

Gliwice, 04.08.2023 r.

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Joanny SOBCZYK

pt.: „Weryfikacja metod analizy mikroklimatu historycznych budynków muzealnych”

wykonanej pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Jana Radonia  
i promotora pomocniczego dr inż. Agnieszki Sadłowskiej-Sałęgi

### 1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, prof. dr hab. inż. arch. Piotra Herbuta o sygnaturze 3DIŚiG 520-2/2017-2023 z dnia 6 czerwca 2023 r. wystosowane zgodnie z uchwałą wyżej wymienionej Rady z dnia 22 maja 2023 r.

Recenzję wykonano w oparciu o dostarczony egzemplarz pracy doktorskiej.

### 2. Zasadność podjętej tematyki

Stworzenie odpowiednich warunków do przechowywania i magazynowania eksponatów muzealnych jest istotną kwestią, ponieważ sposób i warunki, w jakich są przechowywane, mają kluczowe znaczenie dla ich kondycji oraz wpływają na możliwość zachowania ich dla przyszłych pokoleń. Muzea często mieszczą się w zabytkowych budynkach. Taka sytuacja znacznie komplikuje możliwość zapewnienia właściwego środowiska wewnętrznego. W wielu muzeach osiągnięcie równowagi pomiędzy ochroną eksponatów, komfortem użytkowników i bardzo ważną w dzisiejszych czasach – wysoką efektywnością energetyczną jest bardzo trudne do osiągnięcia.

Dzieła sztuki są wrażliwe na szereg parametrów środowiskowych, takich jak temperatura, wilgotność, promieniowanie optyczne, zanieczyszczenia gazowe, kurz i kolonie drobnoustrojów. Ponadto niszczenie niektórych dzieł sztuki może być spowodowane interakcją powyższych czynników. Gwałtowne wahania parametrów środowiska mają niekorzystny wpływ na dzieła sztuki. Duży wpływ na niekontrolowane wahania parametrów środowiska mają zewnętrzne warunki klimatyczne, ale również wewnętrzne obciążenia związane z ludźmi i oświetleniem. Zwłaszcza nadmierne zyski ciepła i wilgoci pochodzące od odwiedzających są bardzo zmienne w czasie. W związku z tym ochrona dzieł sztuki wymaga kontroli wewnętrznych warunków mikroklimatycznych, aby ograniczyć zjawiska degradacji.

Obserwacja parametrów środowiskowych i ich zmian w czasie może wspierać decyzje i działania mające na celu zapobieganie pogarszaniu się stanu obiektów wrażliwych. Ciągłe monitorowanie środowiska wewnętrznego pozwala konserwatorom i kuratorom na dokładne poznanie warunków mikroklimatycznych w jakich przechowywane są dzieła sztuki. Diagnostyka mikroklimatu w pomieszczeniach jest niezbędna, aby uzyskać szczegółowe informacje o faktycznej dynamice środowiska wewnętrznego w budynku, szczególnie wtedy, gdy jest on związany ze znacznym przepływem ludzi, tak jak w muzeach. Ponadto wyniki monitoringu dostarczają ważnych informacji w celu dokonania odpowiednich zmian w strategii kontroli parametrów mikroklimatycznych. Z tego punktu widzenia monitorowanie jest niezbędnym narzędziem do opracowania rzeczywistego programu kontroli prewencyjnej, mającego na celu utrzymanie optymalnych mikroklimatycznych warunków konserwacji. Dlatego też słusznym kierunkiem są działania zmierzające do pozyskania nowych informacji i uzupełnienia wiedzy, w tym zakresie. Doktorantka w pracy przeprowadziła ocenę aktualnej metodyki analizy mikroklimatu na podstawie danych pomiarowych i określiła zakres dodatkowych badań w celu rozszerzenia tej metodyki. Zatem celowość podjęcia tej tematyki w pracy doktorskiej przez Panią mgr Joannę Sobczyk jest słuszną i uzasadnioną. Temat rozprawy został sformułowany prawidłowo.

