

## **AUTOREFERAT**

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,  
określonych w szczególności w art.16 ust.2 ustawy...

**Mariusz ŻÓŁTOWSKI**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
w Bydgoszczy

Bydgoszcz, 2016r.

# AUTOREFERAT

## SPIS TREŚCI

1. Dane autora.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu .....	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z ustawy z dnia 14 marca 2003.....	5
4.1. Jednotematyczny cykl publikacji.....	5
4.2. Omówienie celu naukowego.....	11
4.2.1. Obszary dociekań naukowo – badawczych „osiągnięcia naukowego”.....	11
4.2.2. Cel naukowy „osiągnięcia” i uzyskane wyniki.....	16
4.2.3. „Osiągnięcia naukowe” postępowania awansowego.....	17
4.3. Ocena zestawu opracowań książkowych i publikacji.....	19
5. Osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne.....	23
5.1. Inne osiągnięcia naukowe.....	24
5.2. Charakterystyka dorobku naukowego.....	25
5.3. Opracowania w badaniach zleconych i w projektach badawczych.....	28
5.4. Charakterystyka działalności dydaktycznej.....	29
5.5. Osiągnięcia w działalności organizacyjnej.....	31
6. Podsumowanie.....	33

## AUTOREFERAT

### 1. DANE AUTORA

Imię i nazwisko: **Mariusz ŻÓLTOWSKI** (ur. 19.03.1981r. w Pile)

Miejsce zamieszkania: **86-031 OSIELSKO, ul. Tymiankowa 2A m.8**

Dane kontaktowe: **Mariusz ŻÓLTOWSKI**

UTP University of Science and Technology

Bydgoszcz, POLAND

ul. Fordońska 430, Bydgoszcz 85-790, telefon: 52 340 82 28

[mariusz.zoltowski@utp.edu.pl](mailto:mariusz.zoltowski@utp.edu.pl)

### 2. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

- **Stopień doktora: 2009r. Politechnika Szczecińska**, Wydział Budownictwa i Architektury, kierunek: *budownictwo lądowe*, **dr inż. nauk technicznych, w dyscyplinie: Budownictwo.**

Tytuł pracy doktorskiej: **Diagnozowanie elementów murowych za pomocą analizy modalnej.**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Roman ORŁOWICZ**, Pol. Szczecińska.

Recenzenci: **prof. dr hab. inż. Adam PODHORECKI**, UTP Bydgoszcz.

**prof. nzw. dr hab. inż. Jerzy KASZYŃSKI**, Pol. Szczecińska.

- 2000-2004 **Uniwersytet Warmińsko – Mazurski** w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, kierunek Budownictwo Lądowe, studia stacjonarne, dyplom **magistra inżyniera.**

Tytuł pracy dyplomowej: **Właściwości betonu siarkowego w środowisku zasadowym.**

Promotor: **Prof. dr hab. inż. Jurij Orłowski**, UWM Olsztyn.

- 1996-2000 Społeczne **Liceum Ogólnokształcące** im. K. K. Baczyńskiego w Bydgoszczy. Profil ogólny z rozszerzonym językiem angielskim.

### 3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU

- 01.02.2010– nadal, **Uniwersytet Technologiczno- Przyrodniczy**, Bydgoszcz  
Stanowisko: **Adiunkt**

*Zakres obowiązków:* prowadzenie zajęć z przedmiotów: Mechanika stosowana, Drgania w budownictwie, Materiały budowlane, Ekonomika budowy, Kosztorysowanie i wycena nieruchomości, Harmonogramowanie robót budowlanych.

- 10.02.2009–01.10.2013 **Kujawsko– Pomorska Szkoła Wyższa**, Bydgoszcz  
Stanowisko: **Adiunkt**

*Zakres obowiązków:* prowadzenie zajęć z przedmiotów: Materiały budowlane, Ekonomika budowy, Kosztorysowanie i wycena nieruchomości, Harmonogramowanie robót budowlanych.

- 11.08.2009-01.10.2013 **Bydgoska Szkoła Wyższa**, Bydgoszcz  
Stanowisko: **adiunkt**

*Zakres obowiązków:* wykłady i ćwiczenia z przedmiotów: Mechanika budowli, Materiały budowlane, Maszyny budowlane, Projektowanie technologii budowy, Kosztorysowanie.

- 01.10.2008 – 01.02.2009 **Centrum Nauki i Biznesu „ŻAK”**, Toruń  
Stanowisko: **wykładowca**

*Zakres obowiązków:* prowadzenie zajęć dydaktycznych z rysunku i grafiki inżynierskiej, oraz dokumentacji projektowej.

#### **DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE**

Kandydat aktualnie jest adiunktem Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego w Bydgoszczy. Przez kilka lat (2005 – 2009) pracował w przemyśle zdobywając pierwsze doświadczenia zawodowe, zapoznając się z problemami inżynierii budownictwa i sposobami zarządzania w przemyśle.

- 01.06.2008 - 01.02.2009 **MARBUD.**, Toruń

Stanowisko: **Inżynier Budowy**

*Zakres obowiązków:* nadzór nad pracami budowlanymi na placu budowy, przygotowywanie wycen i ofert, negocjacja cen z podwykonawcami.

- 01.02.2008- 01.06.2008 **ALSTAL BUDOWNICTWO.**, Jacewo

Stanowisko: **Inżynier Budowy**

*Zakres obowiązków:* nadzór nad pracami budowlanymi na placu budowy, przygotowywanie wycen i ofert, negocjacja cen z podwykonawcami.

- 07.06.2007-15.12.2007 **SHIMIZU Corporation S.A.**, Toruń

Stanowisko: **Inżynier Budowy**

*Zakres obowiązków:* nadzór nad pracami budowlanymi na placu budowy, przygotowywanie wycen i ofert, negocjacja cen z podwykonawcami.

- 19.01.2007 – 01.06.2007 **EUROMETAL Sp z o.o.**, Toruń

Stanowisko: **Menadżer zarządzający**

*Zakres obowiązków:* przygotowywanie ofert techniczno – cenowych, przygotowywanie dokumentacji powykonawczych, prowadzenie kontaktów z klientami i z firmami projektowymi, koordynowanie procesu zleceń, uczestnictwo w procesie decyzyjnym, kontrola jakości elementów na produkcji, koordynowanie montażu konstrukcji.

- 01.07.2006 - 19.01.2007 **F.B.R. Kamila Wiśniewska**, Bydgoszcz

Stanowisko: **Inżynier budowy**

*Zakres obowiązków:* nadzór nad produkcją i późniejszym montażem konstrukcji stalowych.

- 01.07.2005 - 01.07.2006 **PZU S.A. Centrum Likwidacji Szkód**, Bydgoszcz

Stanowisko: **Specjalista szkód budowlanych**

*Zakres obowiązków:* likwidator szkód budowlanych, wizytacja miejsc szkód, wycena i wypłata odszkodowań.

**Znajomość języków:** język angielski — **bardzo dobry.**

**Umiejętności:** doskonała znajomość środowiska Windows XP i Internetu, znajomość programów: AutoCAD, MATLAB, PRO.INŻ, CATIA, INVENTOR, ARETICS, pakietu Office i wielu innych wspomagających pracę inżyniera.

