dziedzictwa „English Heritage”, Kanadyjskim Instytutem Konserwacji, Muzeum Wiktorii i Alberta, Galerią Tate i Laboratorium Rathgena.

Ponadto podjąłem starania o nadanie Muzeum kategorii jednostki naukowej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i przyznanie dotacji na działalność statutową. W roku 2009, Muzeum jako pierwsze i dotąd jedyne muzeum w Polsce otrzymało kategorię jednostki naukowej. Od 2012 roku muzeum posiada także Radę Naukową, której jestem członkiem.

Muzeum Narodowe w Krakowie zostało zaproszone do reprezentowania Polski w projekcie Unii Europejskiej NET-HERITAGE (realizowanego w latach 2008-2011) z ramienia Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego. Zostałem kierownikiem zespołu realizującego projekt. NET-HERITAGE był projektem typu Era-Net a jego celem była koordynacja polityki ministerstw 15 krajów Unii Europejskiej w zakresie badań nad ochroną dziedzictwa kultury. Najważniejszymi zadaniami były: wybór priorytetów badawczych, stworzenie platformy umożliwiającej przeprowadzenie wspólnego konkursu w dziedzinie badań nad ochroną materialnego dziedzictwa kultury oraz stworzenie wspólnych ram programowych dla edukacji podyplomowej w tej dziedzinie.

W projekcie pełniłem rolę koordynatora pakietu zadań poświęconego edukacji podyplomowej.

W ramach realizacji projektu NET-HERITAGE zostałem przewodniczącym Zespołu Ekspertów przy Ministrze Kultury i Dziedzictwa Narodowego opracowującego krajowe priorytety w dziedzinie badań nad dziedzictwem kultury. Zespół ten opracował raport dostępny w witrynie

<http://www.mkidn.gov.pl/pages/posts/net-heritage-1591.php>

Raport ten stał się podstawą do podjęcia działań opisanych w punkcie 6.4.

6.4. DZIAŁALNOŚĆ NA RZECZ WZMOCNIENIA OBSZARU BADAŃ NAD DZIEDZICTWEM KULTURY W POLSCE

Wynikiem dalszej współpracy z Ministerstwem Kultury i Dziedzictwa Narodowego były działania zmierzające do wzmocnienia badań nad dziedzictwem kultury, zwłaszcza w zakresie jego ochrony. Doprowadziły one do:

- wprowadzenia do Krajowego Programu Badań (KPB) zapisów o priorytetach związanych z dziedzictwem kultury w strategicznym kierunku badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków”.
- do przystąpienia Polski do Wspólnej Inicjatywy Programowej Rady Europy w zakresie badań nad dziedzictwem. W 2009 roku Rada Europy postanowiła dokonać przeglądu wspólnej polityki naukowej krajów członkowskich Unii Europejskiej pod kątem wyboru obszarów priorytetowych. Ze zgłoszonych 17 propozycji, w pierwszej kolejności tylko trzy obszary uzyskały akceptację Rady Europy: „zdrowie”, „żywność” oraz „dziedzictwo kultury”.

6.5. DZIAŁALNOŚĆ W ZAKRESIE NORMALIZACJI

W 2005 roku zostałem ekspertem Grupy Roboczej 4 „Środowisko” Komitetu Technicznego 346 „Konserwacja dziedzictwa kultury”, Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN. Jako członek tej grupy byłem jednym z twórców czterech oficjalnie przyjętych norm europejskich poświęconych metodom pomiaru w obszarze ochrony dziedzictwa oraz określeniu optymalnych warunków przechowywania obiektów:

- European Standard EN 15758:2010, Conservation of Cultural Property - procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects.

- European Standard EN 15757:2010, Conservation of Cultural Property - specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced damage in organic hygroscopic materials.
- European Standard EN 15759:2011, Conservation of Cultural Property - Indoor Climate - Part 1: Guidelines for heating churches, chapels and other places of worship.
- European Standard EN 16242:2012 Conservation of cultural property - Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property.

Dwie dalsze normy są w trakcie opracowania. W 2010 roku byłem inicjatorem powołania Komitetu Technicznego Polskiego Komitetu Normalizacyjnego poświęconego zagadnieniom ochrony dziedzictwa. Komitet Techniczny 311, „Konserwacja Dziedzictwa Kultury” został powołany w 2011 roku i wyniku przeprowadzonych wyborów zostałem jego przewodniczącym.

6.6. CZŁONKOSTWO ZESPOŁÓW EKSPERCKICH I TOWARZYSTW NAUKOWYCH

Jestem członkiem kilku prestiżowych grup eksperckich. Największym moim osiągnięciem w tej dziedzinie był wybór do dwunastoosobowego Komitetu Naukowego Wspólnej Inicjatywy Badawczej Rady Europy – „Wyzwanie dla dziedzictwa kultury: zapewnienie ochrony w odpowiedzi na kluczowe zmiany w Europie w kontekście globalnym” wyłonionego spośród ponad stu zgłoszonych kandydatów. Szczególnym wyróżnieniem jest fakt, że jestem jedynym przedstawicielem z krajów Europy Centralnej i Wschodniej w tym Komitecie.

Innym cennym wyróżnieniem jest nominacja na członka Zespołu Ekspertów Rady Nauk o Sztuce i Nauk Humanistycznych Wielkiej Brytanii (Art and Humanities Research Council, UK) odpowiedzialnej za koordynację polityki badawczej w zakresie nauk przyrodniczych i inżynierskich w obszarze dziedzictwa kultury.

Ponadto jestem członkiem dwóch ciał naukowych:

- Rady Naukowej Muzeum Narodowego w Krakowie
- Komitetu Konserwacji Międzynarodowej Rady Muzeów - ICOM, Grupa Robocza „Konserwacja prewencyjna”.

Prowadząc badania nad romańskimi cementami byłem członkiem Stowarzyszenia Technicznego RILEM, Komitet Techniczny „Zaprawy naprawcze dla zabytkowych wątków”, 2005-2007.