### **3. Ogólna charakterystyka układu rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa napisana jest w języku polskim i liczy 231 ponumerowanych stron głównego tekstu, plus 2 nienumerowane strony streszczenia w języku polskim i angielskim umieszczone na początku pracy. Praca obejmuje 7 numerowanych rozdziałów zawierających 19 tabel i 103 rysunki oraz nienumerowane wprowadzenie, spis tabel i rysunków oraz spis 385 cytowanych pozycji bibliograficznych.

W rozprawie doktorskiej w części teoretycznej (studialnej) zamieszczono następujące rozdziały: *Wprowadzenie, Cel, tezę i zakres pracy, Uwarunkowania prewencji muzealnej oraz Symulacja obliczeniowa kształtowania mikroklimatu budynków historycznych, muzeów i archiwów.*

W drugiej badawczej (pomiarowo-obliczeniowej) części pracy Doktorantka przedstawiła kolejno rozdziały: *Materiał i metody, Studia przypadku, Podsumowanie i dyskusja oraz Wnioski.*

Układ pracy należy uznać za prawidłowy z uwagą, że cel i tezę pracy lepiej było umieścić dopiero po przeglądzie literatury.

### **4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

Część studialną pracy rozpoczyna *Wprowadzenie*, które zawiera krótkie uzasadnienie wyboru tematyki badawczej wynikające z potrzeby pogłębienia specjalistycznej wiedzy na temat kształtowania i kontroli mikroklimatu w pomieszczeniach muzealnych i wypracowania procedur i metod skutecznego diagnozowania oraz przeciwdziałania negatywnym skutkom takich zjawisk jak wahania temperatury i wilgotności powietrza, podciąganie kapilarne wilgoci, zagrzybienie przegród budowlanych i wysalanie. Doktorantka zauważyła, że w obecnych czasach muzea prowadzą monitoring środowiska wewnętrznego i dysponują często ogromną ilością danych pomiarowych co pozwala na kompleksową analizę warunków mikroklimatycznych. Druga część wprowadzenia to opis dorobku naukowego Doktorantki. Doktorantka jako wieloletni pracownik Muzeum Narodowego w Krakowie podkreśliła, że pomimo znacznego postępu technicznego w zakresie kształtowania środowiska wewnętrznego pojawiają się zjawiska lokalnych anomalii mikroklimatycznych w budynkach muzealnych, które są trudne do analizy „tradycyjnymi” metodami.

W rozdziale 1 Doktorantka sformułowała tezę i określiła cel i zakres pracy. Teza rozprawy doktorskiej brzmi: *Monitoring parametrów mikroklimatycznych powietrza wewnątrz budynków historycznych oraz analiza danych pomiarowych z wykorzystaniem powszechnie stosowanych metod pozwala określić stan środowiska w zakresie ogólnych warunków mających znaczenie dla stanu zachowania zbiorów. Działania te nie są jednak wystarczające do określenia sporadycznych warunków mikroklimatycznych o charakterze lokalnym, które mogą stanowić istotne zagrożenie.*

Doktorantka następująco określiła cel pracy: *Określenie zakresu dodatkowych badań w kierunku rozrzedzenia metodyki analizy mikroklimatu w pomieszczeniach historycznych budynków muzealnych, które uzupełnią wiedzę na temat lokalnych warunków środowiskowych stanowiących zagrożenie, a nie były należycie uwzględnione w dotychczasowej praktyce.*

Postawiony cel można uznać za słuszny w omawianym obszarze badawczym i mający praktyczne zastosowanie w ochronie muzealiów. Osiągnięcie celu głównego wymagało zrealizowania przez Doktorantkę zadań szczegółowych takich jak:

- zaprojektowanie oraz wykonanie badań in situ w wybranych historycznych budynkach muzealnych i sakralnych;
- zidentyfikowanie zmian noszących znamiona uszkodzeń na podstawie analizy wyników pomiarów mikroklimatycznych i oświetleniowych, a także modelowania matematycznego;
- opracowanie metodyki badań in situ w historycznych budynkach muzealnych i sakralnych.