**Hobby:** biegi rekreacyjne, kulturystyka, narty, pływanie.

#### 4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST.2 USTAWY Z DNIA 14 MARCU 2003R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

Osiągnięciem naukowym kandydata, uzyskanym po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, stanowiącym wkład w rozwój dyscypliny naukowej "Budownictwo", określonym w art. 16. ust.2 pkt.1 ustawy, są rezultaty kompleksowych badań naukowych opisanych w monotematycznym cyklu publikacji (książkowych i artykułów naukowych) zatytułowanym: ***Badanie degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami analizy modalnej*** w aspekcie modelowania i oceny cech użytkowych konstrukcji i systemów technicznych (maszyn, pojazdów) w budownictwie.

Podstawowym elementem tego cyklu są wskazane tu (2 autorskie i 1 współautorska) **monografie**, które stanowią zwarte podsumowanie zasadniczej części przeprowadzonych rozważań i badań dotyczących wpływu ewolucyjnie zmiennego stanu technicznego materiałów i konstrukcji (budowlanych i technicznych), determinowane warunkami i parametrami procesów wytwarzania, na stan i transformację procesów destrukcji w użytkowaniu i eksploatacji.

Uzupełnieniem monotematycznego cyklu opracowań książkowych są **publikacje** (tu wskazano 7), w których zaprezentowane są wyniki badań i analiz, które poszerzają obszar wiedzy w zakresie osiągnięcia naukowego. Przedstawiono w nich autorskie koncepcje poszczególnych rozwiązań, obejmujące: sformułowania problemu naukowego, zasady wyboru metodyki badań, ich przeprowadzenia oraz wnioskowanie z wyników pracy. Wyniki tych prac dotyczą badania czynników, mających wpływ na transformację stanu materiałów i budowli oraz systemów technicznych w budownictwie.

Wyróżniony i omówiony „cykl publikacji powiązanych tematycznie”, w obszarze teorii i badań procesów drganiowych oraz wykorzystania możliwości analizy modalnej, obejmuje głównie zagadnienia mechaniki i dynamiki konstrukcji oraz maszyn budowlanych w nowych zastosowaniach diagnostyki budowli i eksploatacji systemów technicznych w budownictwie.

#### 4.1. Jednotematyczny cykl publikacji pt.: ***„Badanie degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami analizy modalnej”***, stanowiący osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora.

Tematem cyklu publikacji jest monitorowanie zmian stanu destrukcji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami drganiowymi, przy wykorzystaniu metod analizy modalnej. W skład cyklu wchodzi **wybrane** 3 pozycje książkowe (oznaczone w zał. 5 numerami: 5.1, 5.2, 5.3) oraz 7 artykułów (zał.5, poz.5.4 - 5.10). Wszystkie te artykuły i wskazana książka napisane są w języku angielskim, w tym 6 opublikowano w czasopiśmie z Impact Factorem (IF). W proponowanym osiągnięciu naukowym przedstawiono autorskie rozwiązania z zakresu badania degradacji konstrukcji budowlanych, począwszy od zagadnień teoretycznych po zastosowania i weryfikację w praktyce.

Temat osiągnięcia: ***„Badanie degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami analizy modalnej”*** jest umocowany naukowo w **dziedzinie nauk technicznych**, w **dyscyplinie „budownictwo”**, a w tym postępowaniu jest całościowo (o zróżnicowanym poziomie i zakresie) opisany i uzasadniony w 8 pozycjach **książkowych** i w 75 recenzowanych **publikacjach** (autorskich i współautorskich) **krajowych i zagranicznych**, w obszarze: materiały budowlane, mechanika stosowana, dynamika, drgania, a także w dziedzinach wspierających, z obszaru, inżynierii budownictwa, zarządzania produkcją, użytkowania i eksploatacji.

Cykl publikacji powiązanych tematycznie, stanowiący o **istotnej aktywności naukowej** został przedstawiony chronologicznie i zawiera prace, do których zaliczono (załącznik 5):

**- opracowania książkowe:**

1. Żółtowski M.: **Analiza modalna w badaniu materiałów budowlanych**. Bydgoszcz 2011, Wydawnictwo ITE-PIB, Radom, ISBN 978-83-7204-918-6, Waga publikacji 20pkt MNiSW – udział 100%.
2. Żółtowski M.: **Operacyjna analiza modalna w badaniach konstrukcji budowlanych**. Bydgoszcz 2012, Wydawnictwo UTP w Bydgoszczy, ISBN 978-83-64235-32-0, Waga publikacji 20 pkt MNiSW – udział 100%.
3. Żółtowski M., Żółtowski B.: **Vibration signals in mechanical engineering and construction**. Wydawnictwo ITE-PIB, Radom, 2015, ISBN 978-83-7789-350-0, Waga publikacji 25pkt MNiSW – udział 50%.  
*Udział procentowy 50%, polegał na współdziale opracowania koncepcji treści merytorycznych, analizie zakresu treści poszczególnych rozdziałów, opracowaniu metodyki badań i prezentacji wyników badań, współdziale w opracowaniu wniosków, redakcji i doboru danych obrazujących problemy merytoryczne, opracowanie wybranych treści merytorycznych.*

**- publikacje naukowe:**

4. Żółtowski M.: Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. Polish Maritime Research, No. 1/(81), vol.21, ISSN 1233-2585, 2014, pp. 42-54. (100%) IF 0,324
5. Żółtowski M., Liss M., Melcer J.: Truss harbour cranes modal design elements research. Polish Maritime Research, 4(88), Vol. 22, 2015; pp. 84-92. (70%) IF 0,324  
*Udział procentowy 70%, polegał na zaproponowaniu problemu badawczego, metodyki realizacji, opracowaniu wyników, współdziale w opracowaniu wniosków, redakcji artykułu.*
6. Żółtowski M., Castaneda L., Żółtowski B.: Study of the state Francis Turbine. Polish Maritime Research, No.2/78, vol.20, ISSN 1233-2585, 2013, pp. 41-48. (50%) IF 0,324  
*Udział procentowy 50%, polegał na propozycji treści merytorycznych, opracowaniu metodyki badawczej, opracowaniu statystycznym wyników, współdziale w opracowaniu wniosków i redakcji artykułu.*
7. Żółtowski M.: Assessment State of Masonry Components Degradation. Applied Mechanics and Materials, Vol. 617(2014), Trans Tech Publications, Switzerland, 2014, ISSN 1662-7482, pp.142-147. (100%)
8. Żółtowski M.: The difference of wall elements state including the FRF function. International Journal of modern Engineering Research (IJMER), Vol.3, Issue 1, ISSN 2249–6645, Jan-Feb. 2013. pp.456-462. (100%)
9. Żółtowski M., Żółtowski B.: Methodology of the signal vibration signal use in evaluation of degradation. Indian Journal of Applied Research, Vol.4, Issue 7, ISSN 2250-1991, July 2015. pp. 404-406. (60%) IF- 3,41.  
*Udział procentowy 60%, polegał na współdziale opracowania koncepcji publikacji, zakresu treści poszczególnych rozdziałów, opracowaniu i prezentacji wyników badań, współdziale w opracowaniu wniosków, redakcji i doboru danych obrazujących wybrane treści merytoryczne.*
10. Żółtowski M., Żółtowski B.: The use of applied mechanics in the diagnosis of the state of degradation. PARIPEX – Indian Journal of Research, Vol.5, Issue 2, 2016. pp. 17-22.(50%) IF 5,21.  
*Udział procentowy szacuję na 50%, a polegał na analizie zagadnienia, opracowaniu metodyki realizacji i opisie badań oraz opracowaniu wyników końcowych; współdział w opracowaniu wniosków i redakcji artykułu.*