7. SZCZEGÓŁOWA LISTA OSIĄGNIĘĆ

7.1. LISTA PUBLIKACJI (PO DOKTORACIE)

W czasopismach międzynarodowych objętych Journal Citations Reports Thomsona Reutersa

1. Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations for painted wood”, *Studies in Conservation*, 58, 65-79, 2013, udział habilitanta 100%.
2. W. Zawadzki, M. Bartosik, K. Dzierżęga, Ł. Bratasz, M. Łukomski, E. Peacock “Application of fiber Bragg gratings for strain measurement in historic textiles and paintings on canvas”, *Optica Applicata*, Vol. XLII, 3, 503-517, 2012, udział habilitanta 20%.
3. Ł. Bratasz, I. Harris, Ł. Lasyk, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Future climate-induced pressures on painted wood”, *Journal of Cultural Heritage*, 13, 365–370, 2012, udział habilitanta 60%.
4. B. Rachwał, Ł. Bratasz, L. Krzemień, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Fatigue damage of the gesso layer in panel paintings subjected to changing climate conditions”, *Strain*, 48, 474-481, 2012, udział habilitanta 60%.
5. Ł. Bratasz, A. Kozłowska, R. Kozłowski, „Analysis of water adsorption by wood using the Guggenheim-Andersen-de Boer equation”, *Eur. J. Wood Prod.* 70, 445-451, 2012, udział habilitanta 70%.
6. B. Rachwał, Ł. Bratasz, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Response of wood supports in panel paintings subjected to changing climate conditions”, *Strain*, 48, 357–444, 2012, udział habilitanta 60%.
7. Ł. Lasyk, M. Łukomski, Ł. Bratasz, „Simple DSPI for Investigation of Art Objects”, *Optica applicata*, XLI, 3, 687-700, 2011, udział habilitanta 30%.
8. D. Camuffo, E. Pagan, S. Rissanen, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, M. Camuffo, A. della Valle, „An advanced church heating system favourable to artworks: A contribution to European standardisation”, *Journal of Cultural Heritage*, 11, 205–219, 2010, udział habilitanta 30%.
9. S. Jakięła, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Numerical modelling of moisture movement and related stress field in lime wood subjected to changing climate conditions”, *Wood Science and Technology*, 42, 21-37, 2008, udział habilitanta 50%.
10. S. Jakięła, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Acoustic emission for tracing fracture intensity in lime wood due to climatic variations”, *Wood Science and Technology*, 42, 269-279, 2008, udział habilitanta 50%.

11. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, D. Camuffo, E. Pagan, „Impact of indoor heating on painted wood: monitoring the altarpiece in the church of Santa Maria Maddalena in Rocca Pietore, Italy”, *Studies in Conservation*, 52, 199-210, 2007, udział habilitanta 70%.
12. S. Jakieta, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Acoustic emission for tracing the evolution of damage in wooden objects”, *Studies in Conservation*, 52, 101-109, 2007, udział habilitanta 50%.
13. L. Samek, A. De Maeyer-Worobiec, Z. Spolnik, L. Bencs, V. Kontozova, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, R. Van Grieken, „The impact of electric overhead radiant heating on the indoor environment of historic churches”, *Journal of Cultural Heritage*, 8, 361-369, 2007, udział habilitanta 30%.
14. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Laser sensors for continuous monitoring of dimensional response of wooden objects in situ”, *Studies in Conservation*, 50, 307-315, 2005, udział habilitanta 80%.
15. K. Dzieręga, Ł. Bratasz, S. Pellerin, B. Pokrzywka and K. Musioł, „Stark Width and Shift Measurement for the 696,543nm ArI line using degenerate four wave mixing (DFWM) Spectroscopy”, *Physica Scripta* 67, 1-7, 2003, udział habilitanta 40%.
16. S. Zielinska, L. Bratasz and K. Dzieręga, „Absolute Transition Rates for transition from $5p^4 (^3P) 6p^4 P^o_{5/2}$, $4P^o_{3/2}$, $4D^o_{7/2}$ and $2D^o_{5/2}$ levels of Xe II”, *Physica Scripta*, 66 (6), 454-457, 2002, udział habilitanta 30%.

Publikacje w innych czasopismach międzynarodowych i polskich

1. D. Wilk, Ł. Bratasz, P. Frączek, M. Obarzanowski, A. Klisińska-Kopacz, J. Czop, „Konstrukcja i zastosowanie ram mikroklimatycznych w Muzeum Narodowym w Krakowie”, *Wiadomości Konserwatorskie*, 30, 154-167, 2011, udział habilitanta 30%.
2. C.J. Bergsten, M. Odlyha, S. Jakieta, J. Slater, A. Cavicchioli, D.L.A. de Faria, A. Niklasson, J.-E. Svensson, L. Bratasz, D. Camuffo, A. della Valle, F. Baldini, R. Falciai, A. Mencaglia, F. Senesi, C. Theodorakopoulos „Sensor System for Detection of Harmful Environments for Pipe Organs (SENSORGAN)”, *e-Preservation* 7, 116-125, 2010, udział habilitanta 20%.
3. D. Wilk, Ł. Bratasz „Skuteczne zabezpieczenie obrazów przed niekorzystnymi wpływami środowiska muzealnego poprzez zastosowanie ram mikroklimatycznych”, *Ochrona Zabytków*, 3, 47-58, 2009, udział habilitanta 50%.
4. Ł. Bratasz, J. Weber, K. Sterflinger, *Raumklimatische Untersuchungen. „Die Wandmalereien in der so genannten Paulusgrotte von Ephesos“*, *Anzeiger der*

philosophisch-historischen Klasse der Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften, 143, 107-116, 2009, udział habilitanta 60%.

5. G. Adamski, L. Bratasz, N. Mayr, D. Mucha, R. Kozłowski, M. Stilhammerova and J. Weber, „Roman Cement – key historic material to cover the exteriors of buildings”, Technical Report of the RILEM’s Technical Committee „Historic mortars” e-ISBN 978-2-35158-083-7, 2-1, 2009, udział habilitanta 20%.