W rozdziale 2 obejmującym trzy podrozdziały opisano parametry środowiska wewnętrznego mające kluczowe znaczenie w ochronie muzealiów, normy i wytyczne przechowywania i eksponowania zbiorów. Podstawowe zalecenia dotyczące temperatury i wilgotności względnej wg różnych źródeł zestawiono w formie tabeli. Dalej przedstawiono wyniki badań opisanych w literaturze dotyczące wpływu środowiska wewnętrznego na chemiczne i biologiczne procesy degradacji obiektów muzealnych. W kolejnym podrozdziale zwrócono uwagę na problem energochłonności systemów zapewniających utrzymanie właściwych warunków mikroklimatu wewnętrznego. W tej części Doktorantka omówiła przede wszystkim wyniki dwóch projektów badawczych, których była współwykonawcą. Rozdział 2 kończy omówienie zagadnień komfortu zwiedzających i pracowników oraz jakości powietrza wewnętrznego. Te potrzeby stoją często w sprzeczności z wymogami dla obiektów wystawienniczych. Skupiono się tu głównie na wskaźnikach komfortu cieplnego opisanych przez Fanger'a (PMV i PPD), które mają zastosowanie w przypadku budynków z klimatyzacją i pominięto niestety inne modele komfortu stosowane w budynkach z wentylacją naturalną bez systemów ogrzewania i/lub chłodzenia, np. model adaptacyjny przytoczony w normie PN-EN 16798-1:2019-06 lub standardach ASHRAE. Zdecydowana grupa muzeów jest lokalizowana właśnie w tej drugiej grupie budynków. W tym rozdziale powoływano się także na nieaktualną już normę PN-EN 15251:2012; norma ta została już 4 lata temu zastąpiona normą PN-EN 16798-1:2019-06. Wskaźnikiem jakości powietrza omówionym przez Doktorantkę było stężenie CO<sub>2</sub>, co jest słusznym i najczęściej stosowanym podejściem. Doktorantka zwraca uwagę, że nie ma kompleksowych prawnie wiążących przepisów dotyczących wymagań jakościowych dotyczących powietrza w pomieszczeniach i przytacza dwie wartości stosowane jako dopuszczalne: wartość NDS wg Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy oraz wskaźnik Pettenkofer'a. Pominięto natomiast zalecane progi stężenia CO<sub>2</sub> wg normy PN-EN 16798-1:2019-06.

W rozdziale 3 kończącym część studialną pracy Doktorantka opisała stosowane w badaniach naukowych programy do ciepno-wilgotnościowych symulacji budynków. Stwierdzenie Doktorantki, że program EnergyPlus nie ma interfejsu użytkownika i nie może pracować „samodzielnie” jest błędne.

Program ten jest mocno rozwijanym i jednym z najczęściej stosowanych programów w badaniach naukowych na świecie. Nie zgodzę się także z wnioskiem Doktorantki o tylko nielicznych publikacjach dotyczących weryfikacji empirycznej wyników obliczeń symulacyjnych. Takich publikacji jest bardzo dużo, tym bardziej, że wszystkie znaczące czasopisma wymagają weryfikacji empirycznej modeli symulacyjnych. W dalszej części tego rozdziału opisano parametry i wskaźniki do weryfikacji obliczeń numerycznych budynku. Zwrócono uwagę na problem modelowania wymiany powietrza w budynku. Jest to niestety składnik trudny do określenia w przypadku wentylacji naturalnej, niemniej jednak współczesne programy (np. wspomniany wcześniej EnergyPlus) dają możliwość zbudowania modelu przepływu powietrza i symulowania tego zjawiska z dużą dokładnością.