Istniejące konstrukcje budowlane, takie jak: budynki, wysokie maszty, kominy, fundamenty pod maszyny, dachy wspornikowe i inne, są poddawane znacznym obciążeniom dynamicznym ze strony środowiska, dobrze odzwierciedlanych w generowanych procesach drganiowych. Dynamiczne efekty spowodowane przez wiatr, trzęsienia ziemi, pracę maszyn, ruch kolejowy i drogowy, wybuchy w kamieniołomach, fale morskie stały się ważne w procesie projektowania konstrukcji i mają wpływ na ich bezpieczeństwo i trwałość.

Drgania te, mogą mieć wpływ na stan użytkowania budowli poprzez zmniejszenie komfortu pracujących tam ludzi, jak też mogą osiągać poziom zagrażający bezpieczeństwu konstrukcji. Wpływ drgań na konstrukcję przejawia się głównie, jako dodatkowe naprężenia w rozpatrywanym przekroju, które sumują się z naprężeniami od działających na konstrukcję obciążeń statycznych. Obciążenie dynamiczne mogą powodować skutki niszczące w budynkach o różnych typach konstrukcji lub też doprowadzać do katastroficznego ich zniszczenia.

Uznając potrzebę doskonalenia metod badania jakości murowych konstrukcji budowlanych, dla potrzeb oceny ich stanu, jak i oceny współczynników bezpieczeństwa muru w tematyce zaproponowanego osiągnięcia naukowego podjęto próbę oceny jakości destrukcji wybranych materiałów, elementów i konstrukcji murowych przy pomocy metod analizy modalnej i towarzyszących procedurze tych metod - estymatorów drganiowych. Zagadnienia oceny stanu elementów murowych oraz murów konstrukcji budowlanych to domena metod diagnostyki konstrukcji budowlanych i specjalizowanych procedur diagnozowania, które winny być ciągle doskonalone.

Nowe narzędzia w tym obszarze badań dotyczą możliwości wykorzystania metod analizy modalnej, a także nowoczesnego pozyskiwania i przetwarzania drgań - do oceny stanu degradacji konstrukcji i maszyn w budownictwie, które stanowią podstawę rozważań. W praktycznych zastosowaniach pozwalają one na lepsze zrozumienie zachowania się złożonych konstrukcji, optymalizację w procesie ich projektowania i ocenę stanów niebezpiecznych. W tym ostatnim obszarze lokują się treści podejmowanej tematyki, poszukujące miar oceny stanu destrukcji elementów murowych nowych oraz wieloletnich murów, często o nieznanym stanie zużycia i nieznanym współczynniku bezpieczeństwa muru.

Metoda analizy modalnej zastosowana w rozważaniach została zaadoptowana z obszaru dynamiki konstrukcji mechanicznych. Jej przydatność jest większa dla jednorodnych struktur konstrukcji stalowych, niż dla materiałów budowlanych takich jak elementy murowe, gdzie każdy wynik badania jest związany ze strukturą, kształtem i stanem fizycznym próbki. Jest obawa, że niejednorodność i gruboziarnista struktura betonu i ceramiki mogą być przeszkodą, co do skuteczności proponowanej bardzo precyzyjnych techniki pomiarowej.

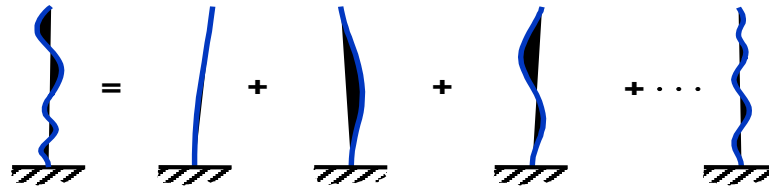
Analiza modalna jest stosowana dla celów modyfikacji konstrukcji, diagnostyki degradacji stanu konstrukcji, dla celów syntezy sterowania w układach aktywnej redukcji drgań oraz dla celów weryfikacji i walidacji modeli numerycznych, takich jak modele elementów skończonych czy elementów brzegowych.

Analiza modalna może być stosowana, jeżeli spełnione są następujące założenia:

- układ jest liniowy i jego dynamika może być opisana za pomocą liniowego układu równań różniczkowych zwyczajnych lub cząstkowych;
- współczynniki równań opisujących dynamikę obiektu są stałe w czasie pomiarów;
- układ jest obserwowalny i istnieje możliwość pomiaru wszystkich charakterystyk, których znajomość jest niezbędna do identyfikacji modelu;
- badany układ spełnia zasadę wzajemności Maxwella;
- tłumienie w układzie jest małe lub proporcjonalne.

Ważnym ograniczeniem stosowania analizy modalnej jest też założenie o ograniczonej liczbie stopni swobody badanego układu, z czym wiąże się wymiar macierzy mas, sztywności i tłumienia oraz liczba teoretycznych częstości własnych i postaci drgań.

Przy spełnieniu powyższych założeń analizę modalną można określić jako transformację (przekształcenie) złożonego układu, którego dynamika jest opisana za pomocą układu równań różniczkowych, na zbiór układów o jednym stopniu swobody opisanych za pomocą niezależnych równań różniczkowych drugiego rzędu.



$$\{X(t)\} = q_1(t)\{\phi\}_1 + q_2(t)\{\phi\}_2 + q_3(t)\{\phi\}_3 + \dots + q_n(t)\{\phi\}_n$$

Rys.1. Rozkład drgań złożonych na drgania proste

Matematycznie, zadanie to można zdefiniować jako rozprzęgnięcie równań różniczkowych zwyczajnych, opisujących dynamikę badanej konstrukcji.

**Teoretyczną analizę modalną** definiuje się, jako problem własny macierzy obserwacji zależny od macierzy mas, sztywności i tłumienia. Teoretyczna analiza modalna wymaga rozwiązania zagadnienia własnego dla przyjętego modelu strukturalnego badanej konstrukcji. Wyznaczone tu zbiory częstości własnych, współczynników tłumienia dla częstości własnych oraz postacie drgań własnych pozwalają na symulacje zachowania się konstrukcji przy dowolnych wymuszeniach, modyfikacji konstrukcji i innych. Ma ona zastosowanie w procesie projektowania, gdy nie ma możliwości realizacji badań na obiekcie. Za pomocą śledzenia zmian postaci drgań własnych można określić obszar, w którym występuje znaczna destrukcja.