Rozdziały w książkach

1. C. Sabioni, A. Bonazza P. Messina, M. Cassar, P. Biddulph, N. Blades, P. Brimblecombe, C. Grossi, I. Harris, J. Tidblad, R. Kozłowski, Ł. Bratasz, S. Jakięła, M. Drdacky, J. Blaha, I. Herle, J. Lesak, D. Masin, S. Pospisil, Z. Slizokwa, C. Saiz-Jimenez, T. Grontoft, G. Svenningsen, I. Wainwright, C. Hawkins, A. Gomez-Bolea, X. Arino Vila, E. Llop, „The atlas of climate change impact on European cultural heritage”, Anthem Press, 2010, udział habilitanta 5%.

2. Ł. Bratasz, „Acceptable and non-acceptable microclimate variability: the case of wood”, Basic Environmental Mechanisms Affecting Cultural Heritage, Nardini Editore, Florencja, 49-58, 2010, udział habilitanta 100%.

3. R. Kozłowski, Ł. Bratasz „Church Heating and the Preservation of the Cultural Heritage. Guide to the Analysis of the Pros and Cons of Various Heating Systems”, Electa, Mediolan, 2006, udział habilitanta 60%.

Publikacje w recenzowanych materiałach konferencyjnych

1. Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations in museums and historic buildings”, Climate for Collections: Standards and Uncertainties, Monachium, Niemcy, 2012, udział habilitanta 100%.

2. M. Łukomski, J. Czop, M. Strojcki, Ł. Bratasz, „Acoustic Emission monitoring: on the path to rational strategies for collection care”, Climate for Collections: Standards and Uncertainties, Monachium, Niemcy, 2012, udział habilitanta 30%.

3. M. Strojcki, Ł. Bratasz, M. Łukomski, „Acoustic Emission for Tracing Damage in Wooden Artworks”, Proceedings of World Conference on Acoustic Emission – 2011 Beijing, Pekin, Chiny, 256-261, 2011, udział habilitanta 30%.

4. Ł. Bratasz, M. Strojcki, A. Klisińska-kopacz, M. Łukomski, „AE and works of art”, Proceedings of World Conference on Acoustic Emission – 2011 Beijing, Pekin, Chiny, 581-586, 2011, udział habilitanta 40%.

5. M. Strojceki, C. Colla, M. Łukomski, E. Gabrielli, Ł. Bratasz, „The Kaiser effect in wood- does historic wood have stress memory?“, Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation EWCHP-2011, Berlin, ed. M. Krüger, Fraunhofer IRB Verlag ISBN 978-3-8167-8560-6, 171-176, 2011, udział habilitanta 10%.
6. D. Wilk, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Acoustic emission for monitoring crack formation in Roman cement mortars“, Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation EWCHP-2011 Berlin, M. Krüger, Ed., Fraunhofer IRB Verlag, [ISBN 978-3-8167-8560-6], pp. 177-181, 2011, udział habilitanta 30%.
7. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, Ł. Lasyk, M. Łukomski, B. Rachwał, „Allowable microclimatic variations for painted wood: numerical modelling and direct tracing of damage“, ICOM Committee for Conservation, 16th Triennial Conference, Lisbon, 2011, udział habilitanta 40%.
8. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, Ł. Lasyk, M. Łukomski „Allowable microclimatic variations for painted wood: direct tracing of damage development“, Postprints of Symposium „Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training“, eds. A.S. Chui, A. Phenix, Getty Conservation Institute, Los Angeles, 158-164, 2011, udział habilitanta 50%.
9. D. Wilk, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, "Reducing shrinkage cracks in Roman cement renders", RILEM Proceedings PRO 78, 2nd Historic Mortars Conference & RILEM TC 203-RHM Repair Mortars for Historic Masonry Final Workshop, eds. J. Valek, C. Groot, J.J. Hughes, e-ISBN: 978-2-35158-112, 2010, udział habilitanta 20%.
10. Ł. Lasyk, M. Łukomski, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Vibration as a hazard during the transportation of canvas paintings“, Conservation and Access: Contributions to the London Congress, eds. D. Saunders, J. H. Townsend, S. Woodcock, The International Institute of Conservation of Historic and Artistic Works, London, 1, 64-68, 2008, udział habilitanta 20%.
11. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, A. Kozłowska, S. Rivers, „Conservation of the Mazarin Chest: structural response of Japanese lacquer to variations in relative humidity“, ICOM Committee for Conservation, 15th Triennial Conference, New Delhi: Preprints, ed. I. Verger, 2, 933-940, 2008, udział habilitanta 60%.
12. Ł. Bratasz, S. Jakięła, Ł. Lasyk, R. Kozłowski, „Direct monitoring of damage in clay-containing sandstones by acoustic emission“, Proceedings of 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, eds. J. W. Łukaszewicz, P. Niemcewicz, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2, 349-356, 2008, udział habilitanta 40%.

13. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, D. Camuffo, „Target microclimate for preservation derived from past indoor conditions”, Contributions to the Museum Microclimates Conference, The National Museum of Denmark, Copenhagen, 129-134, 2007, udział habilitanta 60%.
14. Ł. Bratasz, S. Jakięła, R. Kozłowski, „Allowable thresholds in dynamic changes of microclimate for wooden cultural objects: monitoring in situ and modeling”, 14th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, the Hague, 12-16 September 2005: Preprints, James & James, London, 2, 582-589, 2005, udział habilitanta 60%.

