

## **Załącznik 3**

# **AUTOREFERAT**

**Łukasz Jan BEDNARZ**

## Spis treści

1. Imię i nazwisko .....	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	4
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych ...	5
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej .....	5
4.1. Główne osiągnięcie naukowe zawarte w monografii naukowej .....	6
4.1.1. Wprowadzenie.....	6
4.1.2. Cele głównego osiągnięcia naukowego .....	7
4.1.3. Opis głównego osiągnięcia naukowego .....	8
4.1.4. Wkład prezentowanego głównego osiągnięcia naukowego w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport .....	20
4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-technologiczne.....	21
4.2.1. Wprowadzenie.....	21
4.2.2. Cele zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego.....	22
4.2.3. Opis zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego.....	22
4.2.4. Wkład prezentowanego osiągnięcia projektowo-technologicznego w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport .....	26
4.3. Dodatkowe osiągnięcie naukowe zawarte w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.) .....	27
4.3.1. Wprowadzenie.....	30
4.3.2. Cele dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych.....	31
4.3.3. Opis dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych.....	32
4.3.4. Wkład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych wchodzących w skład dodatkowego osiągnięcia naukowego w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.....	37
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	38

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę .....	41
6.1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych.....	41
6.2. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych .....	43
6.3. Informacja o osiągnięciach popularyzujących naukę .....	44
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt 1–6 wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej .....	44
7.1. Uprawnienia zawodowe i praktyka zawodowa .....	44
7.2. Znajomość języków obcych .....	45
7.3. Nagrody .....	45
7.4. Dane naukometryczne .....	46

**1. Imię i nazwisko****Łukasz Jan BEDNARZ****2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

Stopień naukowy **doktora nauk technicznych** nadany 11 lipca 2008 r. uchwałą Rady Naukowej Instytutu Budownictwa, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska (Załącznik 2 „Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora”).

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Praca statyczna zabytkowych zakrzywionych konstrukcji ceglanych poddanych zabiegom naprawy i wzmacniania.*

Promotorem rozprawy był:

- **prof. dr hab. inż. Jerzy JASIEŃKO z Politechniki Wroclawskiej**

Recenzentami rozprawy byli:

- **prof. dr hab. inż. Jerzy HOŁA z Politechniki Wroclawskiej**
- **prof. dr inż. Angelo Di TOMMASO z Uniwersytetu w Wenecji.**

Tytuł **magistra inżyniera** w specjalności inżynieria budowlana nadany 4 lipca 2002 r. na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wroclawskiej (zał. [01] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

Tytuł pracy dyplomowej: *Projekt zabezpieczenia przeciwwilgociowego zabytkowego kościoła św. Jakuba w Nysie.*

Promotorem pracy był:

- **dr inż. Zygmunt MATKOWSKI z Politechniki Wroclawskiej**

Recenzentem pracy był:

- **prof. dr hab. inż. Jerzy HOŁA z Politechniki Wroclawskiej.**

Dyplom nr 44/2005 ukończenia **kursu specjalnego pedagogicznego** mającego na celu uzyskanie **kwalifikacji nauczycielskich**, wydany 10 października 2005 r. (zał. [02] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

### 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

**Asystent:** od 03.10.2008 r. do 30.09.2012 r., Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

**Adiunkt:** od 01.10.2012 r. do teraz, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego (zał. [03] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”)

### 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej

Moje osiągnięcia naukowe, stanowiące jednocześnie znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, są następujące.

1. Główne osiągnięcie naukowe pt. **Opracowanie autorskiej metody monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych**, zawarte w monografii naukowej: Łukasz J. Bednarz, *Monitoring diagnostyczny obiektów historycznych*, Oficyna Wydawnicza ATUT – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe, Wrocław 2023 (ISBN 978-83-7977-768-6).
2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-technologiczne pt. **Zaprojektowanie i wdrożenie systemu ciągłego monitoringu diagnostycznego zespołu obiektów historycznych zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej, wykorzystującego zaawansowaną, bezprzewodową sieć IoT typu LoRaWAN.**
3. Dodatkowe osiągnięcie naukowe zawarte w cyklu artykułów naukowych pt. **Opracowanie metody analizy, naprawy i wzmacniania obiektów historycznych będących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym.**

#### 4.1. Główne osiągnięcie naukowe zawarte w monografii naukowej

Głównym osiągnięciem naukowym, stanowiącym istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.), jest **opracowanie autorskiej metody monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych**, zawarte w autorskiej monografii naukowej pt. *Monitoring diagnostyczny obiektów historycznych* (ISBN 978-83-7977-768-6) (zał. [monografia] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”). Wskazane osiągnięcie naukowe zostało opublikowane przez Oficynę Wydawniczą Atut – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe we wrześniu 2023 r. Wydawnictwo to w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.). Recenzentami wydawniczymi monografii byli:

- prof. dr hab. inż. Bogdan WOLSKI z Zakładu Geodezji Inżynierskiej, Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach,
- prof. dr hab. inż. Arkadiusz KWIECIEN z Katedry Mechaniki Budowli i Materiałów, Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej w Krakowie.

##### 4.1.1. Wprowadzenie

Inspiracją do podjęcia tematu badawczego dotyczącego monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych była m.in. praca nad zaleceniami dotyczącymi analizy, konserwacji i rewitalizacji obiektów historycznych prowadzona w ramach Komitetu ICOMOS/ISCARSAH (International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage). Według tych zaleceń diagnostyka obejmuje wszystkie badania niezbędne do ustalenia przyczyn istniejących uszkodzeń i wypracowania koniecznych merytorycznych wniosków na temat stanu obiektu historycznego, a jej integralną częścią jest monitoring stanu konstrukcji oraz parametrów fizycznych i mechanicznych materiałów, z których konstrukcja została wykonana.

W opracowanej autorskiej metodzie monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych przedstawiono w pełni zintegrowaną, częściowo zautomatyzowaną na etapie

pomiarów i analiz modeli obliczeniowych procedurę możliwości monitoringu diagnostycznego konstrukcji historycznych, wykorzystującą m.in. możliwości skaningu laserowego 3D czy rozwijającej się technologii przesyłu danych Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT). Podjęta próba kompleksowego podejścia do diagnostyki i monitorowania obiektów historycznych oraz związane z nimi badania i analizy konstrukcji prezentują problemy już częściowo podejmowane w literaturze. Jednocześnie wskazują kierunki dalszych, bardziej szczegółowych badań wymaganych do przeprowadzenia w konkretnym zastosowaniu praktycznym.

#### **4.1.2. Cele głównego osiągnięcia naukowego**

Celem głównym osiągnięcia naukowego było opracowanie autorskiej metody monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych. Metoda ta umożliwi przekazanie architektom, inżynierom konstruktorom, konserwatorom zabytków i innym ekspertom oraz użytkownikom wiedzy o współczesnych narzędziach pomiarowych i analitycznych. Opracowano również system pozyskiwania danych o stanie wytrzymałości konstrukcji i trwałości struktury materiałów ważnych dla prognozowania bezpieczeństwa i doboru metod konserwacji oraz wzmocnienia elementów obiektów historycznych.

Monitoring diagnostyczny obiektów historycznych jest związany z monitorowaniem tzw. stanu zdrowia konstrukcji (ang. *Structural Health Monitoring*, SHM). Jego celem jest stały pomiar kluczowych, zmieniających się w czasie parametrów geometrycznych, mechanicznych i fizycznych konstrukcji lub jej elementów. Buduje to świadomość danej sytuacji przez identyfikację mechanizmów zmian na wczesnym etapie ich występowania. Tym samym monitoring diagnostyczny ma ułatwić wdrożenie odpowiednich środków zapobiegawczych i naprawczych w obiektach historycznych.

Stosunkowo proste jest „śledzenie zachowań” konstrukcji historycznej wzniesionej z przewagą jednego materiału, np. konstrukcji drewnianej. Konstrukcje drewniane w zakresie trwałości zachowują się według tzw. krzywej madisońskiej (ang. *madison curve*), opisującej spadek wartości naprężeń w zależności od długości trwania obciążenia. Dla konstrukcji o określonym wieku można więc przewidzieć dosyć dokładnie zakres naprężeń i wyznaczyć zbiór instrumentów do prowadzenia monitoringu. Sprawa znacznie się komplikuje gdy obiekt historyczny jest zbudowany z wielu materiałów, np. cegły, kamienia, drewna i innych. W autorskiej monografii przedstawiono metody i strategie prowadzenia monitoringu głównie w takich przypadkach.

Celem stowarzyszonym osiągnięcia naukowego jest próba przekonania wszystkich tych, którzy działają dla zachowania obiektów dziedzictwa kulturowego, do podejmowania wysiłku prowadzenia profesjonalnego monitoringu. Prowadzi to do właściwego doboru metod konserwacji i wzmocnienia obiektów historycznych. Pozyskanie w wyniku monitoringu pełnego zbioru danych pozwala uniknąć błędów w podejmowanych pracach i przekazać przyszłym pokoleniom obiekt historyczny w stanie zawierającym pierwotne wartości.

Celem osiągnięcia jest również wykazanie przydatności metody opracowywania i prezentacji danych pomiarowych, które zapewniają gruntowną analizę, umożliwiającą lepsze zrozumienie stanu i zachowania się konstrukcji historycznej. Stanowi ono również bazę wiedzy dla osób opiekujących się obiektami historycznymi, w tym konserwatorów, architektów i konstruktorów, jak również projektantów systemów monitoringu chcących zastosować zaproponowane metody w praktyce.

#### **4.1.3. Opis głównego osiągnięcia naukowego**

Istnieje wiele powodów, dla których należy monitorować budowlane konstrukcje historyczne. Najważniejsze to bezpieczeństwo ludzi i obiektów, zachowanie dziedzictwa kulturowego dla przyszłych pokoleń, edukacja, poszerzenie wiedzy technicznej, rozwój turystyki.

Monitoring konstrukcji budowlanych to proces obserwacji i analizowania stanu obiektu budowlanego w czasie rzeczywistym. Jako jedno z narzędzi szeroko pojętej diagnostyki jest, obok badań materiałowych i analiz konstrukcyjnych, niezwykle pomocny we wczesnym wykrywaniu wad konstrukcyjnych czy uszkodzeń stwarzających potencjalne zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi i samej konstrukcji.

W rozdziale 1 monografii uzasadniono potrzebę monitoringu i wprowadzono w tematykę monitoringu obiektów historycznych. W szczególności skupiono się w nim na opisie rodzajów monitoringu i wyjaśnieniu pojęcia monitoringu diagnostycznego. Monitoring opisujący stan zachowania konstrukcji budowlanych na potrzeby monografii nazwano monitoringiem technicznym (dozorowaniem stanu konstrukcji). Różni się on zdecydowanie od najbardziej popularnego rozumienia tego terminu, kojarzącego się z monitoringiem wizyjnym zachowania osób (za pomocą kamer). Należy jednak zaznaczyć, że obecne możliwości techniczne monitoringu wizyjnego mogą być również wykorzystane w monitoringiem technicznym do obserwowania stanu konstrukcji. Monitoring techniczny w przypadku obiektów historycznych podzielono na:



- monitoring utrzymaniowy (eksploatacyjny) i ostrzegawczy (ang. *maintenance and early warning monitoring*),
- monitoring diagnostyczny (ang. *diagnostic monitoring*),
- monitoring weryfikacyjny (ang. *verification monitoring*).

Monitoring utrzymaniowy powinien być wykonywany przez cały okres istnienia obiektu. Jego celem jest wykrywanie postępujących zmian i wczesnych oznak uszkodzeń w konstrukcji, które mogą prowadzić do poważnych problemów w przyszłości. Łączy się on z monitoringiem ostrzegawczym, który ma na celu ostrzeżenie przed nagłymi zagrożeniami i awariami, i go dopełnia.

Monitoring weryfikacyjny polega na walidacji poprawności wykonanych prac naprawczych lub renowacyjnych. Stosuje się go po to, by się upewnić, że konstrukcja została naprawiona lub zrewitalizowana zgodnie z wymaganiami technicznymi i zasadami konserwacji.