**Eksperymentalna analiza modalna** jest jedną z technik identyfikacji parametrów modalnych konstrukcji. Eksperymentalna analiza modalna jest często stosowaną w praktyce techniką badania własności obiektów, zarówno na etapie konstruowania jak i w eksploatacji. Eksperyment identyfikacyjny w eksperymentalnej analizie modalnej polega na wymuszeniu drgań obiektu przy jednoczesnym pomiarze siły wymuszającej i odpowiedzi układu, najczęściej w postaci widma przyspieszeń drgań. Model modalny uzyskiwany jest z diagramu stabilizacji i prezentowanej programowo animacji postaci drgań.

**Eksploatacyjna analiza modalna** wykorzystywana jest do identyfikacji obiektów o dużych rozmiarach przestrzennych i dużych masach, oparta jest o pomiar odpowiedzi na wymuszenia eksploatacyjne, będące wynikiem działania sił zewnętrznych, bądź wymuszeń kinematycznych oraz procesu destrukcji elementów budowli.

Obecnie coraz częściej stosuje się modele modalne do oceny stanu destrukcji materiałów budowlanych konstrukcji. Ideą tej metody jest śledzenie zmian parametrów modelu (w tym przypadku modelu modalnego), powstających na skutek zużycia, na podstawie bieżących obserwacji obiektu. W metodzie tej tworzy się model modalny dla obiektu bez uszkodzenia, jako wzorzec, a następnie w czasie eksploatacji identyfikuje się model modalny i bada jego korelację z modelem dla obiektu nieuszkodzonego.

Przedstawione zastosowania analizy modalnej do rozwiązywania zagadnień badawczych, i inżynierskich wskazują na uniwersalność i efektywność tej metody.

Eksperyment w identyfikacji stanu destrukcji badanych elementów, segmentów, czy konstrukcji murowych jest podstawowym źródłem informacji i na jego podstawie ustala się wartości miar i strukturę modelu. Z jednej strony od jakości wyników badań zależy jakość otrzymanego modelu, z drugiej zaś sposób przeprowadzenia eksperymentu determinuje strukturę zidentyfikowanego modelu.



Badany element murowy poddany wymuszeniu siłowemu odpowiada sygnałem drganiowym, proporcjonalnym do stanu destrukcji. Sygnał wymuszenia i odpowiedzi wykorzystuje się dalej do wyznaczenia funkcji *FRF* i diagramu stabilizacyjnego, a w nim częstości drgań własnych. Przy okazji realizacji tych procedur są dostępne inne ciekawe poznawczo estymatory procesów drganiowych, które także wykorzystuje się w dalszych badaniach. Wyniki badań po przetworzeniu według różnych algorytmów poddaje się opracowaniu statystycznemu.

W zastosowaniu klasycznej analizy modalnej do identyfikacji parametrów modalnych badanego obiektu w trakcie badań wyznacza się parametry modalne na podstawie pomiaru charakterystyk częstościowych zmierzonych na obiekcie w trakcie eksperymentu, polegającego na sterowanym wymuszeniu drgań układu i pomiarze odpowiedzi w postaci widma przyspieszenia drgań. Na podstawie znajomości wymuszenia i widma odpowiedzi dokonuje się identyfikacji przebiegu charakterystyk częstościowych badanego układu. Przy pomocy takich metod realizowanych w dziedzinie częstości, jesteśmy w stanie wyznaczyć parametry modalne układu w otoczeniu pojedynczej częstości własnej lub w wybranym paśmie częstości zawierającym więcej jak jedną częstość własną.

Dla wielu konstrukcji w warunkach eksploatacji działają na układ zupełnie inne siły wymuszające, które co do charakteru przebiegu czasowego, rozkładu przestrzennego i amplitudy nie mogą być realizowane w warunkach laboratoryjnych. Podobnie dla warunków brzegowych, które w trakcie eksperymentu zależą od możliwości zamocowania obiektu na stanowisku badawczym, różnią się one od warunków występujących w czasie eksploatacji.

W praktycznych zastosowaniach realizacji badań modalnych obiektów, badany układ jest zbyt duży i posiada zbyt dużą masę, aby można było wymusić odpowiednią amplitudę ruchu w warunkach eksperymentu czynnego. Wymienione ograniczenia są minimalizowane poprzez zastosowanie metod analizy modalnej realizowanej na podstawie pomiarów przeprowadzonych w trakcie normalnej pracy obiektu.

Parametry modelu modalnego umożliwiają rozprzężenie równań opisujących drgania układu, a ich wartości wyznacza się z zależności:

$$m_r = \frac{1}{2j\varpi_r R_{ir}}; \quad k_r = \varpi_{nr}^2 m_r; \quad c_r = 2m_r \varpi_m \delta_m \quad (1)$$

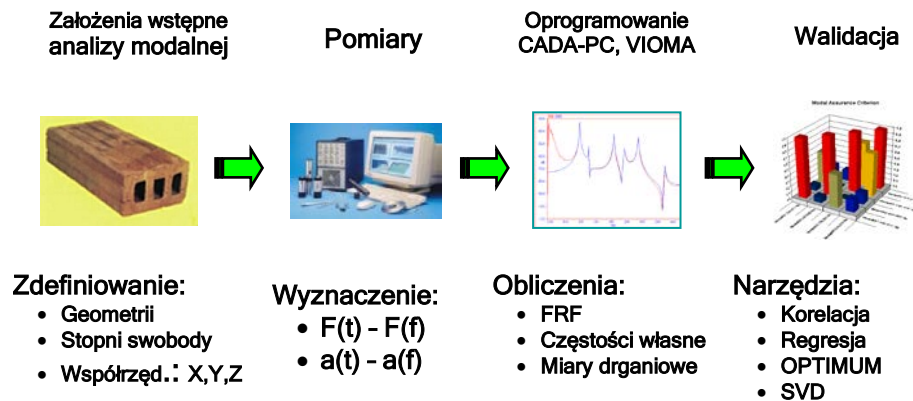
Wielkości te opisują własności układu związane z  $r$ -tą częstością własną i zmiany częstości własnej zależą wprost proporcjonalnie od wielkości zmian sztywności lub masy, jak też zależą od miejsca rozwoju uszkodzenia w konstrukcji. Przedstawione uzasadnienie wystarcza dla opisu zmian destrukcji elementów murowych, natomiast cała teoria z obszaru analizy modalnej opisana została w wielu (książki i artykuły) materiałach tego postępowania.

Zastosowanie najnowocześniejszych technologii informatycznych w analizie modalnej powoduje, że otrzymane modele modalne stają się bardziej wiarygodne i mogą być wykorzystywane do rozwiązywania wielu problemów związanych z konstruowaniem złożonych obiektów budowlanych o zadanych własnościach dynamicznych.

Eksperyment w identyfikacji stanu destrukcji badanych elementów murowych jest podstawowym źródłem informacji i na jego podstawie ustala się wartości miar i strukturę modelu. Z jednej strony od jakości wyników badań eksperymentalnych zależy jakość otrzymanego modelu, z drugiej zaś sposób przeprowadzenia eksperymentu determinuje strukturę, zidentyfikowanego modelu.

Celem eksperymentu w analizie modalnej jest wymuszenie ruchu badanego elementu murowego poprzez dostarczenie energii oraz pomiar odpowiedzi na zadane wymuszenie. Na podstawie zmierzonych wielkości procesu drganiowego dokonywana jest estymacja charakterystyk badanych elementów murowych. Ogólną procedurę realizacji badań wielu opracowań tego postępowania pokazano na rys.2.