Po zapoznaniu się z przeglądem literaturowym można stwierdzić, że wskazane byłoby przeprowadzenie syntetycznej analizy danych literaturowych i podsumowanie tej wiedzy na końcu części studialnej rozprawy ze wskazaniem luki badawczej (czego niestety brakuje w tej dysertacji). Tak podsumowany opis doniesień literaturowych stanowiłby podstawę do określenia celu badawczego i sformułowania tezy. Należy jednak podkreślić, że Doktorantka przedstawiła w opracowaniu części teoretycznej aż 265 pozycji literaturowych, co jest liczbą ponadprzeciętną i wskazuje na zadowalającą umiejętność Doktorantki do poszukiwania i systematyzowania wiedzy naukowej.

W części pomiarowo-obliczeniowej pracy, w rozdziale 4, opisano metody badawcze. Badania mikroklimatu wewnętrznego przeprowadzono w 5 budynkach historycznych: Kościele św. Marcina w Wiśniowej, Kaplicy bł. Czesława w Kościele św. Wojciecha we Wrocławiu, Kaplicy św. Trójcy na Zamku Królewskim w Lublinie, Pałacu Biskupa Erazma Ciołka w Krakowie oraz Kapitułarzu Katedry na Wawelu. Zakres badań obejmował: wizję lokalną obiektów (inspekcję obiektów), która była prowadzona w różnych okresach roku, aby uchwycić istotne zjawiska charakterystyczne dla danych okresów roku; długoterminowy monitoring temperatury i wilgotności powietrza wewnętrznego (Doktorantka korzystała z danych pomiarowych monitoringu własnego muzeum lub w przypadku jego braku instalowała własne rejestratory); monitoring klimatu zewnętrznego na podstawie danych mierzonych na obiekcie lub danych IMGW; analiza warunków oświetleniowych (pomiar natężenia oświetlenia oraz promieniowania UV). W wybranych obiektach dodatkowo badania uzupełniano o: pomiary światłoczułości obiektów zabytkowych, pomiary temperatury powierzchni przegród budowlanych obiektów wystawienniczych, pomiary stężenia CO<sub>2</sub>, pyłów i lotnych związków organicznych, pomiary wstrząsów i wibracji, pomiary liczby wymian powietrza i prędkości powietrza, analizę mikrobiologiczną, symulacje numeryczne cieplno-wilgotnościowe budynków lub wybranych pomieszczeń. Za znaczące uchybienie pracy uważam brak danych na temat zakresu pomiarowego i dokładności aparatury pomiarowej. Rozumiem, że w poszczególnych muzeach ta aparatura była różna ale można było zestawzić te dane na przykład formie załącznika. Informacja o dokładności pomiaru jest kluczowa dla interpretacji wyników.

Analizy statystyczne wykonano w programie Statistica. Do określenia zagrożenia wykropleniem wilgoci zastosowano podstawowe wzory do obliczania punkty rosy. W części przypadków tą temperaturę określono na drodze symulacji komputerowej. Ryzyko degradacji chemicznej i biologicznej określono na podstawie pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego. Metodę opisano szczegółowo w pracy. Warunki komfortu cieplnego określono w oparciu o analizę powiązania temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego. Dodatkowo na podstawie wyników symulacji określano wskaźniki PMV i PPD. Jakość powietrza była określana na podstawie stężenia CO<sub>2</sub>. Liczbę wymian powietrza obliczono metodą zaniku stężenia tego gazu. Badania zawartości wilgoci przeprowadzono tradycyjną metodą suszarkowo-wagową. Do symulacji numerycznych budynków zastosowano program WUFIplus. Należy zwrócić uwagę, że symulacje

komputerowe nie stanowiły samodzielnej pracy Doktorantki, jednak zgodnie z jej oświadczeniem brała ona czynny udział w definiowaniu założeń symulacyjnych oraz walidacji modeli i opracowaniu wyników obliczeń.