Monitoring diagnostyczny jest bardziej szczegółową formą monitorowania utrzymaniowego, pozwalającą na pełniejszą analizę stanu technicznego wykonywaną podczas procesu diagnozy, mającą na celu powiązanie przyczyn i skutków. Decyzję o długości jego prowadzenia należy podjąć na podstawie stanu technicznego obiektu i potrzeb diagnostycznych. Wykorzystuje się do niego zaawansowane narzędzia, które pozwalają na dokładne określenie korelacji mierzonych wielkości, np. zmian temperatury i szerokości rozwarcia zarysowania. Dzięki temu można podjąć skuteczne kroki naprawcze. Idealnym rozwiązaniem byłaby konsolidacja monitoringu diagnostycznego z utrzymaniowym i ostrzegawczym.

Monitoring diagnostyczny jest połączeniem badań materiałowych, w szczególności nieniszczących, oraz technologii pomiarowych (monitoringu) wykonywanych w trakcie diagnozy stanu obiektu. Dzięki temu jest szczególnie istotny w sytuacjach występowania awarii. Nierzadko dzięki jego zastosowaniu możliwe jest skuteczne wykrywanie uszkodzeń jeszcze przed ich wystąpieniem lub zanim staną się poważne. Prawidłowo działający monitoring diagnostyczny dostarcza cennych informacji na temat integralności struktury obiektów zabytkowych, umożliwiając ukierunkowane interwencje. Co więcej, połączenie go z obszerną wiedzą na temat historii obiektów i ich konstrukcji (dzięki kwerendom historycznym i konserwatorskim) oraz powiązanie z innymi metodami badawczymi może zapewnić cenny wgląd w ich specyficzne słabości, co pozwala na opracowanie indywidualnej interwencji. Stosując monitoring diagnostyczny, osoby zajmujące się obiektami historycznymi mogą podejmować decyzje bazujące na konkretnych danych, zamiast polegać

jedynie na doświadczeniu i intuicji. Metodologia ta powinna zyskiwać coraz większe znaczenie w ochronie konstrukcji historycznych, ponieważ zapewnia dokładne i skuteczne podejście, ułatwiając konserwację zapobiegawczą. Monitoring diagnostyczny w konstrukcjach historycznych jest współcześnie szeroko rozwijającą się i istotną techniką zapewnienia trwałości i właściwego utrzymania obiektów tego typu. Rozwój ten umożliwia coraz powszechniejsze zastosowanie precyzyjnych narzędzi diagnostycznych nawet gdy działa się pod presją czasu w przypadku konstrukcji pracujących w trybie awaryjnym.

Konkludując, tematyka diagnostyki i monitoringu obiektów historycznych, w tym zabytkowych, i różnorodność czynników wpływających na te obiekty budowlane jest dziedziną wiedzy jeszcze nie w pełni rozpoznaną, która w najbliższych latach może się przyczynić do dynamicznego rozwoju nauki w zakresie technologii budowlanych. Szczególnie w przypadku działań interwencyjnych wykonywanych na obiektach pracujących w stanie awaryjnym, w których identyfikacja obszarów wrażliwych jest kluczowa dla stanu obiektu budowlanego i doboru działań ratunkowych. Przemawia za tym rozwój technologii pomiarowych, matematycznych metod obliczeniowych wspieranych np. algorytmami sztucznej inteligencji i zapotrzebowanie na rozwiązania technologiczne zapewniające bezpieczeństwo konstrukcjom budowlanym.

W rozdziale 2 monografii przedstawiono, wykorzystując autorskie przykłady, różne aspekty i etapy procesu oceny bezpieczeństwa konstrukcji historycznych, takie jak analiza przyczyn występowania uszkodzeń, badania historyczne, inspekcje i inwentaryzacje. Wyszczególniono możliwe przyczyny występowania uszkodzeń w konstrukcjach historycznych, których objawy bywają różnorodne. W pewnych przypadkach są oczywiste, wynikają z katastrof, gwałtownych zjawisk pogodowych czy działań zamierzonych. Jednak najczęściej uszkodzenia mają przyczyny bardziej złożone, takie jak czynniki klimatyczne, antropogeniczne, chemiczne czy starzeniowe. Deformacje i uszkodzenia rozwijają się na skutek nakładania się tych procesów. Niektóre mają charakter stały, inne są cykliczne lub okresowe, jeszcze inne występują tylko raz. Efekty tych zróżnicowanych wpływów kumulują się, prowadząc do uszkodzenia konstrukcji. W większości przypadków związek między efektami lub defektami a ich przyczynami nie jest oczywisty i wymaga szczegółowych badań oraz analiz. Złożoność, różnorodność i wzajemne oddziaływanie tych zjawisk w połączeniu z długim okresem użytkowania obiektu historycznego stanowią wyzwanie i przyczynę podejmowania działań diagnostycznych.

W kolejnej części rozdziału opisano metody rozpoznawania uwarunkowań historycznych dla diagnozowanych obiektów. Jest to podstawowy i bardzo ważny etap,

ponieważ przed podjęciem decyzji o jakichkolwiek działaniach monitorujących niezbędny jest szeroko zakrojony przegląd dokumentacji historycznej lub nawet kwerenda historyczna. Metoda ta polega na analizie dokumentów historycznych, w których można znaleźć informacje na temat modyfikacji, uszkodzeń i deformacji oraz prac konserwatorskich (wraz z naprawami i/lub wzmacnianiem). Proces ten pozwala odtworzyć ewolucję zmian konstrukcyjnych w czasie, od budowy do współczesności.

W ostatniej, najbardziej rozbudowanej części tego rozdziału opisano metody wykonywania kontroli, inspekcji i inwentaryzacji. Aby zapewnić odpowiedni stan obiektów budowlanych, należy stosować obowiązujące przepisy, które nakazują poddawanie obiektów budowlanych okresowym i doraźnym kontrolom stanu technicznego wykonywanym przez odpowiednio wykwalifikowane osoby. Ustawodawca obowiązkiem przeprowadzania kontroli stanu technicznego obiektów budowlanych obciążył właściciela i zarządcę obiektu. Osobną kwestią jest często brak kontroli w obiektach sakralnych, które stanowią znaczną część obiektów zabytkowych w Polsce. Zazwyczaj proste, rzadziej złożone kontrole, wymagające oparcia się na stosownych obliczeniach i badaniach, wykonywane są wizualnie i dają pierwszy, przybliżony obraz stanu obiektu i jego elementów konstrukcyjnych. Wnioski z inspekcji wizualnej przedstawiają ogólną ocenę faktycznego stanu i są pierwszym krokiem do przygotowania modelu obliczeniowego.

Powszechnie stosowaną metodą inwentaryzacji konstrukcji jest wykonywanie pomiaru długości, szerokości i wysokości konstrukcji oraz jej elementów za pomocą taśm mierniczych, dalmierzy, suwmiarek czy poziomicy. Działania te mogą być wsparte fotografią cyfrową, która uzupełnia dokumentację opisową i uwzględnia stan techniczny konstrukcji, materiały użyte do jej budowy, rodzaje połączeń, ślady eksploatacji i ewentualne uszkodzenia. Zebrane dane są wykorzystywane przy opracowaniu rysunków i schematów. Dobrze rozpoznane są też technologie wykorzystywane do inwentaryzacji, przydatne również do monitorowania geometrii obiektów historycznych, obejmujące m.in. tachimetrię i fotogrametrię. Również nowe technologie, w tym: skanowanie laserowe, cyfrowa fotogrametria i tachimetria, szybkie prototypowanie, fotografia sferyczna o wysokiej dynamice i w podczerwieni, fotografia wykonywana z dronów, rozszerzona rzeczywistość wirtualna i renderowanie komputerowe w wielu wymiarach znacznie usprawniają te działania. Technologie te uprościły procedurę zbierania danych i dają prawie nieograniczone możliwości ich zastosowania do inwentaryzacji. Wykorzystanie ich w ochronie obiektów historycznych i dziedzictwa kulturowego jest bardzo przydatne, ponieważ szybko zdobywają dane geometryczne i georeferencyjne. Od dawna w rekomendacjach komitetu

ICOMOS/CIPA (Heritage Documentation) omawiane są kwestie zapotrzebowania na odpowiednie informacje o obiektach historycznych. Obecny rozwój zbierania danych doprowadza często do zgromadzenia olbrzymiej ilości informacji o obiektach (np. chmury punktów 3D, bazy danych), których jakość jest różna. Na wstępnym etapie planowania i pozyskiwania danych ważne jest zatem przyjęcie założeń dotyczących tolerancji bądź dokładności docelowego modelu cyfrowego, a po ich stworzeniu ocena wiarygodności. Obecnie nie ma alternatywnych rozwiązań dla popularnych statystycznych oszacowań zbiorów danych, takich jak szacowanie z wykorzystaniem metryk takich jak RMSE (ang. *Root Mean Square Error*) lub MAPE (ang. *Mean Absolute Percentage Error*). Nowoczesne technologie, które zmieniły możliwości inwentaryzacji i dokumentacji obiektów budowlanych, powinny więc być wykorzystywane rozsądnie i przez wyszkolonych specjalistów.

W rozdziale 3 przedstawiono metody możliwe do wykorzystania podczas prowadzonych w obiektach historycznych badań materiałowych, szczególnie tych wykonywanych na miejscu, wspierających wraz z monitoringiem proces diagnostyczny, a czasem, jak w przypadku stałego pomiaru wilgotności materiałów konstrukcyjnych, bezpośrednio z monitoringiem tworzących wspólnie monitoring diagnostyczny.

Diagnostyka, szczególnie w odniesieniu do konstrukcji historycznych obiektów budowlanych, to proces identyfikacji, analizy i oceny stanu technicznego budynków, ich elementów konstrukcyjnych oraz systemów instalacyjnych lub, w skrócie, ustalenie stanu technicznego obiektu. Aby tego dokonać, wykorzystuje się wszystkie informacje jakościowe i ilościowe pozyskane z dokumentacji archiwalnej, badań historycznych, obserwacji i kontroli warunków pracy konstrukcji oraz przeprowadzonych badań, monitoringu i analiz konstrukcyjnych, chociaż często takich informacji brakuje. Diagnostyka budowlana powinna być stosowana w przypadku analizy przyczyn awarii, katastrof budowlanych czy oceny skutków zdarzeń nadzwyczajnych, takich jak trzęsienia ziemi czy powódzie. W odniesieniu do obiektów historycznych wszelkie uszkodzenia, awarie, odbudowy, zmiany, prace konserwatorskie, modyfikacje konstrukcji oraz zmiany sposobu użytkowania, które przyczyniły się do obecnych warunków, powinny zostać zarejestrowane i zinterpretowane. Diagnostykę można wykonać też w ramach kontroli okresowych, remontów lub modernizacji.

W każdym przypadku, a szczególnie w obiektach historycznych, diagnostyka budowlana ma na celu nie tylko ocenę stanu technicznego budynków, lecz także zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania, przedłużenie życia obiektów, a ponadto minimalizację kosztów ich eksploatacji i utrzymania.

W badaniach konstrukcji historycznych występujących w Polsce dominują analizy statyczne, które można podzielić na trzy główne grupy: analizę liniową, analizę nieliniową oraz analizę przeprowadzoną na podstawie nośności granicznej. Wykonuje się również analizy dynamiczne, szczególnie jeśli mamy do czynienia z obiektami zlokalizowanymi w strefach sejsmicznych, parasejsmicznych lub narażonych na drgania. Nierzadko różne metody prowadzenia analizy prowadzą do otrzymania różnych współczynników bezpieczeństwa i często odmiennych wyników.

Badania *in situ* dotyczą morfologii wewnętrznej i właściwości materiałów (mechanicznych, fizycznych, chemicznych), oceny naprężeń i deformacji oraz obecności wszelkich nieciągłości w strukturze materiałowej. W diagnostyce budowlanej stosuje się różnorodne metody pozwalające na dokładne badanie materiałów i konstrukcji obiektów budowlanych. Wybór odpowiedniej z nich zależy od rodzaju badanego obiektu, jego specyfiki oraz celów diagnostyki.

Ogół badań niezbędnych do poznania struktury, stanu zachowania i właściwości materiałów budowlanych wykorzystanych do budowy obiektów historycznych można podzielić na trzy grupy (badania niszczące, badania quasi-nieniszczące i badania nieniszczące). Podział ten zależy od zakresu ingerencji w strukturę materiałów i konstrukcji.