## TEST MODALNY



Rys.2. Istota toru pomiarowego przy wykorzystaniu analizy modalnej

Możliwość szybkiej identyfikacji uszkodzenia obiektów (technicznych, budowlanych) dają techniki informacyjne dla potrzeb:

- akwizycji procesów drganiowych w badaniach modalnych,
- przetwarzania procesów drganiowych,
- badania współzależności procesów drganiowych,
- badania wrażliwości symptomów drganiowych,
- wnioskowania statystycznego,
- wizualizacji wyników analizy.

Istnieje potrzeba doskonalenia metod badania charakterystyk dynamicznych konstrukcji, szczególnie tych, którym towarzyszą duże obciążenia dynamiczne. Wprowadzane do budownictwa nowe materiały i technologie oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne, umożliwiają zwiększenie wydajności i jakości wytworów, lecz towarzyszą im często groźne i duże obciążenia dynamiczne. Tym zagadnieniom poświęca się ostatnio coraz więcej uwagi, szczególnie na etapie projektowania i konstruowania budowli.

Nowe narzędzia w tym obszarze badań dotyczą możliwości wykorzystania metod analizy modalnej, a także nowoczesnego pozyskiwania i przetwarzania procesu drganiowego - do oceny jakości konstrukcji i elementów murowych, które stanowią podstawę badań tego postępowania.

Przedstawiona w materiałach „osiągnięcia naukowego” i innych publikacjach autora problematyka pozwala na lepsze zrozumienie zachowania się złożonych konstrukcji, ich optymalizację w procesie projektowania i oceny stanów niebezpiecznych. W tym ostatnim obszarze lokują się głównie treści załączonych opracowań naukowych i badawczych tego postępowania, poszukujące miar oceny stanu degradacji konstrukcji i elementów murowych, zarówno nowych, jak i wieloletnich (starych) murów, często o nieznanym stanie destrukcji i nieznanym współczynniku bezpieczeństwa budowli.

Wiele zagadnień podstawowych dla teorii i praktyki możliwości wykorzystania metod analizy modalnej w ocenie stanu degradacji systemów budowlanych i technicznych omówiono w proponowanych książkach i artykułach, szczegółowo omawiających wiele oryginalnych propozycji i rozwiązań.

Proponowane metody i środki badawcze do bezdemontażowej oceny jakości materiałów i elementów konstrukcji budowlanych oraz badania destrukcji stanu w ewolucji systemów budowlanych i technicznych, stanowią o istocie osiągnięcia naukowego i istotnej aktywności naukowej.

## 4.2. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników prac stanowiących osiągnięcie naukowe wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Głównym celem naukowym jednotematycznego cyklu publikacji (3 książki+7 artykułów) jest, zgodnie z jego tematem: „*Badanie degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami analizy modalnej*”, opis i badania stanu degradacji materiałów, elementów i konstrukcji budowlanych.

Współcześnie konstrukcje budowlane są poddawane znacznym obciążeniom dynamicznym, dobrze odzwierciedlanym w generowanych procesach drganiowych. Drgania te, mogą mieć wpływ na zmniejszenie komfortu pracujących tam ludzi, jak też mogą osiągać poziom zagrażający bezpieczeństwu powodując skutki niszczące lub nawet prowadzące do katastroficznego ich zniszczenia [5.1,5.2,5.3,5.4-5.10].

Uznając potrzebę doskonalenia metod badania jakości konstrukcji budowlanych w publikacjach „osiągnięcia naukowego” podjęto *problem rozpoznania i opracowania metodyki badania oceny stanu degradacji (jakości) budowli (konstrukcji, segmentów, elementów) murowych przy wykorzystaniu metod drganiowych, a szczególnie metod analizy modalnej*. Przedstawiona problematyka w praktycznych zastosowaniach pozwala na lepsze zrozumienie zachowania się złożonych konstrukcji, ich optymalizację w procesie projektowania i oceny stanów niebezpiecznych.

Podjęta tematyka mieści się w obszarze *badania i oceny stanu destrukcji* konstrukcji budowlanych w zakresie optymalizacji ich stanu dynamicznego, odzwierciedlającego *przepływ energii* w nowoczesnych konstrukcjach, przy różnych wymuszeniach. Przegląd dokonań tematu „osiągnięcia naukowego” skrótkowo przedstawiono w grupach tematycznych związanych z metodyką realizacji zadania badawczego.

### 4.2.1. OBSZARY DOCIEKAŃ NAUKOWO - BADAWCZYCH WSKAZANEGO „OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO”

#### A. BADANIA MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Właściwości i podział materiałów budowlanych i elementów murowych został szeroko omówiony w pracach [5.1,5.2,5.4,5.5], gdzie przedstawiono najnowsze klasyfikacje rodzajów i własności materiałów budowlanych, cechy fizyczne oraz zasady prowadzenia ich badań pod względem wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie i ścinanie. Wskazano też na inne właściwości elementów murowych (nasiąkliwość, mrozoodporność, zawartość soli rozpuszczalnych, odporność na działanie kwasów lub zasad, rozszerzalność czerepu ceramicznego, odkształcalność termiczna) ważne dla konstrukcji murowych i potencjalnych użytkowników.

Istnieje wiele kryteriów podziału materiałów budowlanych. ze względu na sposób otrzymywania rozróżnia się materiały budowlane: *pochodzenia naturalnego* (np. kamień, piasek, glina, drewno, trzcina) i *pochodzenia przemysłowego* (np. cement, cegły, wapno, beton, szkło, metale, tworzywa sztuczne). Wyroby budowlane dzieli się także – w rozumieniu pracy konstrukcji budowlanej na: materiały konstrukcyjne (skały lite, drewno, beton zwykły, stal) oraz materiały nie konstrukcyjne (tworzywa sztuczne, betony lekkie, wełna mineralna, szkło). Ze względu na przeznaczenie i funkcje pełnione w poszczególnych elementach obiektów budowlanych, określone wyroby i materiały budowlane wchodzi w skład różnych technologii budowlanych.

Wśród metod oceny jakości tych materiałów w ostatnim czasie wiele uwagi poświęcane jest metodom badań nieniszczących, z powodzeniem wykorzystywanych do oceny jakości półwyrobów, wyrobów końcowych, urządzeń i konstrukcji w budownictwie. Do metod

nieniszczących można zaliczyć: emisję akustyczną, metody ultradźwiękowe, metody termowizyjne, laserowe i inne [5.1, 5.2].

Stan badań materiałów i konstrukcji budowlanych uzasadniał podjęcie poszukiwań nowych metod badania destrukcji.

### ***B. BADANIA STANU DYNAMICZNEGO KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH***

Zaproponowana metodyka badania materiałów i konstrukcji budowlanych - metodyka badań modalnych - stanowi o nowym, oryginalnym podejściu w badaniach degradacji stanu. Wykorzystuje się tu jedno z nowszych narzędzi badań w zakresie oceny zmian stanu obciążeń konstrukcji budowlanych, jakimi są ***metody analizy modalnej*** opisujące stan dynamiczny badanego obiektu za pomocą sygnałów drganiowych [5.1,5.2,5.3].