Publikacje w pozostałych materiałach konferencyjnych

1. Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations in museums and historic buildings”, Climate for Collections: Standards and Uncertainties, Monachium, Niemcy, 2012, udział habilitanta 100%.
2. Ł. Bratasz, B. Rachwał, Ł. Lasyk, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Analysis of Fatigue Process in Painted Wood”, Proceedings of the wood culture and science Kyoto 2011, the 177th Symposium on Sustainable Humanosphere, Kioto, Japonia, 137-141, 2011, udział habilitanta 40%.
3. M. Łukomski, Ł. Bratasz, M. Strojcecki, „Understanding the Response of Painted Wood to the Environmental Impacts – a path to rational strategies for the collection care”, Proceedings of the wood culture and science Kyoto 2011, the 177th Symposium on Sustainable Humanosphere, Kioto, Japonia, 142-147, 2011, udział habilitanta 30%.
4. R. Kozłowski, Ł. Bratasz „Target microclimates for preservation of wooden object: an attempt at standardization”, Proceedings of the international conference held by COST Action IE0601, ed. Luca Uzielli, Firenze University Press, 127-132, 2010, udział habilitanta 50%.
5. Ł. Łukasz, M. Łukomski, Ł. Bratasz, „Simple Electronic Speckle Pattern Interferometer (ESPI) for the Investigation of Wooden Art Objects”, „Wood Science for Conservation of Cultural Heritage – Braga 2008: Proceedings of the International Conference held by COST Action IE0601, Braga (Portugal), 5-7 November 2008”, ed. J. Gril, Firenze University Press, ISBN 978-88-6453-157-1, 11-16, 2010, udział habilitanta 10%.
6. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Entwicklung der neuen EU-Normen – The CEN TC346 draft standard on heating historic churches: minimising disturbance to the indoor climate”, Klimagestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und

Nutzerwünschen, Tagungsblatt des 1. Konservierungswissenschaftlichen Kolloquiums, Berlin, 24-31, 2007, udział habilitanta 80%.

7. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, "Środowisko w muzeach i obiektach zabytkowych. Kierunki standaryzacji przyjęte przez Europejski Komitet Normalizacyjny", Konserwacja zapobiegawcza w muzeach, red. D. Folga-Januszewska, Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Warszawa, 155-164, 2007, udział habilitanta 50%.

8. Ł. Bratasz, S. Jakiela, R. Kozłowski, "Szok mikroklimatyczny przy przenoszeniu obiektów drewnianych", Konserwacja zapobiegawcza w muzeach, red. D. Folga-Januszewska, Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Warszawa, 233-240, 2007, udział habilitanta 40%.

We wszystkich pracach z zakresu habilitacji mój udział polegał na sformułowaniu problemu badawczego, zaplanowaniu programu badań, opracowaniu metodologii badawczej, kierowaniu prowadzonymi obliczeniami i pomiarami, częściowym prowadzeniu pomiarów, analizie i interpretacji wyników i współudziale przez przygotowaniu manuskryptów. W artykule H11 z tego cyklu dokonałem także twórczej syntezy istniejących danych, koncepcji i podejść badawczych, co pozwoliło na stworzenie całościowego obrazu zagadnienia.

W pozostałych publikacjach mój udział polegał na analizie problemu badawczego, zaplanowaniu programu badań, opracowaniu metodologii badawczej, prowadzeniu badań, analizie wyników i ich interpretacji.

7.2. UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH

1. „Właściwe systemy grzewcze zapewniające komfort ludziom i ochronę dzieł sztuki przechowywanych w kościołach” - projekt badawczy Nr EVK4-2001-00007 „FRIENDLY HEATING”, 5. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2002 – 2005.

2. „Cement romański do właściwej konserwacji zabytków architektury” - projekt badawczy Nr EVK4-2001-00159 „ROCEM”, 5. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2003-2006.

3. „Właściwe ogrzewanie zabytkowych kościołów drewnianych - charakterystyka cyrkulacji powietrza, osadzania się pyłów, naprężenia drewna” - projekt badawczy we ramach umowy między rządami Polski i Flandrii, współrealizowany przez Centrum Mikroanaliz i Analiz Śladowych Uniwersytetu w Antwerpii oraz Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie, 2004-2006.

4. „Wpływ globalnej zmiany klimatu na dziedzictwo architektoniczne i krajobraz kulturowy” – projekt badawczy Nr SSP1-CT-2003-501837 „NOAH’S ARK”, 6. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2004-2007.
5. „Wdrożenie technologii cementu romańskiego do praktycznej konserwacji zabytków” – „TECHKON”, projekt Sektorowego Programu Operacyjnego – Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw, WKP_1/1.4.1/1/2005/8/8/222/2005/U, 2005-2008.
6. „Układ czujników do wykrywania szkodliwych warunków dla instrumentów organowych” – projekt badawczy Nr SSPI CT- 2005-022695 „SENSORGAN”, 6. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2006-2008, **pełniłem rolę kierownika projektu w IKiFP.**
7. „Chemiczne oddziaływania pomiędzy obiektami zabytkowymi a środowiskiem we wnętrzach” - Akcja COST D42, 2006-2010.
8. „Ustalenie norm dopuszczalnych fluktuacji mikroklimatu dla drewna polichromowanego” – projekt badawczy nr PL0086, Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego, 2007-2010, współrealizowany przez Instytut Badań nad Dziedzictwem Kulturowym NIKU w Oslo.
9. „Konserwatorskie systemy grzewcze dla zabytkowych kościołów” – „IGNIS”, projekt Sektorowego Programu Operacyjnego – Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw, WKP_1/1.4.1/1/2006/93/93/648/2007/U, 2006-2008, **pełniłem rolę kierownika projektu.**
10. „Nauka o drewnie w konserwacji dziedzictwa kultury” - Akcja COST IE0601, 2007-2011.
11. „Poprawa ochrony obrazów podczas wystaw, przechowywania i transportu”, projekt badawczy Nr SSP-CT-2007-044254 „ProPaint”, 6. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2008-2010.
12. „Inteligentne monitorowanie obiektów zabytkowych”, projekt badawczy Nr ENV-2007-212939, „SMOOHS”, 7. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2008-2011.
13. „Bezpieczna ekspozycja w muzeach dzieł sztuki wrażliwych na fotodegradację”- projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych Nr 193/N-COST/2008/0 „Anoksja”, 2008-2010, **pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.**
14. „Bezpośrednie monitorowanie odkształceń tkanin w celu ochrony zabytkowych obiektów tekstylnych i podobrazii” projekt w ramach Mechanizmu

Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego Nr PL0267 „Fiber”, 2008-2011, **pełniłem rolę kierownika projektu w IKiFP.**

15. „Technologie i narzędzia oceny i diagnozy wpływu zanieczyszczeń powietrza na dziedzictwo kultury” projekt badawczy Nr ENV-2007-212458 „TeACH”, 7. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej, 2008-2011, **pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.**

16. „Zabytkowe obiekty drewniane impregnowane polimerami: zmiany strukturalne, ocena zagrożeń, strategia ochrony” projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych Nr 519/N-COST/2009/0 „Polimery”, 2009-2011, **pełniłem rolę kierownika projektu.**

17. „Europejska sieć dotycząca programu badawczego w dziedzinie ochrony materialnego dziedzictwa kultury” projekt badawczy Nr ENV-2007- 219301, 7. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej „NET-HERITAGE”, 2008-2011, **pełniłem rolę kierownika projektu w MNK.**

18. „Emisja Akustyczna do monitorowania obiektów muzealnych jako uniwersalna metoda prewencji konserwatorskiej” – projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, N N105 278536, 2009-2012, **pełniłem rolę kierownika projektu w IKiFP.**

19. „Cement romański dla nowych wysokich standardów odnowy zabytków architektury”, projekt badawczy Nr ENV-2007- 226898, 7. Program Ramowy Badań Unii Europejskiej.

20. „Opracowanie metody monitorowania rozwoju mikro uszkodzeń materiałów mineralnych stosowanych w zabytkowych obiektach architektury i rzeźby”, projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr N N105 112938, 2009-2012.

21. „Zarządzanie kolekcją muzealną w oparciu o komputerowe modelowanie wpływu wahań mikroklimatu na obiekty zabytkowe” projekt badawczy w ramach Akcji COST - Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych Nr 538/N-COST/2009/0 „Envicontrol”, 2009-2011.

22. „Nicolaus Haberschrack - pictor de Cracovia”, projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr N N105 292139, 2010-2013.

23. „Wpływ ogrzewania zabytkowych kościołów na przenoszenie i osadzanie pyłów” projekt badawczy NCN nr UMO-2011/01/D/HS2/02604, 2011-2014.

24. „Mechanizm zniszczeń obrazów panelowych z uwzględnieniem struktury przyrostów rocznych drewna i rzeczywistych fluktuacji klimatu”, projekt badawczy

NCN nr UMO-2001/01/B/HS2/02586, 2011-2014, **pełnię rolę kierownika projektu w IKiFP.**

7.3. USTNE WYSTĄPIENIA KONFERENCYJNE

1. Wykład na zaproszenie Ł. Bratasz "Reviewing the guidelines: allowable microclimatic variations in museums and historic buildings", International Scientific Workshop "Heritage Science and Sustainable Development for the Preservation of Art and Cultural Assets On the Way to the GREEN Museum", Rathgen Labor, Berlin, Niemcy, 2013.
2. Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations in museums and historic buildings”, Climate for Collections: Standards and Uncertainties, Monachium, Niemcy, 2012.
3. M. Łukomski, J. Czop, M. Strojecki, Ł. Bratasz, „Acoustic Emission monitoring: on the path to rational strategies for collection care”, Climate for Collections: Standards and Uncertainties, Monachium, Niemcy, 2012.
4. M. Łukomski, M. Strojecki, Ł. Bratasz "Emisja Akustyczna jako narzędzie do planowania strategii zarządzania klimatem w muzeum" Konferencja „Analiza Chemiczna w Ochronie zabytków”, Warszawa, 2012.
5. Ł. Bratasz "Międzynarodowe normy i zalecenia dotyczące oświetlenia obiektów zabytkowych", International conference "Light in the museum - necessity or threat", Kraków, 2012.
6. J. del Hoyo Meléndez, Ł. Bratasz, M. Włodarczak, A. Klisińska-Kopacz, "Micro X-ray fluorescence analysis (μ XRF) of silver denarii from medieval Poland", 2nd International Congress „Chemistry for Cultural Heritage”, Istanbuł, Turcja, 2012.
7. A. Klisińska-Kopacz, J. M. del Hoyo-Meléndez, M. Włodarczak, Ł. Bratasz "Micro X-ray fluorescence analysis (μ XRF) of silver denarii of Bolesław Chrobry" 11. Konferencja Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego „Analiza chemiczna w ochronie zabytków”, Warszawa, 2011.
8. Ł. Bratasz, J. Czop, R. Kozłowski, M. Łukomski, „Zarządzanie mikroklimatem w obiekcie zabytkowym: zielone muzeum /otwarty scenariusz” Konferencja "Muzeum a zabytek. Konflikt czy harmonia?", Kraków, 2011.
9. Ł. Bratasz, B. Rachwał, Ł. Lasyk, M. Łukomski, R. Kozłowski, "Analysis of Fatigue Process in Painted Wood", the 177th Symposium on Sustainable Humanosphere, Kioto, Japonia, 2011.