Dzięki nieustannemu postępowi w dziedzinie metod obliczeniowych i algorytmach numerycznych tradycyjna inżynieria, również ta materiałowa, coraz częściej polega na metodach deterministycznych, a nie na podejściu probabilistycznym. Z dokumentów wspomnianego już komitetu ICOMOS/ISCARSAH wynika pewna niechęć do stosowania zaostrzonych kryteriów, a wręcz zachęta do stosowania takich, jakie były przyjęte w czasie powstawania konstrukcji historycznej. Argumentem potwierdzającym słuszność takiego stanowiska może być to, że są to najdłużej stojące budowle i budynki na świecie, znacznie trwalsze od powstających współcześnie.

Rozdział 4 jest opisem monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych. Przedstawiono w nim różne przykłady zaprojektowanych, jak również zaprojektowanych i wdrożonych przez autora systemów opartych na proponowanej metodzie monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych. Zaprezentowano również jedno z pierwszych zrealizowanych w Polsce zastosowań proponowanej metody monitorowania diagnostycznego obiektów historycznych z wykorzystaniem sieci IoT (Internetu Rzeczy).

Podstawą działań monitoringowych prowadzących do lepszego zrozumienia pracy i stanu obiektu jest pozyskiwanie jak największej ilości wstępnych informacji o jego historii, geometrii, wykorzystanych materiałach, technologii powstawania, fazach ewolucyjnych,

posadowieniu, warunkach obciążeniowych itp. Oczywiście nie jesteśmy w stanie uniknąć katastrofalnych zjawisk, np. przyrodniczych, takich jak powódzie, trzęsienia ziemi czy huragany, ale możemy zmniejszyć ewentualne szkody nimi spowodowane przez stosowanie systemów monitorowania i zarządzanie ryzykiem. Współczesne monitorowanie stanu zdrowia konstrukcji SHM (ang. *Structural Health Monitoring*) jest definiowane jako proces wdrażania strategii identyfikacji uszkodzeń infrastruktury budowlanej, jak również innego rodzaju (statki, samoloty, platformy wiertniczne, dźwigi itp.). SHM polega na założeniu w wymagającym monitoringu obiekcie miernika lub – częściej – wielu mierników mających na celu stałe i/lub okresowe monitorowanie degradacji obiektu i/lub jego części konstrukcyjnych. Mierniki wspomagane nieniszczącymi pomiarami dostarczają informacji o krytycznych właściwościach elementów konstrukcji, takich jak przemieszczenia, odkształcenia, naprężenia, zarysowania, osiadania, korozja materiałowa czy graniczne drgania. Pozyskane dane są analizowane statystycznie w celu określenia aktualnego stanu zachowania konstrukcji, oszacowania jej granicznego okresu eksploatacji i podjęcia decyzji o pracach naprawczych.

Oceny stanu technicznego przeprowadzane na podstawie ciągłego monitoringu konstrukcji pozwalają na kontrolowanie stanów granicznych nośności i użyteczności, a tym samym ryzyka ewentualnego jej przeciążenia. Należy podkreślić, że ta „ciągłość monitoringu” jest umowna i wynika z subiektywnej oceny dotyczącej osiągnięcia stanów ostrzegawczych lub alarmowych albo oszacowania tempa zmienności obciążeń środowiskowych czy postępu prac interwencyjnych. Obserwacja konstrukcji obiektów historycznych jest konieczna nie tylko wtedy, gdy zachodzą zjawiska niszczące, lecz także podczas ich napraw lub rekonstrukcji. Monitorowanie powinno być podejmowane na każdym etapie tego typu działań. Monitoring jest więc niezbędnym elementem całościowo ujętego systemu zarządzania i ochrony miejsc i obiektów historycznych, tymczasem obecnie stanowi jeden z najsłabszych elementów ochrony i zarządzania w obiektach budowlanych. W większości przypadków jest tylko zalecany.

Interesującym naukowo i bardzo pomocnym kierunkiem postępowania w planowaniu systemów monitoringu jest coraz częstsze stosowanie algorytmów optymalizacji rozmieszczenia mierników OSP (ang. *Optimal Sensor Placement*). Algorytmy OSP pozwalają na zoptymalizowanie pozyskiwanych danych pomiarowych przez dobór rodzaju mierników, ich liczby czy umiejscowienia, sposobów pozyskiwania danych pomiarowych (jakości i częstotliwości), transferu, przechowywania i ich analizy. Mierniki należy rozmieszczać w sposób spełniający założone wymagania, wydajny i optymalny finansowo.

Monitorowanie stanowi poważny krok do zwiększenia bazy wiedzy o obiekcie, daje możliwość podjęcia słusznych decyzji konserwatorskich i kontrolowania jego zachowania w przyszłości. Nie jest to tylko kwestia zrozumienia tego, co wydarzyło się w przeszłości, lecz także, przez długotrwałą ocenę stanu obiektu, skuteczne prognozowanie, predykcji i oceny prawidłowości wykonanych ewentualnych niezbędnych interwencji naprawczych. Odpowiednio skalibrowany model obliczeniowy monitorowanej konstrukcji powinien pozwalać na symulowanie i przewidywanie stanów awaryjnych przed ich wystąpieniem. Zebrane informacje ułatwiają identyfikację powtarzających się problemów lub obszarów podatnych na uszkodzenia. Wskazane problematyczne obszary mogą być intensywniej monitorowane, aż do podjęcia decyzji o ewentualnej interwencji, jak i po niej. W celu przeprowadzenia prawidłowych prac, np. naprawy, należy dokonać analizy stanu konstrukcji obiektu obejmującej:

- wykonanie kontroli i szczegółowej inwentaryzacji obiektu,
- określenie stanu i parametrów materiałów oraz przyjęcie modeli materiałów do obliczeń,
- przetworzenie rzeczywistej geometrii elementów konstrukcyjnych na model cyfrowy (analityczny lub numeryczny) wraz z imperfekcjami, uszkodzeniami itp.,
- przypisanie wybranych modeli materiałów do poszczególnych elementów konstrukcyjnych,
- obciążenie modelu cyfrowego wartościami (siły i przemieszczenia) występującymi w rzeczywistym obiekcie,
- przeprowadzenie procesu obliczeniowego i analizy wyników prowadzącej do decyzji o ewentualnej interwencji.

Różne klasyfikacje monitoringu opierają się na odmiennych kryteriach, takich jak cel monitorowania, rodzaj pomiarów (statyczne lub dynamiczne), charakter badań (badania niszczące, quasi-niszczące i nieniszczące) oraz czas monitorowania. W związku z tym, aby system spełniał założone cele, należy go odpowiednio dostosować. Z analizy przedstawionych przykładów systemów monitoringu można wywnioskować, że zamiast ogólnych, wszechstronnych systemów bardziej efektywne i mniej kosztowne są te wyspecjalizowane, skoncentrowane na konkretnych celach.

W rozdziale 5 sklasyfikowano i kompleksowo omówiono tematykę analizy i wizualizacji wyników pomiarów. Rozdział ten zawiera autorski algorytm automatyzacji analizy, predykcji i wizualizacji danych pomiarowych, bazujący na znanych modelach

statystycznych, np. regresji liniowej, ARX, XGBoost lub SVM, opracowany na potrzeby systemu ciągłego monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych, wykorzystujący do przesyłu danych zaawansowaną, bezprzewodową sieć IoT typu LoRaWAN. Przedstawiono również zalecenia dotyczące budowy i analizy modeli MES na podstawie danych z monitoringu diagnostycznego.

Analiza tych danych to proces badania poprawności rejestracji, interpretacji i wykorzystania informacji zebranych z wszystkich elementów systemów monitorujących konstrukcję. Z uwagi na ich ilość niezwykle ważne jest określenie, które pomiary siły, przemieszczenia, przyspieszenia, temperatury itp. muszą być rejestrowane w określonym czasie i które są uważane za przydatne do zrozumienia zachowania konstrukcji historycznej. Ma to duże znaczenie, ponieważ prawidłowa identyfikacja wyników pomiarów i budowa modeli matematycznych (algorytmów przetwarzania danych) dla układów pomiarowych na podstawie obserwowanych wyników jest dużym wyzwaniem, również z uwagi na dostępność wielu metod analizy danych pomiarowych.

Głównym narzędziem teoretycznym zastosowanym w analizie, umożliwiającym ilościową i zintegrowaną charakterystykę dużych zbiorów danych pomiarowych powstających w sieciach monitoringu, jest statystyka matematyczna. Dobrze dobrany algorytm statystyczny może być pomocny w symulacji i prognozowaniu przyszłego zachowania monitorowanych w konstrukcji parametrów. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na problemem pojawiający się w monitoringu konstrukcji, którym są niepewności pomiarowe, nazywane też błędami pomiarowymi. Ponieważ niepewności pomiarowe mogą wystąpić na każdym etapie procesu pomiarowego – od przygotowania sprzętu, przez instalację czujników/mierników, aż po analizę wyników – należy je odróżniać i niwelować. Trzeba dodać, że niepewności nie wynikają zwykle z pomyłki, lecz są nieodłącznym elementem procesu pomiarowego.

Do analizy danych najczęściej stosowane są najprostsze statystyczne metody regresji liniowej (ang. *Linear Regressions*, LR) lub liniowej tendencji rozwojowej (trendu), w których liniowe kombinacje zmiennych i parametrów dopasowują model do danych w taki sposób, aby powstający model był obciążony jak najmniejszym błędem losowym. Innymi modelami ciągów czasowych, które testowano w celu doboru najskuteczniejszych, były liniowe modele autoregresji AR (ang. *AutoRegressive*), modele autoregresji z zewnętrznym wejściem ARX (ang. *AutoRegressive with eXogeneous variables*), modele średniej ruchomej MA (ang. *Moving Average*), kombinacje obu poprzednich typów oraz bardziej zaawansowane modele nieliniowe, np. model autoregresywny progowy TAR (ang. *Threshold*



*AutoRegressive*) i model autoregresywny płynnego przejścia STAR (ang. *Smooth Transition AutoRegressive*) lub nieliniowe modele autoregresywne ze średnią ruchomą i zewnętrznym wejściem NARMA (ang. *Nonlinear AutoRegressive Moving Average*). Najbardziej zaawansowanymi testowanymi systemami wspomagającymi analizę i prognozowanie szeregów czasowych były wybrane, bazujące na sztucznej inteligencji AI (ang. *Artificial Intelligence*) metody heurystyczne, takie jak: uczenie maszynowe ML (ang. *Machine Learning*), głębokie uczenie DL (ang. *Deep Learning*) wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe ANNs (ang. *Artificial Neural Networks*). Możliwe jest również wykorzystanie np. systemów rozmytych sieci neuronowych FNN (ang. *Fuzzy Neural Networks*), sieci bayesowskich BNN (ang. *Bayesian Neural Networks*) lub algorytmów genetycznych GA (ang. *Genetic Algorithm*), będących częścią algorytmów ewolucyjnych EA (ang. *Evolutionary Algorithms*) i innych. Nie wszystkie z nich w przypadku monitoringu konstrukcji są łatwo aplikowalne, np. ze względu na czas obliczeń, ilość i rodzaj składowych danych.

Programy i systemy wykorzystujące sztuczną inteligencję (AI) mogą wykonywać różnorodne zadania, takie jak rozwiązywanie problemów, planowanie, uczenie się i wiele innych. Uczenie maszynowe (ML) to dział sztucznej inteligencji (AI) skupiający się na tworzeniu algorytmów, które mogą się uczyć na podstawie danych i podejmować decyzje na bazie obserwowanych w tych danych wzorców. Te inteligentne systemy wymagają interwencji człowieka, gdy podejmowana decyzja jest nieprawidłowa lub niepożądana. Głębokie uczenie (DL) to kolejny podzbiór uczenia maszynowego – wykorzystuje sztuczne sieci neuronowe do przetwarzania danych przez różne warstwy algorytmów i osiągnięcia dokładnej decyzji bez interwencji człowieka.