Własności dynamiczne konstrukcji budowlanych mają bezpośredni wpływ na poziom generowanych drgań, emitowany hałas, wytrzymałość zmęczeniową, sterowalność i stabilność konstrukcji. Analizę własności dynamicznych konstrukcji identyfikuje się na podstawie budowanych modeli strukturalnych lub na podstawie eksperymentów na rzeczywistym obiekcie.

Ocena stanu dynamicznego konstrukcji budowlanych za pomocą procesów drganiowych, wymaga skojarzenia cech struktury ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych. Wprowadzane drgania do obiektu mają charakter dynamiczny i zachowują warunki równowagi pomiędzy stanem bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Zaburzenia rozchodzą się od źródeł w postaci fal w sposób zależny od własności fizycznych oraz granic konfiguracji, wymiarów i kształtów budowli. Powoduje to w konsekwencji rozpraszanie energii fal, ich ugięcia, odbicia i wzajemne nakładanie się. W rezultacie istnienia wejścia i realizacji transformacji stanów reprezentujących cechy i właściwości konstrukcji, powstaje szereg dających się mierzyć objawów charakterystycznych zawartych w procesach wyjściowych [5.3,5.7,5.10].

Istnieje duża klasa obiektów budowlanych, które z dopuszczalną dla praktyki dokładnością mogą być reprezentowane przez modele liniowe, dla których praktyczne poszukiwania związków przyczynowo – skutkowych pomiędzy stanem destrukcji a generowanym sygnałem są stosunkowo łatwe. W zależności od celu prowadzonej analizy dynamicznej obiektu stawia się różne wymagania budowanym modelom, a ich ocenę przeprowadza się różnymi metodami eksperymentalnymi [5.3,5.4].

W badaniach zmian stanu dynamicznego konstrukcji budowlanych można stosować wiele różnych metod, o rozpoznanych w rozważaniach prac autora cechach przydatności, z których jako główne przytoczono poniżej.

#### *Metoda elementów skończonych (MES)*

Cechą charakterystyczną MES jest modelowanie i obliczanie własności dynamicznych obiektu oraz możliwość szybkiego wprowadzania zmian w konstrukcji i oceny ich wpływu na generowane drgania [5.3].

#### *Metoda sztywnych elementów skończonych (MSES)*

Metoda ta w porównaniu z MES jest metodą uproszczoną, ale znacznie szybszą i mniej pracochłonną. Główną jej zaletą jest łatwość interpretacji i obliczeń. Za pomocą metody SES można w sposób prosty badać jakościowo wpływ niektórych zabiegów konstrukcyjnych na poziom generowanego hałasu. Opracowany program umożliwia porównanie poziomu hałasu<sub>1</sub> wytwarzanego przez płyty gładkie lub uźebrowane o żądanej masie i sztywności. Płytę modeluje się, stosując sztywne elementy skończone (SES) i elementy sprężysto - tłumiące (EST) [5.3,5.8].

#### *Analiza modalna*

Celem analizy modalnej jest pobudzenie obiektu do drgań za pomocą różnych wymuszeń i pomiar odpowiedzi (przyspieszenia drgań) w jednym lub wielu punktach badanego obiektu, co służy ustaleniu struktury modelu oraz wyznaczeniu jego parametrów. Parametry modelu

modalnego: *częstości drgań własnych, tłumienie oraz wektory własne* (zwane postaciami drgań) określane są podczas identyfikacji w eksperymencie [5.1,5.2,5.9].

Odtworzenie drgań z wykorzystaniem interferometrii laserowej (VPI)

Metoda ta umożliwia szybkie seryjne sprawdzanie dynamiki elementów konstrukcji, poprzez uzyskanie kolorowego - trójwymiarowego obrazu drgań całej konstrukcji. Wykonanie pomiaru możliwe jest dzięki wykorzystaniu zjawiska interferencji fal, przy czym jako źródło promieniowania stosuje się laser. Promień laserowy sprawdza bezstykowo stan przemieszczeń drgań powierzchni konstrukcji lub badanego elementu [5.1].

Holografia akustyczna

Holografia akustyczna zajmuje się sporządzaniem i wykorzystaniem zapisu informacji o amplitudzie i fazie promieniowania spójnego odbitego od danego obiektu. Stosując dwie wiązki promieniowania i wykorzystując zjawisko interferencji uzyskuje się stan przemieszczeń powierzchni elementu konstrukcji utrwalony na hologramie [5.2].

Wiele rzeczywistych elementów i konstrukcji budowlanych można z dobrą dokładnością badać w warunkach obejmujących wąski zakres częstości wymuszeń i małe amplitudy ruchu, dające łatwość analizy ruchu takiego modelowania i ich optymalizacji, jak również korzystanie z prostych procedur identyfikacji [5.3].

Eksperyment w badaniach identyfikacyjnych wykonuje się za pomocą specjalizowanego analizatora sygnałów lub wykorzystując komputer jako układ sterujący i obliczeniowy, wyposażony w specjalny interfejs pomiarowy. Jako wymuszenie drgań w eksperymencie identyfikacyjnym stosuje się: sygnał harmoniczny o zmiennej częstości w sposób skokowy lub ciągły, sygnał impulsowy generowany przez uderzenie realizowane za pomocą specjalizowanego młotka modalnego lub sygnał losowy. Do wymuszenia ruchu, oprócz wymienionego wcześniej młotka modalnego z wbudowanym czujnikiem siły, stosuje się wzbudniki o różnych zasadach działania, jak np. wzbudniki elektromagnetyczne o szerokim zakresie generowanych częstości i dużym zakresie amplitud sił wymuszających. Do wzbudzania dużych konstrukcji, np. budowlanych, stosuje się wzbudniki hydrauliczne o dużych amplitudach sił, ale stosunkowo wąskim paśmie generowanych częstości. Wybór wzbudnika zależy od charakterystyki badanego obiektu oraz od zakresu wymaganych częstości wymuszenia.

Test impulsowy jest stosunkowo łatwy i szybki do realizacji, natomiast uzyskane wyniki dla wielu konstrukcji bardzo przybliżone. Test harmoniczny daje wyniki dokładniejsze, jest jednak bardziej pracochłonny, a konieczna do jego realizacji aparatura znacznie droższa. Test impulsowy stosuje się najczęściej do wstępnych badań obiektów zainstalowanych w warunkach przemysłowych, natomiast test harmoniczny do badań laboratoryjnych, gdy wymagana jest ilościowa analiza zjawisk dynamicznych zachodzących w badanym obiekcie. Zmierzone na obiekcie sygnały drgań, najczęściej przyspieszenia drgań i siły wymuszającej wymagają przetworzenia i archiwizacji.

Podstawową metodą przetwarzania sygnałów stosowaną w eksperymencie identyfikacyjnym jest *analiza częstotliwościowa*, która jest realizowana bądź to za pomocą specjalizowanego analizatora, bądź za pomocą specjalistycznego oprogramowania zaimplementowanego na komputerze stosowanym do obsługi eksperymentu. Oprogramowaniem tego typu jest CADA-X firmy LMS, a w szczególności tzw. Fourier Monitor dla komputerów typu *work - station* oraz oprogramowanie SAAS dla komputerów klasy *PC*. Ze względu na dużą liczbę punktów pomiarowych ściśle powiązanych z geometrią układu do archiwizacji danych pomiarowych stosowane są specjalne bazy danych zawarte w oprogramowaniu do analizy modalnej.