10. M. Łukomski, Ł. Bratasz, M. Strojceki, "Understanding the Response of Painted Wood to the Environmental Impacts – a path to rational strategies for the collection care", the 177th Symposium on Sustainable Humanosphere, Kioto, Japonia, 2011.
11. M. Strojceki, Ł. Bratasz, M. Łukomski, "Acoustic Emission for Tracing Damage in Wooden Artworks", World Conference on Acoustic Emission – 2011 Beijing, Pekin, Chiny, 2011.
12. Ł. Bratasz, M. Strojceki, A. Klisińska-kopacz, M. Łukomski, "AE and works of art", World Conference on Acoustic Emission – 2011 Beijing, Pekin, Chiny, 2011.
13. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, Ł. Lasyk, M. Łukomski, and B. Rachwał, „Allowable microclimatic variations for painted wood: numerical modelling and direct tracing of the fatigue damage”, ICOM Committee for Conservation, 16th Triennial Conference, Lizbona, Portugalia, 2011.
14. M. Strojceki, C. Colla, M. Łukomski, E. Gabrielli, Ł. Bratasz, "The Kaiser effect in wood- does historic wood have stress memory?", European Workshop on Cultural Heritage Preservation EWCHP 2011, Berlin, Niemcy, 2011.
15. M. Łukomski, B. Rachwał, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, "In situ monitoring of the impact of microclimatic fluctuations on polychrome wood: a path to rational strategy for the collection care", Joint Final Conference of COST Actions IE0601 and MP0601, Paryż, Francja, 2011.
16. D. Wilk, Ł. Bratasz, „Spękania w zabytkowych zaprawach romańskich – wyjaśnienie mechanizmu ich powstawania za pomocą metod fizykochemicznych” 11. Konferencja Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego „Analiza chemiczna w ochronie zabytków”, Warszawa, 2011.
17. Ł. Bratasz, A. Sadłowska-Sałęga, K. Wąs, J. Radoń „Symulacje zużycia energii dla różnych scenariuszy kontroli mikroklimatu”, Warsztaty kończące projekt Envicontrol, Kraków, 2011.
18. Ł. Bratasz, M. Strojceki, M. Łukomski, "Acoustic emission for tracing damage directly in works of art", 39 konferencja Amerykańskiego Instytutu Konserwacji, Filadelfia, USA, 2011.
19. Ł. Bratasz, „Risk of physical damage of textile objects due to environmental variations”. Warsztat "Wpływ środowiska na stan zachowania zabytkowych tkanin", Kraków, 2011.
20. Ł. Bratasz, „The NET-HERITAGE project to foster the science-based conservation in Europe”. Warsztat „Heritage science education in a changing world”, Warszawa, 2011.

21. Ł. Bratasz, D. Wilk, „Fizykochemiczna analiza powstawania spękań w zaprawach zabytkowych” 10. Konferencja Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego „Analiza chemiczna w ochronie zabytków”, Warszawa, 2011.
22. Ł. Bratasz, M. Łukomski, W. Zawadzki, A. Klisińska-Kopacz, J. Sobczyk, M. Włodarczak, M. Bartosik, A. Wolak, A. Prokopowicz, K. Dzierżęga, „Monitoring of museums objects using optical fiber sensors”, międzynarodowa konferencja „Technologia i Technika w Badaniach Dzieł Sztuki”, Toruń, 2011.
23. Ł. Bratasz, B. Rachwał, Ł. Lasyk, M. Łukomski, R. Kozłowski „Fatigue fracture of painted wood due to repeated humidity variations”, warsztat Akcji COST 0601, Izmir, Turcja, 2010.
24. D. Wilk, Ł. Bratasz, R. Kozłowski 'Damage of R. cement mortars due to drying shrinkage”, Historic Mortar Conference, Praga, Republika Czeska, 2010.
25. M. Łukomski, Ł. Lasyk, Ł. Bratasz „Digital Speckle Pattern Interferometry (DSPI) in analysis of the climate-induced damage of painted wood surfaces”, 14th International Conference on Laser Optics, St.Petersburg, Rosja, 2010.
26. P. Frączek, J. Sobczyk, Ł. Bratasz, J. Czop „Portable digital X-ray radiography system for studies of historical objects”, 3rd Meeting X-Ray techniques in investigations of the objects of cultural heritage, Kraków, 2010.
27. J. Thomas, A. Klisińska-Kopacz, J. Sobczyk, Ł. Bratasz, T. Łojewski „Characterisation of fading behaviour of coloured papers during simulated display in anoxia”, 9th Indoor Air Quality in museums and archives, Chalon-sur-Saône, Francja, 2010.
28. Ł. Bratasz „Acceptable and non-acceptable microclimate variability: the case of wood”, warsztat akcji COST D42, Cean, Francja, 2010.
29. Ł. Bratasz, B. Rachwał „Czy istnieją bezpieczne fluktuacje wilgotności względnej?” warsztat „Ochrona drewna polichromowanego: zarządzanie klimatem w budowłach zabytkowych i muzeach”, Warszawa, 2010.
30. Ł. Bratasz, B. Rachwał „Computer modelling of dimensional response and stress fields in wooden artworks” warsztat Akcji COST 0601, Oslo, Norwegia, 2010.
31. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, Ł. Lasyk, M. Łukomski, „Allowable microclimatic variations for painted wood: direct tracing of damage development” – wykład na sesji plenarnej, sympozium „Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training”, Getty Conservation Institute, Los Angeles, USA, 2009.