Niezależnie od wyboru metody i modelu analizy danych duży problem stanowi liczba wyników i ich jakość. Przed obróbką należy je uporządkować i zweryfikować. Analizując zmiany zachowania konstrukcji (ugięcia, odchylenia od pionu, osiadania, zarysowania itp.) oraz trendy tych zmian, można stwierdzić istniejącą zależność wyników od parametrów środowiskowych, których kontrola i kwantyfikacja są niezbędne przed każdą próbą analizy otrzymanych wyników. W rzeczywistości po odfiltrowaniu efektów czynników środowiskowych, np. używając jednego z modeli autoregresji, lub eksploatacyjnych z zarejestrowanych danych możliwy jest dokładniejszy podział pomiarów na ich składniki odwracalne i nieodwracalne, przy czym te ostatnie są związane z aktywnymi procesami niszczenia. Dla odfiltrowania wpływu zmian środowiskowych zastosowano model ARX umożliwiający uporządkowanie wyników i wyodrębnienie tych, które wpływają na nieodwracalne zmiany w analizowanych obiektach.

Niekiedy może brakować części danych pomiarowych z monitorowanej konstrukcji. Dzieje się tak z różnych powodów, takich jak awaria miernika, awaria transmisji danych lub czynniki środowiskowe. Aby rozwiązać ten problem, często stosuje się techniki przypisywania (imputacji) danych w celu uzupełnienia brakujących wartości. Ważność i dokładność wyników po imputacji zależą jednak od przyjętych założeń dotyczących mechanizmu uzupełniania brakujących danych.

Większość badaczy zajmujących się brakami danych wyróżnia trzy rodzaje mechanizmów powodujące braki w danych: mechanizm całkowicie losowy występowania braków MCAR (ang. *Missing Completely At Random*), mechanizm losowy występowania braków MAR (ang. *Missing At Random*) oraz mechanizm nielosowy występowania braków MNAR (ang. *Missing Not At Random*).

Rozróżnienie między typami mechanizmów powodujących braki danych jest ważne dlatego, że w zależności od mechanizmu metody radzenia sobie z ich brakami są w różnym stopniu skuteczne. Brakujące dane można usuwać, pomijać, interpolować lub imputować (symulować). W pomiarach monitoringowych najczęściej pomija się braki lub je symuluje.

Ponieważ obiekty historyczne zlokalizowane w Polsce to w głównej mierze konstrukcje murowane z cegły lub kamienia, które charakteryzują się bardzo niską wytrzymałością na rozciąganie, najczęstszym widocznym na nich uszkodzeniem jest pęknięcie. Zazwyczaj rezultat tego procesu jest bardzo powolny, a przez to trudny do zidentyfikowania, tym samym monitorowanie zarysowań jest jednym z najważniejszych celów w długoterminowych systemach monitoringu statycznego. Innym ważnym niepożądanym efektem widocznym w konstrukcjach historycznych, świadczącym o niepoprawnej ich pracy, są odchylenia od pionu, dlatego je również powinno się monitorować. Te parametry są jednak bardzo wrażliwe na zmiany spowodowane warunkami środowiskowymi oraz otoczenia i należy pamiętać, że z powodu powolnego rozwoju w badanych parametrach oraz zależności wyników pomiarów od cykli sezonowych wymagane są zazwyczaj okresy monitorowania trwające co najmniej 2–3 lata, aby wyciągnąć sensowne wnioski z danych. W rzeczywistości ze względu na ograniczenia powszechnie stosowanych do interpretacji danych technik analizy, takich jak np. trend liniowy, często konieczne są dłuższe okresy monitorowania. Ta długość trwania monitoringu statycznego pozwala na uwzględnianie różnorodnych czynników, takich jak zmiany w środowisku, sezonowe fluktuacje, a także wpływ zmian klimatu na dany obszar. W ten sposób można uzyskać bardziej kompleksową i dokładniejszą analizę danych, która pozwoli na wyciągnięcie trafnych wniosków.

Uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników nieznacznie bardziej zaawansowaną metodą statystyczną zapewnia regresja liniowa, która służy do określenia zależności między jedną zmienną zależną a jedną zmienną niezależną (lub więcej). W przypadku monitoringu konstrukcji zmienną zależną może być np. rozwarłość rysy, a zmienne niezależne obejmują różne czynniki, takie jak zmiana temperatury, wilgotności itp. W przypadku bardziej skomplikowanych konstrukcji lub bardziej złożonych czynników wpływających na ich zachowanie może być konieczne zastosowanie zaawansowanych technik analizy. Te zaawansowane analizy dążą do zbadania korelacji i wpływu na zmiany głównych mierzonych wartości.

Wybór najlepszego modelu nie zależy tylko od wyników statystycznych metryk, lecz także od specyfiki problemu, który trzeba rozwiązać, oraz dostępności i liczby danych.

W ostatniej części rozdziału skupiono się na prezentacji wyników pomiarów, ponieważ jest to jeden z ważniejszych etapów oceny ewentualnych zmian, którym poddawany jest obiekt. Zaznaczono również kolejny ważny etap diagnostyki obiektów – budowę i weryfikację modelu numerycznego na podstawie danych z monitoringu diagnostycznego. Informacje z pracującego systemu monitoringu diagnostycznego zostały wykorzystane do precyzyjnego dostosowywania symulacji w modelach numerycznych w odniesieniu do rzeczywistego stanu budowli. Dokładne, ciągłe monitorowanie i automatyczne wykonywanie w czasie rzeczywistym analiz naprężeń i deformacji pozwala więc na identyfikację najbardziej wrażliwych obszarów, które wymagają natychmiastowej interwencji wzmacniającej.

Wizualizację danych pomiarowych można podzielić, tak jak monitoring, na reaktywną i proaktywną. Reaktywna skupia się głównie na generowaniu danych z monitoringu konstrukcji, które informują o mierzonych wartościach, stanie mierników, dostępności usług i innych podobnych problemach. Te dane są nieprzydatne do podejmowania kluczowych decyzji, ponieważ używane wyłącznie przez zespół operacyjny, co sprawia, że inne osoby lub zespoły biorące udział w procesie opieki nad obiektem są odcięte od dokładnych informacji o badanych parametrach. Działania proaktywne rozwiązują ten problem; uważa się je za kluczowe w zarządzaniu obiektami z wykorzystaniem infrastruktury chmurowej, nowoczesnymi aplikacjami i cyfrowymi bliźniakami obiektów.

Monitoring proaktywny to monitorowanie automatyczne, w którym system oraz aplikacje odpowiedzialne za pomiar i obsługę danych są zaprojektowane w taki sposób, aby generować wszystkie przydatne informacje oraz ostrzegać przed wystąpieniem zjawisk niepożądanych. W procesie monitorowania są zbierane wszystkie dane, również te dotyczące

wydajności systemów pomiarowych czy modeli obliczeniowych i wykorzystywane do analizy i przewidywania problemów wraz z alarmami, które są opatrzone kontekstem i zintegrowane z systemami zarządzania powiadomieniami i incydentami.

Dzięki graficznej wizualizacji opracowanych danych, np. w oprogramowaniu Grafana, można, obserwując i analizując, wychwycić z nich dużo więcej niż z „suchych” danych statystycznych i udostępniać je innym użytkownikom. Nowatorskim podejściem jest wykorzystywanie do tego celu wizualizacji 3D badanych obiektów. Pozwala to osadzić w przestrzeni trójwymiarowej trzy elementy: obiekt, sprzęt pomiarowy i wynik w formie graficznej. Do uzyskania tego celu wykorzystano ogólnodostępne aplikacje, takie jak Potree i Marzipano.

W podsumowaniu monografii przedstawiono jej wkład w rozwój naukowej dyscypliny. W związku z tym, że obiekty historyczne są istotnym elementem naszego krajobrazu i dziedzictwa kulturowego, jesteśmy zobowiązani zachować je w całym bogactwie i przekazać kolejnym pokoleniom. Różne podejścia i modele monitorowania, w tym monitoring diagnostyczny, to nieodłączne części procesu utrzymania obiektów historycznych. Najczęściej koncentrują się one na pozyskiwaniu parametrów środowiskowych wykorzystywanych jako dane wyjściowe do prostych funkcji lub modeli przewidujących uszkodzenia. Ich głównym celem jest zdobycie wiedzy o przyczynach uszkodzeń, co pozwala na optymalizację zarządzania konstrukcją i jej zachowaniem w przyszłości. W tym kontekście monitorowanie diagnostyczne konstrukcji obiektów historycznych powinno być stosowane obligatoryjnie, szczególnie na etapie naprawy, remontu i konserwacji konstrukcyjnej, aby móc poprawnie zdefiniować i kontrolować ewentualne interwencje wzmacniające. Metoda ta opiera się na najbardziej wiarygodnych dostępnych obecnie modelach zachowań konstrukcji, rzeczywistej reakcji budynku i jego pogłębionej obserwacji.

#### **4.1.4. Wkład prezentowanego głównego osiągnięcia naukowego w rozwój naukowej dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport**

Wkład prezentowanego głównego osiągnięcia naukowego pt. **Opracowanie autorskiej metody monitoringu diagnostycznego obiektów historycznych** zawartego w monografii pt. *Monitoring diagnostyczny obiektów historycznych* w rozwój naukowej dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport można określić następująco:

- analiza metod monitoringu pod kątem możliwości ich zastosowania w diagnostyce obiektów historycznych,

- opracowanie skutecznego i sprawdzonego w praktyce algorytmu postępowania, który prowadzi do oceny, diagnozy i przewidywania (predykcji) stanu zachowania konstrukcji historycznych,
- opracowanie autorskiej metody monitorowania diagnostycznego konstrukcji obiektów historycznych z wykorzystaniem bezprzewodowej sieci IoT; dzięki zastosowaniu mierników bezprzewodowych można znacząco przyspieszyć uzyskanie istotnych danych w zakresie identyfikacji uszkodzeń.

Proponowane metody opracowania i prezentacji danych pomiarowych są elastyczne, adaptowalne i efektywne – zapewniają podstawy gruntownej analizy umożliwiającej lepsze zrozumienie stanu zachowania konstrukcji historycznych i prowadzą do doboru właściwych metod wzmocnienia i konserwacji, również w kontekście doktryn konserwatorskich i przekazania wartości dziedzictwa przyszłym pokoleniom.

#### **4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-technologiczne**

Zrealizowanym oryginalnym osiągnięciem projektowo-technologicznym, stanowiącym istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa i transport zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.) jest **zaprojektowanie i wdrożenie systemu ciągłego monitoringu diagnostycznego zespołu obiektów historycznych zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej, wykorzystującego zaawansowaną, bezprzewodową sieć IoT typu LoRaWAN**. Oświadczenie dotyczące wkładu merytorycznego w zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-technologiczne przedstawiono w zał. [04] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”, a oświadczenie dotyczące realizacji oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego w zał. [05] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

##### **4.2.1. Wprowadzenie**

Mając na uwadze stan konstrukcji obiektów historycznych funkcjonujących w centrach historycznych miast, w których obserwuje się powolne i często nieodwracalne mechanizmy zmian, mogących w ekstremalnych przypadkach powodować zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i osób, od dawna poszukuje się skutecznego sposobu pozyskiwania pełnej

i rzetelnej wiedzy o stanie konstrukcji i występujących w nich uszkodzeniach. Rozwój technologii odgrywa kluczową rolę w obecnym świecie, również ochronie i zachowaniu dziedzictwa kulturowego, dlatego tradycyjne systemy nadzorowania (monitoringu) wykorzystujące proste wskaźniki najczęściej się nie sprawdzają. Zaawansowane mierniki przewodowe na ogół sprawdzają się w praktyce, ale wymagają bardzo dużych nakładów finansowych, co w znacznej mierze je dyskwalifikuje. Dzięki zastosowaniu systemu mierników bezprzewodowych i sieci o dużym zasięgu, które je obsługują, można znacząco poprawić wydajność diagnostyki konstrukcji historycznych w zakresie identyfikacji niekorzystnych zmian i uszkodzeń.

#### **4.2.2. Cele zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego**

Oryginalny, zaprojektowany od podstaw i wdrożony system monitoringu diagnostycznego zespołu obiektów historycznych funkcjonujących w zabudowie śródmiejskiej jest najprawdopodobniej jednym z pierwszych takich systemów zastosowanych w Polsce. Realizujące następujące cele:

- monitorowanie stanu uszkodzeń, zapewnienie bieżących informacji o zachowaniu się uszkodzonych elementów konstrukcyjnych w trakcie eksploatacji,
- usprawnienie zarządzania obiektami – system dostarcza wartościowych danych, które informują użytkowników o ewentualnych zmianach stanu elementów obiektów i mogą pomóc w podejmowaniu świadomych decyzji dotyczących konserwacji, renowacji i zarządzania tymi obiektami.