### **C. DRGANIA W DIAGNOSTYCE KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH**

Analizując wpływ oddziaływań dynamicznych na budynek, jego mury i elementy można każdorazowo wyróżnić: źródło drgań, drogę propagacji drgań, odbiornik drgań [5.3,5.7]. W ujęciu systemowym problem obciążeń i oddziaływań dynamicznych ujmuje się w postaci relacji między wejściem (wymuszeniem drgań), a wyjściem (reakcja na wymuszenie). Tak, więc oddziaływania dynamiczne na konstrukcje budowlane (mury, segmenty murowe, elementy murowe) pochodzą od źródła drgań i drgania dobrze opisują zmiany tych wymuszeń.

Na podstawie delegacji ustawowej (normy PN, dyrektywy: 2001/42/WE, 2003/35/WE, 85/337/EWG) wydawane są rozporządzenia zawierające uściślenia odnośnie do parametrów dopuszczalnych oraz zadań i obowiązków producentów, organów administracji związanych z ochroną i bezpieczeństwem środowiska przed drganiami. Kryteria stosowane w diagnostyce budowli są ujmowane bezpośrednio (w postaci zadanych wartości dopuszczalnych) albo pośrednio (odniesione do: naprężenia, siły przekrojowej, przemieszczenia).

W diagnostyce konstrukcji budowlanych najczęściej kryteria diagnostyczne wywodzi się z warunków wytrzymałości i sztywności, które ustala się wykorzystując najnowsze metody modelowania (MES) oraz programy wspomagające (DIANA, ABAQUS, SIMULINK, NASTRAN, PATRAN, KOSMOS, DAADS). Przedstawione podejście do opisu właściwości dynamicznych badanych układów (materiałów) za pomocą wartości parametrów procesu drganiowego pozwala na zaniechanie trudnego ich opisu analitycznego (szczególnie dla wielu stopni swobody) i zastąpienie go bezpośrednimi pomiarami drgań [5.3,5.8,5.10].

Zatem, mówiąc o *roli drgań w inżynierii budownictwa* trzeba wyróżnić ich trzy aspekty i wynikające stąd cele analizy dynamicznej elementów i konstrukcji budowlanych. Pierwszy aspekt *szkodliwego działania drgań* na obiekty budowlane i ludzi narzuca konieczność redukcji amplitud szkodliwych. Drugi aspekt drgań użytecznych w technologii określa cel analizy dynamicznej, jako *optymalizację efektywności przetwarzania* energii drganiowej w pracę użyteczną. Trzeci aspekt *wykorzystania informacji* zawartych w drganiach stwarza konieczność optymalizacji zagadnień odbioru drgań i ekstrakcji informacji użytecznych w nich zawartych (diagnostyka drganiowa).

W programowaniu zadań pomiarowych należy na wstępie ustalić (co, czym, gdzie, jak), jakie parametry mają być mierzone. Ogólna zasada jest następująca: przy częstotliwościach niskich należy mierzyć przemieszczenia, bo zwykle im towarzyszą duże przemieszczenia. Przy częstotliwościach wysokich mierzy się przyspieszenia, gdyż są proporcjonalne do kwadratu częstotliwości. Prędkości mierzy się przy średnich częstotliwościach wtedy, gdy wartości przemieszczeń są stosunkowo małe [5.3].

**Kryteria diagnostyczne oceny stanu budowli** mogą być ujęte bezpośrednio w postaci zadanych wielkości dopuszczalnych (dynamicznych), np. dopuszczalne amplitudy przemieszczeń w określonych przedziałach częstotliwości. Mogą też być odniesione do normowych wielkości podstawowych (np. dopuszczalnych sił przekrojowych, naprężeń) lub do specjalnie opracowanych kryteriów wynikających z potrzeb danej sytuacji (np. dodatkowego wpływu zmęczenia). Należy je podzielić na kryteria stanów granicznych nośności (wytrzymałości) i stanów granicznych użytkowania (zwykle opisanych przez sztywność konstrukcji).

Ze względu na rodzaje rozważanych obiektów, jeśli nie dotyczą one budowli o konstrukcji stalowej, zakłada się, że pracują one w zakresie sprężystym oraz wartości dopuszczalne odnoszą się do tego stanu. W przypadkach materiałów sprężysto - kruchych (np. mur ceglany, beton) decydują warunki zarysowań (uszkodzeń) w strefie rozciąganej, a w przypadku powtarzalności obciążeń jest ona uwzględniona w sposób przybliżony (przez mnożniki zmniejszające), albo obliczona wg stosowanych w wytrzymałości materiałów metod obliczeniowych na zmęczenie (także tzw. niskocyklowe). W niektórych przypadkach kryteria tzw. niższych stopni (np. pierwsze zarysowania murów) mogą być ustalone

doświadczalnie szczególnie, gdy chodzi o warunki tzw. kosmetyczne lub w przypadkach nietypowych rozwiązań układów budowlanych [5.2,5.3, 5.8].

Kompleksowa ocena stanu dynamicznego konstrukcji budowlanych dotyczy badań oddziaływań dynamicznych na obiekt i obejmuje:

- ocenę właściwości dynamicznych obiektu,
- ocenę spełnienia warunków wytrzymałości, sztywności i stateczności,
- ocenę szkodliwości drgań na aparaturę i urządzenia znajdujące się w obiekcie,
- ocenę uciążliwości lub szkodliwości drgań dla ludzi znajdujących się w obiekcie.

Podanych ocen dokonuje się głównie na podstawie badań doświadczalnych poprzez pomiary dynamicznej odpowiedzi budowli podlegającej drganiom. Nie zawsze jest potrzebny tak szeroki zakres diagnozy dynamicznej, niekiedy wystarczy ograniczyć się do jednej lub dwu ocen. Najczęściej będzie to ocena szkodliwości drgań na budynki (na konstrukcję budynków) oraz na ludzi przebywających w tych budynkach lub tylko jedna z tych ocen.

Zarejestrowane przebiegi drgań poddaje się przetwarzaniu i analizie oraz interpretacji. Oceny szkodliwości wpływu drgań na budynki dokonuje się zgodnie z PN-85/B-02170:

- przy użyciu skali wpływów dynamicznych (SWD-I i SWD-II),
- przez wyznaczenie sił bezwładności na podstawie znajomości wymuszenia kinematycznego opisanego przez amplitudę maksymalnego przyspieszenia i odpowiadającą jej częstotliwość,
- przez wyznaczenie sił bezwładności przy użyciu analizy widmowej (spektrum) odpowiedzi.

Brak jest dobrego rozeznania norm i badań w zakresie oceny stanu destrukcji elementów murowych, stanowiących o stanie konstrukcji przy wykorzystaniu sygnału drganiowego, co uzasadnia podjęcie tej tematyki w badaniach.