Rozdział 5 to wyniki pięciu studiów przypadku dla wymienionych wcześniej pięciu obiektów muzealnych. Rozdział ten opatrzone wieloma zdjęciami i wykresami zawiera zarówno omówienie wyników pomiarów jak i symulacji komputerowych. Należy zwrócić uwagę, że piąte studium przypadku (Kościół św. Marcina w Wiśniowej) jest jedynie pracą odtworzeniową i nie stanowi wyników badań Doktorantki. Niestety tylko w przypadku części obiektów opisano stosowane tam systemy HVAC i oświetleniowe, w przypadku Kapituły Katedralnej i Kaplicy bł. Czesława we Wrocławiu brak takich danych. Są to dane kluczowe dla interpretacji wyników. Słabą stroną tej części pracy jest także bardzo zdawkowy opis modeli symulacyjnych i danych wejściowych. Tylko dla części przypadków podano literaturę, w której ten opis się znajduje. Każdy podrozdział kończy schemat ideowy przeprowadzonych badań i analiz co należy uznać za mocną stronę tego rozdziału.

Przeprowadzone badania Doktorantka podsumowała w rozdziale 6 *Podsumowanie i dyskusja*. Doktorantka omówiła uzyskane wyniki oraz sposób, w jaki można je postrzegać w perspektywie wcześniejszych badań, które podejmowały podobne problemy. Moim zdaniem w wystarczający sposób skonfrontowano rezultaty badań z innymi dostępnymi w doniesieniach literaturowych.

Rozdział 7 *Wnioski* jest niejako podsumowaniem badań dla poszczególnych obiektów. Niestety nie znalazły się tu ogólne wnioski z pracy (na przykład w formie punktów), które potwierdziłyby postawioną na początku pracy tezę.

Analizując treść pracy i opis wyników należy stwierdzić, że doktorantka wykazała się umiejętnością analizy wyników badań i ich opracowania graficznego i syntetycznego podsumowania. Doktorantka nie ustrzegła się usterek o różnym charakterze: redakcyjnych, stylistycznych i merytorycznych. Ich wskazanie powinno ułatwić Doktorantce poprawne opracowanie tekstów publikacji w dalszej pracy naukowej. Moim zdaniem tematyka ocenianej pracy jest interesująca, a przede wszystkim aplikacyjna. Przedstawione rezultaty badań wnoszą elementy nowości w rozwój nauki dotyczącej monitorowania i kształtowania mikroklimatu w pomieszczeniach muzealnych i zabytkowych.

## 5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. W pracy nie podano dokładności czujników pomiarowych. Proszę o określenie tej dokładności w kontekście wymagań norm PN-EN 15758:2012 i PN-EN 16242:2013-05.
2. W rozdziale 4.2 określono zakres badań. Jest dla mnie niejasne określenie „w uzasadnionych przypadkach powyższe etapy uzupełniano o...”. Należy doprecyzować co definiowano jako uzasadnione przypadki.
3. W pracy do oceny komfortu cieplnego przyjęto wskaźniki PMV i PPD, które mają zastosowanie w przypadku budynków z ogrzewaniem i/lub chłodzeniem; natomiast część omawianych budynków nie posiadała takich systemów lub w symulacjach rozpatrywano przypadki wyłącznie z ogrzewaniem pasywnym. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii. Założono, że zwiedzający pozostawiają okrycia wierzchnie w szatni przyjmując zimną izolacyjność odzieży 1 clo, co w przypadku braku ogrzewania budynku jest założeniem błędnym. W obiektach muzealnych bez ogrzewania (zgodnie z wynikami symulacji temperatura wewnętrzna była poniżej 0°C) zwiedzający pozostaliby w okryciach wierzchnich. Środowisko o temperaturze poniżej 10°C uznawane jest już za środowisko zimne, w którym wskaźniki PMV i PPD nie mają zastosowania.
4. Dla wszystkich obiektów dysponowano danymi pomiarowymi, dlaczego zatem tylko niektóre modele zostały zwalidowane pomiarowo? Budynki historyczne są obiektami trudnymi do

modelowania, po pierwsze ze względu na swoją skomplikowaną strukturę, a po drugie ze względu na brak dokładnych danych o konstrukcji budynku. Zatem błąd modelu może prowadzić do błędnych wyników.