#### **4.2.3. Opis zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego**

W ramach zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technologicznego wraz z firmą SENSOREM.NET zaprojektowano i wdrożono system monitoringu konstrukcji kompleksu czterech wybranych, wykazujących pewne uszkodzenia budynków historycznych zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej, nadzorujący zachowanie się tych obiektów. Realizacja i wdrożenie osiągnięcia zostały wykonane przez firmę SENSOREM.NET, która obsługuje cztery obiekty (kościół, klasztor, szkołę i kamienicę) znajdujące się w centrum Nysy. Dla potrzeb całego systemu wykorzystano ponad 30 mierników rozwartości rys (szczelinomierzy), mierników wewnętrznej i zewnętrznej temperatury powietrza i jego

wilgotności, inklinometrów, akcelerometrów oraz dodatkowo mierników CO<sub>2</sub> wraz z infrastrukturą komunikacyjną (bramą dostępową, ang. *gateway*) wspomaganą przekaźnikami awaryjnymi. Budynki, w których realizowane są pomiary, stoją w zwartej zabudowie miejskiej w odległości ponad 300 m od bramy dostępowej. W dwóch budynkach zamontowano dodatkowe (awaryjne) przekaźniki. Rozmieszczenie monitorowanych obiektów wskazuje, że korzystając z jednego punktu dostępowego, można „obsługiwać” wiele obiektów znacznie od siebie oddalonych, z zainstalowanymi w tych obiektach różnymi miernikami, których liczba jest praktycznie nieograniczona.

Wyniki pomiarów przesyłane są do serwera w chmurze danych, a następnie, po automatycznej obróbce, wysyłane do serwisu wizualizacji danych pomiarowych.

W systemie wdrożona została rozbudowana infrastruktura mierników, które rozlokowano na różnych elementach badanych obiektów, co umożliwia przekazywanie danych o stanie technicznym i kondycji w czasie rzeczywistym, i to nie tylko pojedynczych budynków i ich elementów, lecz także całego ich zespołu. Działanie systemu opiera się na zoptymalizowanym pod kątem monitorowania różnych parametrów pomiarze wielu składowych, takich jak zmiany rozwartości zarysowań, zmiany odchylenia od pionu, zmiany temperatury i wilgotności, występujące wibracje i inne. Dzięki temu uzyskiwane są wszechstronne informacje o stanie technicznym obiektów. Do pomiarów wykorzystuje się zaawansowane technologie pomiarowe korzystające z bezprzewodowych mierników, nowoczesne technologie przesyłu, gromadzenia i analizy danych w czasie rzeczywistym. Dodatkowo w ramach wykonanego systemu przeprowadzona jest predykcja zmian mierzonych wartości. Opracowano również autorskie, oryginalne, skuteczne, zweryfikowane i zaimplementowane na obiektach rzeczywistych ścieżki postępowania i algorytmy obliczeniowe oraz badawcze polegające na ustaleniu kryteriów wyboru i optymalizacji miejsc wykonywania pomiarów (ang. *Optimal Sensor Placement*).

Zaprojektowany i wdrożony elektroniczny systemu ciągłego monitoringu diagnostycznego bazujący na bezprzewodowych miernikach wykorzystuje do komunikacji (przesyłu danych) do centralnej platformy zarządzania zaawansowaną, bezprzewodową sieć Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things, IoT*) typu LoRaWAN (ang. *Long Range Wide Area Network*). Technologia IoT umożliwia monitorowanie diagnostyczne wielu obiektów jednocześnie, co jest niezwykle korzystne w przypadku konstrukcji lub infrastruktury rozproszonej na dużej przestrzeni lub w zintegrowanej przestrzeni miejskiej. Dzięki IoT można bezprzewodowo zbierać dane z wielu mierników umieszczonych na różnych obiektach i przesyłać je do centralnego systemu monitorującego w czasie rzeczywistym.

Wykorzystana w osiągnięciu technologia komunikacji bezprzewodowej LoRaWAN została zaprojektowana tak, aby działające w niej urządzenia (mierniki) funkcjonowały jak najdłużej (nawet kilka lat przy wykorzystaniu jednej baterii) przy minimalnym zużyciu energii, przesyłały dane na duże odległości i jednocześnie miały możliwość dostosowywania prędkości transferu danych do warunków, takich jak oszczędzanie energii. Dostosowywanie prędkości transferu pozwala również na zwiększenie stabilności połączenia w przypadku słabego sygnału sieci przez zmniejszenie prędkości transferu danych na rzecz poprawy stabilności połączenia. W przypadku mocnego sygnału prędkość przesyłania danych może zostać zwiększona.

Mimo adaptacyjnej szybkości przesyłania odbywa się to bardzo wolno, w przedziale od 250 b/s do 11 kb/s. Nie pozwala to na przesyłanie dużej liczby danych, ogranicza się więc do transferu tekstu oraz innych niezbędnych danych.

LoRaWAN jest idealnym rozwiązaniem dla aplikacji IoT, które wymagają niskiego poboru energii i działają w rozległych obszarach. Kluczowymi elementami technologii IoT typu LoRaWAN są:

1. Topologia gwiazdy – LoRaWAN wykorzystuje topologię gwiazdy, co oznacza, że wszystkie urządzenia IoT łączą się bezpośrednio z bramkami, a nie ze sobą nawzajem. Bramki z kolei komunikują się z chmurą (serwerem aplikacji), która zbiera, przetwarza i przekierowuje dane do odpowiednich źródeł.
2. Technologia modulacji sygnału LoRa (ang. *Long Range*) – to technologia modulacji sygnału radiowego, która pozwala na komunikację na duże odległości (kilka kilometrów w terenie miejskim i nawet kilkadziesiąt kilometrów w terenie wiejskim). Dzięki temu urządzenia IoT mogą przysyłać dane do centralnych punktów dostępowych nawet z obszarów o słabym zasięgu.
3. Niskie zużycie energii – jednym z kluczowych aspektów LoRaWAN jest minimalne zużycie energii przez urządzenia IoT. Dzięki temu mogą one działać na jednej baterii przez wiele lat, co jest niezwykle istotne dla wielu aplikacji IoT, szczególnie tych umieszczonych w trudno dostępnych miejscach.
4. Szeroki zakres zastosowań – LoRaWAN znalazło zastosowanie w różnych dziedzinach, takich jak zarządzanie budynkami, *smart cities*, rolnictwo, przemysł, monitorowanie środowiska, monitorowanie zdrowia i wiele innych. Dzięki elastycznym możliwościom może obsługiwać różne scenariusze i wymagania aplikacji.



5. Bezpieczeństwo – LoRaWAN zapewnia odpowiednie mechanizmy bezpieczeństwa i szyfrowania danych, które chronią poufność i integralność przesyłanych informacji. Wszystkie urządzenia w sieci muszą być uwierzytelniane, aby uniknąć nieautoryzowanego dostępu.
6. Skalowalność – LoRaWAN jest łatwo skalowalne, co oznacza, że można dołączyć więcej urządzeń IoT do sieci bez konieczności zmiany infrastruktury w sposób znaczący wpływający na jej wydajność.

Dzięki swoim zaletom, takim jak niski koszt implementacji, zasięg i niskie zużycie energii, LoRaWAN znajduje coraz to szersze zastosowanie i jest jedną z głównych technologii przesyłu danych wykorzystywanych w sieciach IoT.

Wykorzystane w tym systemie, bazującym na topologii gwiazdy, bezprzewodowe mierniki dobierano z uwzględnieniem: wymaganej w danym przypadku rozdzielczości pomiarów, zakresu mierzonych wartości, trwałości czujników i stabilności pomiarów w czasie. Zapewniło to pozyskiwanie danych pomiarowych o wystarczającej jakości i ilości niezbędnej do analiz stanu konstrukcji. Komunikacja sieciowa mierników z serwerem oparta jest na platformach działających w chmurach danych, co zapewnia duże bezpieczeństwo i stałość przechowywania oraz przesyłu danych. Dodatkowo zastosowanie nieinwazyjnych metod i mierników, prostych w montażu i eksploatacji, pozwalających w sposób ciągły i ekonomiczny wykonywać pomiary w każdych warunkach, wydaje się słusznym kierunkiem rozwoju branży monitoringowej.

Centralna platforma zarządzania odpowiada za analizę i interpretację zebranych informacji. Wykorzystuje ona algorytmy statystyczne i sztuczną inteligencję w celu identyfikacji potencjalnych problemów oraz prognozowania przyszłych zagrożeń dla monitorowanych obiektów. Na tej podstawie generowane są raporty diagnostyczne.

Na podstawie wyników pomiarów za pomocą metryk RMSE i MAPE porównywane są różne modele predykcyjne oraz analizowane jest ich działanie i poprawność w zależności od liczby dni uwzględnionych w modelach. Proces predykcji na bazie pozyskiwanych z monitoringu danych można oczywiście zautomatyzować przy użyciu odpowiednich narzędzi informatycznych. Kluczową zaletą tego systemu jest więc możliwość ciągłego monitorowania, dzięki czemu problemy mogą być przewidywane i wykrywane na wczesnym etapie, co pozwala na szybką reakcję i uniknięcie poważniejszych uszkodzeń obiektów. Ponadto wykorzystanie bezprzewodowej technologii LoRaWAN eliminuje potrzebę uciążliwej instalacji kabli, co minimalizuje zakłócenia w wizualnej estetyce historycznych obiektów.

Jak w każdym profesjonalnym systemie monitoringowym, także i tu w mierzonych wielkościach fizycznych zadane są określone wartości progowe (głównie maksymalne), których przekroczenie oznacza zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji. Gdy dla dowolnej wielkości pomiarowej zostanie zarejestrowana wartość przewyższająca założony próg, uruchamiany jest tryb alarmowy, podczas którego komputer automatycznie wysyła informacje, które informują zarządców i użytkowników o konieczności podjęcia działań. Droga dystrybucji alertów jest dowolna, od wiadomości e-mail po SMS lub wiadomość tekstową na wybranym komunikatorze lub portalu.

Proponowana strategia umożliwia ocenę ewolucji monitorowanych parametrów oraz wzajemnych zależności między nimi. Pozwala to na łatwiejszą i bardziej efektywną identyfikację obszarów potencjalnie narażonych na ryzyko uszkodzeń. Innym istotnym elementem opracowanej metody jest jej zdolność do adaptacji. Dzięki temu model może się dostosować do zmian zachodzących w strukturze monitorowanego obiektu, jak również do nowych danych i informacji gromadzonych w trakcie monitoringu. Oznacza to, że system jest w stanie nieustannie się uczyć i doskonalić, co czyni go elastycznym wobec zmieniających się warunków.

#### **4.2.4. Wkład prezentowanego osiągnięcia projektowo-technologicznego w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport**

Podsumowując, wkład prezentowanego osiągnięcia projektowo-technologicznego pt. **Zaprojektowanie i wdrożenie systemu ciągłego monitoringu diagnostycznego zespołu obiektów historycznych zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej, wykorzystującego zaawansowaną, bezprzewodową sieć IoT typu LoRaWAN** w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport można określić następująco:

- analiza metod pomiarowych opartych na wykorzystaniu sieci IoT (Internetu Rzeczy) typu LoRaWAN pod kątem możliwości ich zastosowania w monitorowaniu obiektów historycznych i ich zespołów,
- opracowanie oryginalnych, skutecznych, zweryfikowanych i zaimplementowanych na obiektach rzeczywistych, ścieżek postępowania i algorytmów obliczeniowych służących do oceny bezpieczeństwa konstrukcji obiektów historycznych i ich zespołów,

- opracowanie algorytmu badawczego polegającego na ustaleniu kryteriów wyboru i optymalizacji miejsc pomiarów (*Optimal Sensor Placement, OSP*) pod kątem właściwego opomiarowania konstrukcji,
- wdrożenie do praktyki budowlanej i konserwatorskiej metod monitoringu, technologii pomiarowych i obliczeniowych niewymagających używania bardzo zaawansowanych i drogich mierników, programów obliczeniowych i systemów pomiarowych wykorzystanie rozwiązań ogólnodostępnych, których dokładność jest wystarczająca dla wsparcia oceny stanu obiektów i doboru właściwych metod wzmocnienia i konserwacji,
- wdrożenie modelu przewidywania (stanu zachowania obiektów) opartego na sztucznej inteligencji (modele statystyczne), co pozwala na wczesne wykrywanie i reagowanie na potencjalne problemy, zanim stworzą one zagrożenie dla integralności konstrukcji.