32. Ł. Bratasz, „Allowable microclimatic variations for painted wood and lacquer”, warsztat Akcji COST IE0601, Cambridge, Wlk. Brytania, 2009.
33. Ł. Bratasz, S. Jakiela „Acoustic Emission Sensor for Direct Tracing of Physical Damage in Organs”, The pipe organ; the secular journey at the service for liturgy, konferencja Włoskiego Urzędu Sakralnych Obiektów Zabytkowych, Watykan, 2008.
34. C.J. Bergsten, M. Odlyha, S. Jakiela, J. Slater, A. Cavicchioli, D.L.A. de Faria, A. Niklasson, J-E Svensson, L. Bratasz, D. Camuffo, A. della Valle, F. Baldini, R. Falciai, A. Mencaglia, F. Senesi, „Sensor system for detection of harmful environments for pipe organs (SENSORGAN)” 8. Konferencja Unii Europejskiej „Conservation and Enhancement of Cultural Heritage”, Lublana, Słowenia, 2008.
35. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, S. Jakiela, „Sorption of moisture and dimensional change of wood species used in historic objects”, warsztat Akcji COST IE0601, Braga, Portugalia, 2008.
36. Ł. Lasyk, M. Łukomski, Ł. Bratasz, „Simple Electronic Speckle Pattern Interferometer (ESPI) for the investigation of wooden art objects”, warsztat Akcji COST IE0601, Braga, Portugalia, 2008.
37. Ł. Lasyk, M. Łukomski, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Vibration as a hazard during the transportation of canvas paintings”, w: *Conservation and Access: Contributions to the London Congress of the International Institute of Conservation of Historic and Artistic Works*, Londyn, Wlk. Brytania, 2008.
38. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, A. Kozłowska, S. Rivers, „Conservation of the Mazarin Chest: structural response of Japanese lacquer to variations in relative humidity”, w: *ICOM Committee for Conservation, 15th Triennial Conference*, New Delhi, Indie, 2008.
39. M. Łukomski, Ł. Lasyk, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI) in analysis of the climate-induced damage of painted wood surfaces”, Optical Coherence Tomography for Examination of ART Workshop, Toruń, 2008.
40. Ł. Bratasz, S. Jakiela, Ł. Lasyk, R. Kozłowski, „Direct monitoring of damage in clay-containing sandstones by acoustic emission”, Toruń, 2008.
41. Ł. Bratasz, S. Jakiela, M. Łukomski, R. Kozłowski, „Acoustic emission sensor for direct tracing of damage in historic objects”, 9th International Conference Art2008, Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage, Jerozolima, Izrael, 2008.
42. M. Łukomski, Ł. Lasyk, Ł. Bratasz, R. Kozłowski, „Climate-induced response of painted wood surfaces: monitoring by laser techniques”, 9th International

Conference Art2008, Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage, Jerozolima, Izrael, 2008.

43. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, D. Camuffo, „Target microclimate for preservation derived from past indoor conditions”, the Museum Microclimates Conference, Kopenhaga, Dania, 2007.

44. Ł. Bratasz , „The CEN TC346 draft standard on heating historic churches: an attempt at practical implementation”, warsztat Akcji COST D42, Kopenhaga, Dania 2007.

45. Ł. Bratasz , C. Sabbioni, A. Bonazza, P. Massina, M. Cassar, P. Biddulph, P. Brimblecombe, C. M. Grossi, I. Harris, J. Tidblad, R. Kozłowski, M. Drdácák, C. Saiz-Jimenez, J. M. Gonzalez, T. Grøntoft, I. Wainwright, A. Bolea, „Climate Change Impact on European Cultural Heritage”, Sustainable Neighbourhood – from Lisbon to Leipzig through Research, Lipsk, Niemcy, 2007.

46. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, S. Jakięła, „Climate-induced stress in wooden objects: numerical modelling and direct tracing by acoustic emission”, warsztat Akcji COST IE0601, Tervuren, Belgia, 2007.

47. M. Łukowski, Ł. Bratasz, „Mapping damage of paint layers on wood by laser vibrometry and thermography”, warsztat akcji COST IE0601, Tervuren, Belgia, 2007.

48. Ł. Bratasz, „Historic climate”, warsztat Akcji COST D42, Padwa, Włochy, 2007.

49. Ł. Bratasz, R. Kozłowski, “The CEN TC346 draft standard on heating historic churches: minimising disturbance to the indoor climate”, Klimagegestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und Nutzerwünschen, Poczdam, Niemcy, 2007.

50. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, “Target microclimates for preservation of wooden objects - an attempt at standardisation”, warsztat Akcji COST IE0601, Florencja, Włochy, 2007.

51. Ł. Bratasz, “The CEN TC346 draft standard on heating historic churches: an attempt at practical implementation”, warsztat Akcji COST D42, Kopenhaga, Dania, 2007.

52. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, “Środowisko w muzeach i obiektach zabytkowych. Kierunki standaryzacji przyjęte przez europejski komitet normalizacyjny”, konferencja „Rola konserwacji zapobiegawczej w muzeach”, Polski Komitet Narodowy ICOM i Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Warszawa, 2006.

53. Ł. Bratasz, S. Jakięła, R. Kozłowski, „Szok mikroklimatyczny przy przenoszeniu obiektów drewnianych”, konferencja „Rola konserwacji zapobiegawczej w muzeach”, Polski Komitet Narodowy ICOM i Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Warszawa, 2006.
54. Ł. Bratasz, S. Jakięła, R. Kozłowski, “Allowable thresholds in dynamic changes of microclimate for wooden cultural objects: monitoring in situ and modelling”, 14th Triennial Meeting of ICOM Committee of Conservation, Haga, Holandia, 2005.
55. G. Adamski, Ł. Bratasz, N. Mayr, D. Mucha, R. Kozłowski, M. Stilhammerova, J. Weber, “R. cement – key historic material to cover the exteriors of buildings”, warsztat Komitetu Technicznego 203-RHM RILEM, Delft, Holandia, 2005.
56. S. Jakięła, K. Cieślak, Z. Olejniczak, Ł. Bratasz, „Measurement of moisture transport in wood using low field 1D-MRI”, XXXVIII Ogólnopolskie Seminarium na Temat Magnetycznego Rezonansu Jądrowego i Jego Zastosowań, Kraków, 2005.
57. Ł. Bratasz, “Response of historic materials – a key issue in making cultural heritage policy”, 6. Konferencja Komisji Europejskiej *Sustaining Europe's cultural heritage: From Research to Policy*, Londyn, Wlk. Brytania, 2004.
58. Ł. Bratasz, “Laser monitoring of dimensional changes of wooden sculptures in the church of Rocca Pietore, Italy”, Międzynarodowy Warsztat COST G7 *Lasers & Optical Methods in Artwork Restoration*, Gdańsk, 2004.
59. Ł. Bratasz, S. Jakięła, “Acoustic emission monitoring to study environmental fatigue in wooden objects”, 6. Konferencja *Indoor Air Quality*, Padwa, Włochy, 2004.
60. S. Jakięła, R. Kozłowski, Ł. Bratasz, “Allowable thresholds in dynamic changes of microclimate for wooden cultural objects”, 6. Konferencja *Indoor Air Quality*, Padwa, Włochy, 2004.
61. S. Vasic, R. Kozłowski and Ł. Bratasz, “Modelling of internal stresses in wooden cultural objects”, III International Conference of the European Society for Wood Mechanics, Vila Real, Portugalia, 2004.
62. Ł. Bratasz, “Compatibility Assessment of a Nineteenth-Century Mortar”, 3. Międzynarodowa Konferencja *Science & Technology in Archaeology & Conservation*, Jordania, 2004.
63. R. Kozłowski, Ł. Bratasz, “Impact of heating system on the dimensional change of wood – a case study of the church in Rocca Pietore, Italy”, Internal Air Quality Workshop, Norwich, Wlk. Brytania, 2003.