5. We wszystkich symulacjach przyjęto stałą wymianę powietrza przez cały okres obliczeń. W przypadku budynków z wentylacją naturalną jest to duże uproszczenie. Czy rozpatrywano możliwość modelowania przepływu powietrza z uwzględnieniem jego chwilowej zmienności? Obecne programy symulacyjne dają takie możliwości. Jakie to przyjęte w pracy uproszczenie mogło mieć wpływ na zaprezentowane wyniki?
6. Proszę o podanie głównych uogólnionych wniosków z pracy, które podkreślą wkład wyników pracy w rozwój nauki dotyczącej monitorowania i kształtowania mikroklimatu w pomieszczeniach muzealnych i zabytkowych oraz udowodnią sformułowaną w pracy tezę.

## 6. Ocena strony redakcyjnej i językowej

Pomimo należytej staranności Doktorantka nie ustrzegła się błędów edytorskich i stylistycznych. Poniżej przedstawiłam kilka uwag/spostrzeżeń:

- w tekstach w języku polskim jako znak dziesiętny liczb należy stosować przecinek;
- zamiast określenia „światło widzialne” należało zastosować określenie „promieniowanie widzialne” (str. 11);
- zamiast „natężenie oświetlenia światłem widzialnym” wystarczyło podać „natężenie oświetlenia” (str. 12);
- ciepło jest energią, dlatego zamiast określenia „energia cieplna” należało zastosować określenie „ciepło” (str. 20);
- zamiast określenia „termometr kulisty” powinno się stosować określenie „termometr z poczernioną kulą” (str. 59);
- zamiast „Pattenkofer’a” powinno być „Pettenkofer’a” (str. 45);
- określenie „eksponaty” odnosi się do wartości policzalnych, dlatego należy posługiwać się określeniem „liczba” a nie „ilość” (str. 59);
- zamiast „dopływ/ucieczka powietrza” powinno być raczej „infiltracja/eksfiltracja powietrza” (str. 110);
- na stronie 158 zamiast wartości 100 ppm powinno być raczej 1000 ppm;
- na stronie 188 jest błąd odwołania do literatury.

W pracy pojawiało się jeszcze kilkanaście drobnych błędów literowych, których wymienienie pominę w tej recenzji.

## 7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożoną do oceny rozprawę doktorską oceniam pozytywnie, w mojej opinii wnosi ona nowe aspekty w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Opisane błędy i uchybienia merytoryczne, moim zdaniem nie dyskredytują wyników pracy autorki. Zasadnicza merytoryczna część pracy została przedstawiona w sposób właściwy, zgodny z zasadami opracowań naukowych. Przedstawiony w dysertacji materiał badawczy jest spójny i wartościowy zarówno pod względem praktycznym, jak i naukowym. Zaprezentowane wyniki prac wskazują na umiejętność prowadzenia przez Doktorantkę badań naukowych, opracowania i dyskusji wyników oraz wyciągania wniosków. Na uwagę zasługuje również bardzo staranna edycja pracy.



Oceniając wartość naukową i poznawczą rozprawy doktorskiej mgr Joanny Sobczyk pt. „Weryfikacja metod analizy mikroklimatu historycznych budynków muzealnych” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne zawarte w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), dlatego wnioskuję do Rady dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie o dopuszczenie Pani mgr Joanny Sobczyk do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Henryk - Grzyński