Wykorzystanie najnowocześniejszych technologii w celu ochrony i monitorowania dziedzictwa kulturowego jest stale przez autora rozwijane. Efektem prac są przygotowywane publikacje naukowe pośrednio wspierające wysiłki różnych środowisk, mające na celu ciągły nadzór nad zabytkami i zachowanie tożsamości kulturowej dla przyszłych pokoleń.

**4.3. Dodatkowe osiągnięcie naukowe zawarte w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b (Dz.U. 2023, poz. 742 ze zm.)**

Dodatkowym osiągnięciem naukowym jest osiągnięcie pt. **Opracowanie metody analizy, naprawy i wzmocnienia obiektów historycznych będących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym** przedstawione w cyklu dziewięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (zał. [A1-A9] znajdujące się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”). Podjęta tematyka artykułów mieści się w głównym obszarze mojej działalności naukowej, tj. diagnostyce, naprawach i wzmocnieniu konstrukcji obiektów historycznych. W skład cyklu wchodzi następujące artykuły naukowe:

- Zał. [A1] **Bednarz Ł.**, Bajno D. (2014), *Remains of urban heritage defence structures conservation, monitoring and use*, w: SAHC 2014, 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Mexico, 14–17 October 2014, conference proceedings, red. F. Pena, M. Chávez, s. 1–12.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2013–2018: -*  
*IF = -*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A1.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A2] **Bednarz Ł.J.**, Jasięńko J., Rutkowski M., Nowak T. (2014), *Strengthening and long term monitoring of the structure of an historical church presbytery*, “Engineering Structures” t. 81, s. 62–75.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2013–2018: 40*  
*IF = 01,838 (2014)*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A2.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A3] Jasięńko J., Di Tommaso A., **Bednarz Ł.J.**, Casacci S., Raszczuk K.A. (2015), *Comparative analysis of collapsing towers in Poland and Italy different causes, similar problems*, “Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” nr 43, s. 38–50.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2013–2018: 13*  
*IF = -*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A3.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A4] **Bednarz Ł.J.**, Jackiewicz M., Wojciechowska G., Rutkowski M. (2016), *Możliwość aplikacji kompozytów FRCCM w żelbetowych obiektach historycznych*, „Materiały Budowlane” nr 11, s. 136–139.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2013–2018: 8*  
*IF = -*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A4.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*

- Zał. [A5] **Bednarz Ł.J.**, Opalka P. (2019), *Construction disaster in a historic building... and what next?*, “Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” nr 60, s. 122–129.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2019–2023: 100*  
*IF = -*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A5.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A6] Bajno D., **Bednarz Ł.J.**, Matkowski Z., Raszczuk K.A. (2020), *Monitoring of thermal and moisture processes in various types of external historical walls*, “Materials” t. 13, nr 3, art. 505, s. 1–16.  
*Punktacja MNiSW (obecnie MEiN) z 2019–2023: 140*  
*IF = 03,623 (2020)*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A6.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A7] **Bednarz Ł.J.**, Drygała I.J., Dulińska J.M., Jasińko J. (2021), *Study of materials behavior in a monumental vault strengthened by a carbon net in a mineral matrix subjected to seismic influence*, “Applied Sciences” t. 11, nr 3, art 1015, s. 1–15.  
*Punktacja MEiN z 2019–2023: 100*  
*IF = 02,838 (2021)*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A7.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*
- Zał. [A8] **Bednarz Ł.**, Bajno D., Matkowski Z., Skrzypczak I., Leśniak A. (2021), *Elements of pathway for quick and reliable health monitoring of concrete behavior in cable post tensioned concrete girders*, “Materials” t. 14, nr 6, art 1503, s. 1–29.  
*Punktacja MEiN z 2019–2023: 140*  
*IF = 03,748 (2021)*  
*Oświadczenie współautorów (zał. [A8.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*

Zał. [A9] Bajno D., Grzybowska A., **Bednarz Ł.J.** (2021), *Old and modern wooden buildings in the context of sustainable development*, "Energies" t. 14, nr 18, art 5975, s. 1–33.

*Punktacja MEiN z 2019–2023: 140*

*IF = 03,252 (2021)*

*Oświadczenie współautorów (zał. [A9.1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).*

Sumaryczny *Impact Factor* publikacji wchodzących w skład dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (zał. [A1–A9] znajdujące się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) wg listy „Journal Citation Reports” (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **15,299**.

Sumaryczna punktacja publikacji wchodzących w skład dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (zał. [A1–A9] znajdujące się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) zgodnie z rokiem wydania wg rozporządzenia MEiN (poprzednio: MNiSW) wynosi **681 pkt**.

#### **4.3.1. Wprowadzenie**

Przedmiotem cyklu artykułów są rezultaty prac własnych, badań laboratoryjnych oraz badań *in situ* wykonanych w obiektach historycznych. Obiekty te stanowią integralną część naszego dziedzictwa kulturowego, odzwierciedlając architektoniczne, społeczne i historyczne wartości minionych epok. Jednak wiele z tych obiektów stoi w obliczu zagrożenia degradacją, co stanowi poważne wyzwanie dla ich ochrony. Proponowane podejście ma na celu znalezienie równowagi między zachowaniem historycznego znaczenia tych obiektów a zapewnieniem bezpiecznego ich funkcjonowania, oczywiście jeśli jest taka potrzeba, z poszanowaniem zasad ochrony konserwatorskiej.

Pierwszym etapem jest dokładna ocena konstrukcji. Obejmuje ona m.in. badania nieniszczące, inspekcje wizualne wykonywane w celu zidentyfikowania widocznych uszkodzeń lub ich oznak oraz kwerendy i badania historyczne mające na celu zrozumienie oryginalnych technik konstrukcyjnych i użytych materiałów.

Drugim etapem jest ocena ryzyka, która ma kluczowe znaczenie dla ustalenia priorytetów interwencji. Powinna ona uwzględniać takie czynniki jak historyczne znaczenie budynku, zakres uszkodzeń i prawdopodobieństwo wystąpienia awarii.

Kolejnym etapem jest dobór strategii naprawczej, która, jeśli jest taka konieczność, musi być zgodna z zasadami ochrony zabytków. Najczęściej strategia obejmuje identyfikację kompatybilnych materiałów, które pasują do oryginału. Opiera się na zachowaniu i naprawie, a nie wymianie, historycznej tkanki, gdy tylko jest to możliwe i wykorzystaniu odwracalnych interwencji w celu zminimalizowania wpływu na konstrukcję.

Czwarty etap polega na wyborze metody naprawy i wzmocnienia. Wybór powinien być dokonany na podstawie obliczeń i analiz w sposób rozsądny, aby zachować historyczny charakter konstrukcji.

W ostatnim etapie powinno się wdrożyć plan monitoringu i konserwacji. Ma to zasadnicze znaczenie dla zapewnienia długoterminowego użytkowania obiektu i jego elementów. Regularne inspekcje i konserwacja mogą zapobiec przyszłym nieprzewidzianym uszkodzeniom.

Zachowanie zabytkowych konstrukcji pracujących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym, czyli poprzedzającym katastrofę budowlaną, wymaga ujednoliconego i kompleksowego podejścia. Proponowana metoda oferuje ramy do jego osiągnięcia. Przeprowadzając analizy konstrukcyjne, ustalając priorytety zasad ochrony, wdrażając odpowiednie strategie napraw i wzmocnień oraz ustanawiając plany monitorowania i konserwacji, można zachować te często cenne dobra kultury dla przyszłych pokoleń. Równoważenie bezpieczeństwa konstrukcji z ochroną historyczną jest trudne, ale osiągalne.

#### **4.3.2. Cele dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

Celem głównym dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu artykułów naukowych było opracowanie jednolitej, kompleksowej metody analizy, naprawy i wzmocnienia obiektów historycznych będących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym. Cele szczegółowe to:

- określenie stanu obiektów historycznych będących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym, na podstawie doświadczalnych badań diagnostycznych, analiz teoretycznych i numerycznych,

- określenie warunków dalszego bezpiecznego użytkowania elementów konstrukcyjnych i/lub całych obiektów historycznych, po ich naprawie i/lub wzmocnieniu.

Cele prezentowane w dodatkowym osiągnięciu naukowym zostały osiągnięte i przedstawione w publikacjach, których treść w kolejności chronologicznej omówiono poniżej.

#### **4.3.3. Opis dodatkowego osiągnięcia naukowego zawartego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

W artykule *Remains of urban heritage defence structures conservation, monitoring and use* (zał. [A1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) przedstawiono przykłady murowanych budowli obronnych, będących pozostałościami średniowiecznych i późniejszych murów obronnych, zlokalizowanych w wielu miastach i charakteryzujących się niezadowalającym stanem technicznym. Przedstawiono przegląd istniejącej bazy wiedzy na temat stosowanych współcześnie i zgodnych z obowiązującą doktryną konserwatorską metody diagnostyki, naprawy, konserwacji i wzmocnienia zabytkowych murów obronnych. Omówiono metody monitorowania stanu technicznego. Wszystkie opisane działania miały na celu zachowanie trwałości i użyteczności budowli dla przyszłych pokoleń.

Weryfikacja wykazała, że proponowany zakres proponowanych i wykorzystanych metod diagnostycznych i wzmocniających prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie i naprawach tego typu konstrukcji.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A1.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

Celem artykułu *Strengthening and long term monitoring of the structure of a historical church presbytery* (zał. [A2] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) była weryfikacja możliwości odwzorowania istniejącego obiektu w modelu numerycznym. Opracowany na podstawie danych pomiarowych pozyskanych ze skaningu laserowego 3D model pozwolił na dokładne studium zachowania konstrukcji murowanej prezbiterium zabytkowego kościoła. Zastosowany w metodzie elementów skończonych model materiałowy oraz wiele schematów (wariantów obciążeń, wymuszonych przemieszczeń oraz zmiany warunków podparcia) pozwoliły na symulację pracy konstrukcji i umożliwiły wskazanie miejsc wyęzonych, wymagających wzmocnienia.



Weryfikacja wykazała, że proponowany zakres metod obliczeniowych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie i wzmacnianiu tego typu historycznych konstrukcji murowych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A2.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

Artykuł *Comparative analysis of collapsing towers in Poland and Italy different causes, similar problems* (zał. [A3] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) stanowi dyskusję nad problematyką zagrożonych zawaleniem wież wykonanych w konstrukcji murowej. Zwrócono uwagę na szersze znaczenie badań dwóch przykładowych wież, z których jedna uległa zawaleniu (w Otyniu w Polsce), a drugą poddano awaryjnej interwencji wzmacniającej przy użyciu niekonwencjonalnych metod (w Reno Centese we Włoszech). W Otyniu nie prowadzono monitoringu stanu obiektu i nie podjęto szybkiej decyzji odnośnie do interwencji wzmacniającej. Z kolei w Reno Centese, po stwierdzeniu, że dzwonnicy zagraża katastrofa, zdecydowano o podjęciu awaryjnej interwencji wzmacniającej z wykorzystaniem natrysku materiału kompozytowego FRC oraz opasano obiekt materiałem kompozytowym FRP.

Weryfikacja wykazała, że proponowany zakres analiz, metod diagnostycznych i rozeznanie w technologii wzmacniania wykorzystującej materiały kompozytowe prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie i wzmacnianiu tego typu wieżowych konstrukcji murowych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A3.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

W artykule *Możliwość aplikacji kompozytów FRCM w żelbetowych obiektach historycznych* (zał. [A4] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) zaprezentowano koncepcje naprawy konstrukcji historycznego żelbetowego sklepienia wykonanego ponad niecką basenową w obiekcie zabytkowej pływalni za pomocą materiałów kompozytowych FRCM. Analizowane podejście do wzmocnienia konstrukcji żelbetowych obiektów historycznych, które często są narażone na uszkodzenia ze względu na nie najlepszą jakość i stan betonu, ekstremalne obciążenia i szkodliwy wpływ otoczenia jest w dalszym ciągu nowatorskie, w szczególności ze względu na trudności pojawiające się na etapie projektowania wzmocnienia. Z uwagi na te problemy konstrukcje żelbetowe, zwłaszcza historyczne, wymagają stosowania ochrony profilaktycznej oraz podejmowania działań naprawczych i wzmacniających o długotrwałym działaniu. W większości aktualnych normatywów nie ma ujednoczonego podejścia do delaminacji (tzw.