7.4. OPINIE NAUKOWE I PRAKTYCZNE PROJEKTY KONSERWATORSKIE

1. Opinia „Szkodliwość używania lamp błyskowych dla obiektów wrażliwych na fotodegradację” dla Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów.
2. Opinia „Szkodliwość używania lamp błyskowych dla zespołu Arrasów Wawelskich” dla Zamku Królewskiego na Wawelu.
3. Opinia dotycząca systemu grzewczego w Słuczewie dla Mazowieckiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków 2011.
4. Opinia dotycząca systemu grzewczego w Strzelcach dla Opolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków.
5. Monitorowanie mikroklimatu krypty w Kolegiacie Wiślickiej zawierającej rytowaną romańską posadzkę (2002-2003).
6. Monitorowanie mikroklimatu i zmian wymiarowych obiektów drewnianych w kilku polskich kościołach zabytkowych, w celu oceny odpowiedzi drewna na intensywne promieniowanie podczerwone ze źródeł grzewczych (2003-2005).
7. Monitorowanie mikroklimatu w grocie św. Pawła w Efezie, Turcja, (2005-2008) i opracowanie koncepcji ograniczenia kondensacji wody na znajdujących się w jej wnętrzach wczesnochrześcijańskich freskach. Ekspertyza na rzecz Austriackiej Misji Archeologicznej w Efezie.
8. Ocena zagrożeń unikatowego obiektu z laki japońskiej - skrzyni rodziny Mazarin, projekt realizowany we współpracy z Muzeum Wiktorii i Alberta w Londynie (2005-2007). Ekspertyza na rzecz Muzeum w ramach wieloletniego programu badań i konserwacji skrzyni.
9. Monitorowanie i stabilizacja klimatu w Zamku w Malborku (2006-2008).
10. Wdrożenie prototypowego konserwatorskiego systemu grzewczego w kościele O.O. Bernardynów p.w. Zwiastowania NMP w Skępem (2006-2008).

Dodatkowo:

- brałem udział w 3 filmach upowszechniających osiągnięcia naukowe
- koordynowałem udział MNK w Festiwalach Nauki obejmujący prezentacje Laboratorium w 2010 oraz prezentacje zastosowania aparatury badawczej w Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku w Sukiennicach w 2011
- brałem udział w organizacji Festiwalu Nauki i Dni Otwartych IKiFP PAN.

7.5. DYDAKTYKA

Od 2007 roku cykliczne wykłady na Seminarium Konserwatorskim Muzeum Narodowego w Krakowie.

Od 2007 roku wykładowca na podyplomowych studiach „Konserwacja Zabytków Architektury i Urbanistyki” Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej.

W 2008 roku wykładowca na podyplomowych studiach „Nowoczesne techniki analityczne dla konserwacji obiektów zabytkowych” na Wydziale Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego.

W 2008 roku wykładowca Międzynarodowego Kursu Technologii Konserwacji Drewna, Norwegia.

W 2010 roku wykładowca Europejskiego Kursu “Management and protection of Cultural Heritage facing climate change”, Włochy.

W 2011 roku wykładowca Międzynarodowych Warsztatów “Preventive Conservation of Architectural Heritage”, Tainan, Taiwan.

Ponadto w trakcie pracy w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN byłem bezpośrednio zaangażowany w pomoc przy realizacji badań w ramach 5 doktoratów.

7.6. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

Pierwsza nagroda Unii Europejskiej w dziedzinie dziedzictwa kultury, Europa Nostra w kategorii badania, dla projektu NOAH'S ARK, którego byłem wykonawcą, 2009.

7.7. UPOWSZECHNIANIE OSIĄGNIĘĆ BADAWCZYCH

Wykłady i prezentacje:

1. Wykład na zaproszenie „Optymalizacja ochrony malarstwa tablicowego”, Metropolitan Museum, Nowy York, USA, 2011.
2. Wykład na zaproszenie „Malarstwo tablicowe: równoważąc ochronę i koszty”, Instytut Smithsona, Waszyngton, USA, 2011.
3. Wykład na zaproszenie "Greening of museums a path to rational climate control strategies for the collection care", Muzeum Wiktorii i Alberta, Londyn, Wlk. Brytania, 2011.

4. Wykład na zaproszenie „Model Framework for Advanced Education” spotkanie Europejskiej Sieci w dziedzinie Edukacji w Konserwacji-Restauracji, Wiedeń, Austria, 2010.
5. Wykład „Ochrona zabytków drewnianych - fizykochemia procesu niszczenia i zapobieganie”, Polskie Towarzystwo Chemiczne, Kraków, 2006.
6. Wykład na zaproszenie „Niszczenie zabytkowych organów”, Venice European Centre for the trades and professions of the conservation of architectural heritage - San Servolo, Włochy, 2006.
7. Wykład „Response of historic materials - a key issue in preservation of cultural heritage”, Wydział Fizyki Budowli, Politechnika w Eindhoven, Holandia, 2004.
8. Wykład „Fizyka w ochronie dzieł sztuki”, Instytut Fizyki, Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2002.



Dr Łukasz Bratasz