*debondingu*) materiału kompozytowego od wzmacnianego podłoża oraz jednoznacznych kryteriów obliczeniowych. W artykule starano się takie podejście zaproponować.

Przeprowadzona weryfikacja wykazała, że proponowany zakres metod obliczeniowych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie i wzmacnianiu historycznych konstrukcji żelbetowych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A4.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”.

Celem artykułu *Construction disaster in a historic building... and what next?* (zał. [A5] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”) była analiza przyczyn i skutków katastrofy budowlanej XIV-wiecznego kościoła. Obiekt słynący z bardzo dobrze zachowanych XV-wiecznych polichromii ściennych został częściowo uszkodzony podczas prowadzenia robót budowlanych przy więźbie dachowej. Zawaleniu uległa wschodnia ściana szczytowa, część sklepienia kolebkowego z lunetami i część storczykowej więźby dachowej. Zniszczone zostały również niektóre elementy wyposażenia obiektu. W wyniku katastrofy bezpośrednio zagrożone zostały cenne polichromie ścienne. Podobnie jak w większości katastrof budowlanych, przyczyną zawalenia się ściany szczytowej, sklepień i więźby dachowej kościoła było nawarstwienie się wielu przyczyn, m.in. wieloletnich zaniedbań, braku okresowych kontroli i przeglądów obiektu oraz pochopna decyzja dotycząca wymiany całej więźby dachowej nad nawą główną. Prace projektowe i wykonawcze były prowadzone bez uwzględnienia zapisów obowiązujących doktryn konserwatorskich i regulacji prawnych. W artykule wykazano, że poza bezpośrednimi przyczynami, problematykę awarii należy widzieć szerzej, tym bardziej że może dotyczyć innych obiektów historycznych. Nie spełniają one wymagań współczesnych norm, a analizy statyczno-wytrzymałościowe nie znajdują w ich przypadku bezpośredniego zastosowania. Wśród innych przyczyn wymieniono również brak wiedzy i świadomości wagi problematyki konserwatorskiej.

Ponieważ wiedza na temat historycznych i nowoczesnych materiałów oraz technologii pozostaje najczęściej poza zasięgiem podmiotów podejmujących się prac projektowych i wykonawczych, trudno zapewnić trwałość zabytków zgodną z doktrynami konserwatorskimi.

Weryfikacja wykazała, że proponowana metoda badawczych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie historycznych konstrukcji, które uległy awarii.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A5.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

W artykule *Monitoring of thermal and moisture processes in various types of external historical walls* (zał. [A6] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) poruszono część zagadnień związanych z problemami dotyczącymi obiektów historycznych, w tym zawilgoceniami przegród budowlanych wilgocią pochodzącą z zewnątrz oraz wewnętrzną, będącą skutkiem zachodzących w nich procesów fizycznych, co ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo oraz trwałość całych obiektów. Skupiono się na wybranych technikach badań i symulacjach obliczeniowych w zakresie przemieszczania się wilgoci (pochodzącej z różnych źródeł) wewnątrz przegród budowlanych. Symulacyjne modele obliczeniowe obejmowały kilkuletnie okresy prognozowania wpływu wdrożeń metod ochronnych w zakresie izolacji na bezpieczeństwo i trwałość tych obiektów i ich poszczególnych elementów. Zaproponowana metoda badawcza bazowała na wybranych kilku reprezentacyjnych rodzajach historycznych murów, dla których przedstawiono charakterystyki materiałowe poszczególnych elementów murowych. Przedstawiono wyniki pomiarów wilgotności (wykonanych w kilku tego typu murach) na przełomie ostatnich kilkunastu lat. Wykonano obliczenia symulacyjne, na podstawie których dokonano oceny eksploatacyjnej ścian zewnętrznych wykonanych w różnych technologiach i w różnym okresie historycznym. Zaproponowano również możliwości ingerencji w celu poprawienia komfortu cieplno-wilgotnościowego pomieszczeń.

Weryfikacja wyników badań wykazała, że proponowany zakres analiz, metod diagnostycznych i pomiarowych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie zawilgoconych konstrukcji ścian.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A6.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

Celem artykułu *Study of materials behavior in a monumental vault strengthened by a carbon net in a mineral matrix subjected to seismic influence* (zał. [A7] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) była analiza porównawcza właściwości dynamicznych dwóch wariantów konstrukcji sklepień ceglanych. W I wariacie – konstrukcji sklepienia bez żadnych wzmocnień, w II wariacie – konstrukcji sklepienia z systemem wzmacniającym z węglowych materiałów kompozytowych (C-FRCM). Do oceny wpływu badanych zdarzeń sejsmicznych na sklepienie zastosowano model barceloński (BM) jako konstytutywny model elastoplastyczny materiału murowego. W przypadku sklepienia niewzmocnionego poziom pęknięć i utraty sztywności osiągnął 90%.

W przypadku sklepienia wzmocnionego systemem C-FRCM poziom uszkodzeń rozciągających był znacznie niższy, nie przekroczył 30%.

Weryfikacja wykazała, że proponowany zakres metod diagnostycznych i pomiarowych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie i wzmacnianiu tego typu konstrukcji murowanych sklepień ceglanych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A7.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

W artykule *Elements of pathway for quick and reliable health monitoring of concrete behavior in cable post tensioned concrete girders* (zał. [A8] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”) omówiono problemy związane z długotrwałą eksploatacją żelbetowych dźwigarów sprężonych. Niektóre z tych elementów konstrukcyjnych znajdują się w obiektach na terenach objętych ochroną konserwatorską. Skala problemów na świecie związanych ze stanem i liczbą tego rodzaju dźwigarów, wykonywanych od lat 50. XX wieku i nadal eksploatowanych, jest bardzo duża. W przyszłości może to wywołać bardzo poważne konsekwencje. W artykule opracowano oryginalną, skuteczną i zweryfikowaną na obiektach rzeczywistych ścieżkę postępowania i metodę kompleksowych badań diagnostycznych, naprawy i wzmocnienia konstrukcji obiektów historycznych. Przeprowadzono również analizę i ocenę wyników pomiarów ugięć (wyznaczono maksymalne przyrosty ugięć) sprężonych dźwigarów oraz wytrzymałości i jednorodności betonu, z których zostały wykonane, na przykładzie wybranych hal przemysłowych eksploatowanych od ponad 50 lat. Do określenia wytrzymałości betonu na ściskanie zastosowano i porównano nieniszczące, niszczące i pośrednie metody oceny. W wyniku przeprowadzonych badań nie potwierdzono przyjętych w projektach klas betonu, a jego klasyfikacja zależała od stopnia zużycia i zastosowanej metody badawczej.

Weryfikacja wykazała, że analizowane dźwigary, mimo długotrwałej eksploatacji, mogą być użytkowane jeszcze przez wiele lat pod warunkiem przeprowadzania regularnych okresowych kontroli ich stanu technicznego. Konieczny jest stały i cykliczny proces diagnostyczny i monitoring geometrii dźwigarów, gdyż przewiduje się, że będą eksploatowane znacznie dłużej, niż zakładali ich projektanci. Proponowany w artykule zakres metod diagnostycznych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie tego typu konstrukcji żelbetowych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A8.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”.

W artykule *Old and modern wooden buildings in the context of sustainable development* (zał. [A9] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”) przeanalizowano na trzech wybranych drewnianych obiektach z XVIII i XIX wieku przykłady wpływu oddziaływań procesów fizycznych zachodzących wewnątrz przegród o konstrukcji drewnianej oraz o zewnętrznych wpływach klimatycznych środowiska (opady atmosferyczne, para wodna, temperatura), od których stan przegród w bardzo dużym stopniu zależy, takich jak rodzaj, intensywność i zasięg korozji chemicznej i biologicznej, a tym samym bezpieczeństwo eksploatacji. Przeprowadzone badania konstrukcji drewnianych ww. obiektów *in situ* zweryfikowano za pomocą modeli symulacyjnych, w których porównano ich początkowy i aktualny stan techniczny w odniesieniu do rodzaju i wielkości oddziaływań, jakie powinny one bezpiecznie absorbować. Ponadto w ramach niniejszej pracy zaimplementowano metody sztucznej inteligencji (sztucznych sieci neuronowych) do przewidywania rozwoju korozji biologicznej badanych drewnianych konstrukcji historycznych.

Weryfikacja wykazała, że proponowany zakres stosowanych metod diagnostycznych prowadzi do uzyskania wiarygodnych wyników przydatnych w analizie tego typu konstrukcji drewnianych.

Wkład własny w treść artykułu przedstawiono w zał. [A9.1] znajdującym się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”.

#### **4.3.4. Wkład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych wchodzących w skład dodatkowego osiągnięcia naukowego w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport**

Podsumowując, wszystkie zdefiniowane cele naukowe zostały zweryfikowane pozytywnie w ramach prac stanowiących cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych wchodzących w skład dodatkowego osiągnięcia naukowego o tytule: **Opracowanie metody analizy, naprawy i wzmocnienia obiektów historycznych będących w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym**. Wkład dodatkowego osiągnięcia naukowego prezentowanego w cyklu powiązanych tematycznie artykułów w rozwój naukowy dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport można przedstawić następująco:

- analiza metod diagnostycznych i technologii naprawy i wzmocnienia pod kątem możliwości ich zastosowania w obiektach historycznych,

- opracowanie oryginalnych, skutecznych i zweryfikowanych na obiektach rzeczywistych ścieżek postępowania i metod kompleksowych badań diagnostycznych, naprawy i wzmocnienia konstrukcji obiektów historycznych,
- opracowanie i sparametryzowanie modeli obliczeniowych wykorzystujących dane materiałowe pozyskane z badań niszczących, nieniszczących i quasi-niszczących i badań laboratoryjnych,
- zbudowanie zbiorów danych materiałowych możliwych do wykorzystania w analizach obiektów historycznych wykonanych z takich samych materiałów, będących w podobnym wieku, stanie zachowania i o podobnej konstrukcji,
- wdrożenie do praktyki budowlanej metod niezbędnych do badań diagnostycznych różnego typu konstrukcji historycznych,
- wdrożenie metody analiz obiektów historycznych wzmocnianych materiałami kompozytowymi typu FRCM,
- opracowanie oryginalnej metody implementacji metod sztucznej inteligencji (sztucznych sieci neuronowych) do przewidywania rozwoju korozji biologicznej badanych drewnianych konstrukcji historycznych.

**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej**

Swoją istotną aktywność naukową realizuję w ramach współpracy z wieloma uczelniami, instytucjami naukowymi i instytucjami kultury, również zagranicznymi, w tym:

- Politechniką Krakowską,
- Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie,
- Politechniką Śląską,
- Politechniką Rzeszowską,
- Politechniką Bydgoską,
- Państwową Akademią Nauk Stosowanych w Nysie,
- Uniwersytetem Northumbria w Newcastle (Wielka Brytania),
- Uniwersytetem w Padwie (Włochy),
- Uniwersytetem w Bolonii (Włochy),

- Uniwersytetem w Perugii (Włochy),
- Uniwersytetem w Splicie (Chorwacja),
- Uniwersytetem w Mostarze (Bośnia i Hercegowina),
- Gruzińskim Uniwersytetem Technicznym w Tbilisi (Gruzja),
- Uniwersytetem Hellenic Mediterranean na Krecie (Grecja),
- Narodowym Uniwersytetem Budowlano-Architektonicznym w Kijowie (Ukraina),
- Ministerstwem Kultury i Dziedzictwa Narodowego,
- Narodowym Instytutem Dziedzictwa,
- Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków we Wrocławiu,
- Międzyuczelnianym Instytutem Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki (MiK),
- Parafią Ewangelicką w Lubaniu i innymi.

**W latach 2013–2014** brałem udział w pracach powołanego przez Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego polskiego zespołu naukowego do spraw odbudowy historycznej zabudowy miasta Christchurch w Nowej Zelandii (zał. [P1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”). W ramach tego zespołu, współpracując wraz z Międzyuczelnianym Instytutem Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki (MiK), przeprowadzono od 23 listopada do 4 grudnia 2013 r. prace badawcze, w trakcie których zajęto się zagadnieniami związanymi z uszkodzeniami obiektów historycznych powstałymi po trzęsieniach ziemi w latach 2010 i 2011. Weryfikowano również podejmowane już działania prewencyjne w zakresie ratowania, odbudowy i konserwacji zabytkowych obiektów budowlanych i pomników. Współpraca z MiK jest kontynuowana do chwili obecnej (zał. [013] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”). Dotychczasowym rezultatem tej współpracy jest współautorstwo: jednego artykułu naukowego (poz. [E29] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”) i jednego rozdziału w monografii naukowej (poz. [C14] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”).

**Od 14 lipca 2020 r. do 7 lipca 2021 r.** byłem członkiem międzyuczelnianej Grupy Ekspertckiej powołanej przez Politechnikę Krakowską do prac w Komisji interdyscyplinarnej w sprawie opracowania i uzgodnienia wspólnego rozwiązania naukowego dla potrzeb

remontu historycznego wiaduktu kolejowego w Krakowie objętego ochroną konserwatorską (zał. [P2] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

**Od 1 września 2020 r. do 31 listopada 2020 r. (3 miesiące)** odbyłem staż naukowy na Kiev National University of Construction and Architecture, Kijów, Ukraina (zał. [M1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”). W trakcie stażu przeprowadziłem badania naukowe związane z opieką nad obiektami historycznymi, polegające na analizie pracy statycznej konstrukcji historycznych murowanych i drewnianych, rekonstrukcji obiektów historycznych oraz ochronie obiektów zabytkowych i wykorzystaniu w niej metod eyetrackingu. Efektem stażu jest m.in. wspólna działalność publikacyjna obejmująca publikacje (poz. [E33], [E39], [E41], [E42], [E43] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”).

**Od listopada 2021 r. do marca 2022 r.** brałem udział w pracach badawczych powołanego przez Departament Ochrony Zabytków Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego zespołu naukowego do spraw opracowania rekomendacji hydrologicznych w postępowaniach przy inwestycjach na terenach podlegających ochronie konserwatorskiej (zał. [P3] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”). Rezultatem tej współpracy jest współautorstwo jednej monografii naukowej (poz. [B1] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”).

**Od 25 lipca 2022 r. do 12 sierpnia 2022 r. (18 dni)** odbyłem w ramach programu EU staż naukowy na Hellenic Mediterranean University, Sitia, Grecja (zał. [M2] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”). W trakcie stażu naukowego przeprowadziłem badania naukowe dotyczące pozyskania i analizy dużych zbiorów danych generowanych przez mierniki monitorujące konstrukcje historyczne, wykorzystujące innowacyjną technologię IoT. Efektem stażu jest m.in. wspólna działalność publikacyjna obejmująca jedną publikację naukową (poz. [E49] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”).



**Od 1 października 2022 r. do 28 lutego 2023 r. (5 miesięcy)** odbyłem staż naukowy na Kiev National University of Construction and Architecture, Kijów, Ukraina (zał. [M3] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”). W trakcie stażu przeprowadziłem badania naukowe związane z opieką nad obiektami historycznymi, w tym: wzmocnieniu, monitorowaniu i diagnostyce konstrukcji obiektów zabytkowych z wykorzystaniem nowych technologii (materiałów kompozytowych) i urządzeń pomiarowych (np. skanerów 3D, mierników działających w innowacyjnej technologii IoT). Efektem stażu jest m.in. wspólna działalność publikacyjna obejmująca publikacje będące w trakcie procesu wydawniczego.

Współpraca z wymienionymi ośrodkami naukowymi jest stale kontynuowana. Jej dotychczasowe rezultaty są następujące:

- współautorstwo **31** artykułów naukowych (w tym **8** w czasopismach z listy JCR),
- współautorstwo **25** referatów prezentowanych na konferencjach,
- współautorstwo **1** monografii naukowej,
- współautorstwo **6** rozdziałów w monografiach naukowych,
- współorganizacja **7** krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych i naukowo-technicznych,
- współredakcja monografii z materiałów konferencyjnych z **1** międzynarodowej konferencji naukowej,
- wygłoszenie za granicą wykładów **4** wykładów i **1** trzyczęściowego cyklu wykładów na zaproszenie,
- **3** zagraniczne staże naukowe (**18 dni, 3 i 5 miesięcy**).

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę**

### **6.1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych**

Prowadziłem i/lub prowadzę na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej (również w ZOD w Jeleniej Górze i Wałbrzychu w latach prowadzenia tam zajęć dydaktycznych) wszystkie formy zajęć dydaktycznych, takie jak wykłady, seminaria, laboratoria, z następujących przedmiotów:

- **Awarie i naprawy obiektów budownictwa ogólnego,**

- *Conservation and strengthening of monumental heritage structure* (zajęcia prowadzone w języku angielskim),
- **Materiały budowlane,**
- **Technologia betonów i zapraw,**
- **Technologie informacyjne,**
- *Timber structure* (zajęcia prowadzone w języku angielskim),
- **Trwałość i ochrona budowli.**

Prowadziłem i prowadzę na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej wykłady akademickie z przedmiotu:

- **Naprawa, wzmacnianie i konserwacja konstrukcji historycznych.**

Zajęcia te uwzględniają analizę najnowszych technologii budowlanych i konserwatorskich oraz innowacyjnych materiałów, publikowanych przede wszystkim w obcojęzycznych książkach naukowych, podręcznikach akademickich, publikacjach naukowych, raportach z badań naukowych, publikacjach popularno-naukowych. Przekazywana na zajęciach wiedza dotyczy także prowadzonych przeze mnie własnych badań naukowych, prowadzonej działalności inżynierskiej i ekspertyzowej oraz prezentuje nowoczesne materiały budowlane, metody badawcze i pomiarowe ważnych firm z rynku budowlanego.

Efektom powyższej działalności jest opracowanie nowych i aktualizacja istniejących kart przedmiotów **Trwałość i ochrona budowli** oraz **Naprawa, wzmacnianie i konserwacja konstrukcji historycznych**.

Byłem opiekunem licznych prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich oraz recenzentem takich prac.

- Liczba wypromowanych magistrów (**dyplomowe prace magisterskie w j. polskim**): **38**.
- Liczba wypromowanych inżynierów (**dyplomowe prace inżynierskie w j. polskim**): **9**.
- Liczba wypromowanych magistrów (**dyplomowe prace magisterskie w j. angielskim**): **9**.

**W latach 2016–2017** byłem opiekunem jednego indywidualnego projektu studentki (Veronici Belfiori) programu Erasmus +.

**W roku 2011** praca magisterska mojego dyplomanta zajęła 2. miejsce w konkursie Oddziału Wrocławskiego PZiTb na najlepszą pracę dyplomową wykonaną na Wydziale

Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w roku 2011 (zał. [015] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

**W roku 2011** praca magisterska mojego dyplomanta zdobyła nagrodę Przewodniczącego Dolnośląskiej Izby Inżynierów Budownictwa w konkursie na najlepsze prace dyplomowe na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej „Constructor Temporis Futuri”, organizowanym pod patronatem Dziekana Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej (zał. [016] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

**W roku 2022** praca magisterska mojej dyplomantki została uhonorowana nagrodą Przewodniczącego Dolnośląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa w konkursie na najlepsze prace dyplomowe na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej „Constructor Temporis Futuri”, organizowanym pod patronatem Dziekana Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej (zał. [017] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzających zamieszczone we wniosku informacje”).

## **6.2. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych**

Byłem współorganizatorem (członkiem komitetu organizacyjnego) krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych i naukowo-technicznych:

- **REMO 2009** (zał. [J1] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”),
- **SAHC 2012** (zał. [J2] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”),
- **Warsztaty Rzecznawcy Mykologiczno-Budowlanego 2014** (zał. [J3] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”),
- **Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures 2015** (zał. [J4] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”),

- **SHATIS'15** (zał. [J5] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”),
- **Symposium PSMB 2015** (zał. [J6] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”),
- **REMO 2015** (zał. [J7] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”),
- **REMO 2017** (zał. [J10] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”),
- **IB2MaC 2020** (zał. [J13] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

### **6.3. Informacja o osiągnięciach popularyzujących naukę**

Jestem współautorem jednego artykułu popularnonaukowego: **Bednarz Ł.J.**, Bajno D. (2011), *Rozproszone zbrojenie posadzek betonowych*, „Inwestycje Sektora Publicznego” nr 1, s. 49–51.

**W latach 2016, 2017, 2018, 2022** brałem, a w **2023 roku** biorę czynny udział (z wykładami i warsztatami) w Festiwalu Nauki organizowanym na terenie Dolnego Śląska przez wyższe uczelnie Wrocławia, instytuty Polskiej Akademii Nauk oraz środowiska pozauczelniane (zał. [018] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

**Dnia 22 kwietnia 2022 r.** brałem czynny udział (z wykładem) w dniu otwartym Filii Politechniki Wrocławskiej w Wałbrzychu (zał. [019] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

**7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt 1–6 wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej**

**7.1. Uprawnienia zawodowe i praktyka zawodowa**

**Od roku 2010** posiadam **uprawnienia do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej**, nr ewidencyjny: OPL/0650/PWOK/10, nr ewidencyjny izby: OPL/BO/0045/11 (zał. [020] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

**Od roku 2008** jestem **specjalistą mykologiczno-budowlanym**, nr ewidencyjny: 8/Sp/03/08 (zał. [021] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

Jestem autorem i współautorem ponad 100 wykonanych projektów, ekspertyz, raportów badawczych lub innych opracowań technicznych. Ważniejsze z nich przedstawiono w pkt III.5 „Wykaz ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców” (poz. [T1–T54] w Załączniku 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”).

## **7.2. Znajomość języków obcych**

Język angielski: poziom średniozaawansowany

Język hiszpański: poziom podstawowy

Język francuski: poziom podstawowy

Język rosyjski: poziom podstawowy

## **7.3. Nagrody**

**W latach 2020 i 2022** otrzymałem nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego się wkładu w działalność uczelni (zał. [022–023] znajdujące się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

**W roku 2015** otrzymałem Srebrną Odznakę Honorową PSMB (Polskiego Stowarzyszenia Mykologów Budownictwa) (zał. [024] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informację”).

W roku 2011 otrzymałem nagrodę Oddziału Wrocławskiego PZiTb (Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa) dla opiekuna pracy dyplomowej nagrodzonej w konkursie na najlepszą pracę dyplomową wykonaną na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w roku 2011 (zał. [015] znajdujący się w Załączniku 5 „Dokumenty potwierdzające zamieszczone we wniosku informacje”).

#### 7.4. Dane naukometryczne

Dane naukometryczne przedstawiono w pkt IV „Dane naukometryczne” Załącznika 4 „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport”, a poniżej znajduje się syntetyczne ich zestawienie.

Rodzaj pracy	Po uzyskaniu stopnia doktora	Ogółem
Artykuły ogółem	56	58
Artykuły w czasopismach z bazy JCR	12	12
Artykuły w czasopismach międzynarodowych spoza bazy JCR	6	6
Artykuły w czasopismach krajowych spoza bazy JCR	38	40
Monografie i książki	2	2
Rozdział w monografii/książce	14	16
Redakcja monografii i prac zbiorowych	1	1
Referaty na konferencjach międzynarodowych	22	22
Referaty na konferencjach krajowych	1	2
Inne prace	2	2

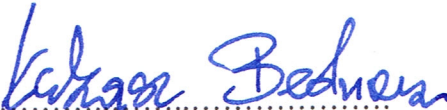
Sumaryczny **Impact Factor** (na dzień 15 września 2023 r.): **31,278**

Baza	Liczba cytowań (na dzień 15 września 2023 r.)
Web of Science	171 (140*)
Scopus	202 (147*)
Google Scholar	409
Research Gate	276
DONA Politechnika Wroclawska	142*

\*bez autocytoowań

Baza	Indeks Hirscha (na dzień 15 września 2023 r.)
Web of Science	8
Scopus	8 (7*)
Google Scholar	11
Research Gate	9

\*bez autocytowań

  
.....  
(podpis wnioskodawcy)