#### ***D. ANALIZA MODALNA W OCENIE STANU KONSTRUKCJI***

**Analiza modalna** jest stosowana już na etapie badania i doskonalenia prototypu konstrukcji, w czasie eksploatacji konstrukcji budowlanej, a także modyfikacji istniejących konstrukcji. Najczęściej jest wykorzystywana w diagnostyce konstrukcji do oceny stanu destrukcji oraz syntezy sterowania drgającymi układami budowlanymi [5.2,5.3,5.9]. W wyniku przeprowadzenia analizy modalnej otrzymuje się model modalny, który stanowi uporządkowany **zbiór częstości własnych**, odpowiadających im **współczynników tłumienia** oraz **postaci drgań własnych**, odpowiadających badanemu stanowi.

W praktycznym zastosowaniu jak dotąd wykorzystywano analizę modalną do diagnozowania konstrukcji kratowych (maszty, anteny, dźwigi), diagnozowania turbozespołu oraz diagnozowania konstrukcji mostów. W większości tych zastosowań zakłada się, że na skutek uszkodzenia zmienia się lokalnie sztywność konstrukcji, co powoduje zmiany parametrów modelu modalnego. Za pomocą śledzenia zmian postaci drgań własnych można określić obszar, w którym występuje uszkodzenie [5.3,5.4,5.10].

W opisanych badaniach tego postępowania dokonano analizy przydatności i oceny efektywności dwóch metod (eksperymentalnej i eksploatacyjnej) modalnych, a także wybranych miar procesu drganiowego dla oceny stanu destrukcji wybranych elementów i budowli murowych, co umożliwi ocenę stanu badanych w eksploatacji konstrukcji budowlanych [5.1,5.2,5.3].

W badaniach materiałów budowlanych dynamiczną sztywność materiału można określać przy wykorzystaniu eksperymentalnej analizy modalnej, a zmiany destrukcji materiału w czasie eksploatacji dobrze odzwierciedlane są w złożonych miarach sygnału drganiowego.

Dokonania w zakresie sterowania jakością i bezpieczeństwem prowadzą do innowacyjnych rozwiązań strategii utrzymania zdarności budynków i budowli z wykorzystaniem diagnostyki drganiowej budowli [5.3,5.5].

#### 4.2.2. CEL NAUKOWY „OSIĄGNIĘCIA” I UZYSKANE WYNIKI

**Poszukiwania nowych, bezinwazyjnych metod oceny jakości elementów i budowli prostymi metodami i urządzeniami diagnostycznymi są niezbędne, a nawet konieczne [5.1].**

Do diagnozowania stanu materiałów i konstrukcji budowlanych wybrano estymatory sygnału drganiowego, gdyż jakość elementów murowych, jakość murów i zmiany tej jakości dobrze odzwierciedlane są w zmianach stanu dynamicznego konstrukcji. Do tej oceny wykorzystano *metody analizy modalnej* (eksperymentalnej oraz eksploatacyjnej), wyznaczając dla różnych materiałów, segmentów i budowli murowych składowe modeli modalnych dla różnych badanych stanów destrukcji oraz złożone miary drganiowe wprost towarzyszące procedurom modalnym. Podjęta próba opracowania metody diagnozowania elementów i budowli murowych jest ważna także, ze względu na wiele przestarzałych konstrukcji budowlanych, wymagających oceny stanu i podjęcia decyzji, co do dalszej bezpiecznej ich eksploatacji.

Obszar badań głównych opisanych w tym postępowaniu dotyczy oceny przydatności metod analizy modalnej do opisu zmian stanu różnych elementów i budowli murowych. Także opracowanie metodyki badania wrażliwości miar stanu przy wykorzystaniu nowoczesnych metod wnioskowania statystycznego (korelacja, regresja, *OPTIMUM*, *SVD*) daje praktyczne narzędzia badania i możliwości oceny przydatności analizowanych parametrów stanu.

Zadania badawcze podjętych, wieloletnich rozważań uzasadniają cel główny postępowania, który można przedstawić w następującej postaci:

***„celem głównym rozważań i badań opisanych w materiałach „osiągnięcia naukowego” jest opracowanie i ocena przydatności metody eksperymentalnej analizy modalnej do badania jakości wybranych materiałów i elementów budowlanych oraz ocena przydatności eksploatacyjnej analizy modalnej do badania stanu istniejących konstrukcji budowlanych”.***

Wyniki dociekań teoretycznych i wieloletnich prac badawczych, opisane w pozycjach wskazanych do „osiągnięcia naukowego” {oraz w materiałach nie zaliczanych do „osiągnięcia naukowego” (83 pozycje – zał.7.1)} tego postępowania, szczegółowo omawiają:

- ***wybrane metody badania materiałów budowlanych [5.2, 5.4, 5.5];***
- ***przeprowadzenie badań (stanowiskowych i eksploatacyjnych) drganiowych, w aspekcie przydatności w diagnozowaniu konstrukcji i maszyn budowlanych [5.3, 5.6, 5.8];***
- ***analizę własności i możliwości zastosowań metod analizy modalnej [5.1, 5.5, 5.10];***
- ***opracowanie metodyki badania modalnego w budownictwie [5.2, 5.7, 5.10];***
- ***modalne badania konstrukcji murowych metodą EAM [5.2, 5.5, 5.10];***
- ***opracowanie procedur pozyskiwania i przetwarzania sygnałów drganiowych w budownictwie i zasad statystycznego ich opracowania [5.3, 5.6, 5.8];***
- ***wypracowanie przesłanek dla diagnostycznej strategii drganiowej oceny zdolności konstrukcji budowlanych [5.2, 5.3, 5.7].***

Podjęta próba diagnozowania elementów i budowli murowych jest ważna, ze względu na wiele przestarzałych konstrukcji budowlanych, wymagających oceny jakości stanu i podjęcia decyzji, co do dalszej bezpiecznej ich eksploatacji. Do tej oceny wyznaczono dla różnych<sup>5</sup> materiałów, segmentów i budowli murowych składowe modeli modalnych dla badanych stanów destrukcji oraz złożone miary drganiowe - wprost towarzyszące procedurom modalnym. Także opracowanie metodyki badania wrażliwości miar stanu przy wykorzystaniu nowoczesnych metod wnioskowania statystycznego (korelacja, regresja, *OPTIMUM*, *SVD*) daje praktyczne narzędzia badania i możliwości oceny przydatności analizowanych parametrów stanu.



#### 4.2.3. „OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE” POSTĘPOWANIA AWANSOWEGO

Zagadnienia zrealizowane w tematyce drganiowej diagnostyki bezdemontażowej w budownictwie, z wykorzystaniem metod analizy modalnej, pozwalają na syntetyczne sformułowanie zakresu i wniosków stanowiących osiągnięcie naukowe postępowania awansowego. Należą do nich:

##### 1. Wibroakustyka (drgania i hałas) w budownictwie – możliwości i zastosowania w bezdemontażowej ocenie stanu.

Uwzględniając możliwości wibroakustyki w badaniach [5.3] w wielu pracach tego postępowania przedstawiono elementy dynamiki konstrukcji, materiałów i budowli murowych. Przedstawiono w nich ogólne zagadnienia identyfikacji stanu dynamicznego konstrukcji budowlanych, wskazując na metody i środki praktycznych zastosowań nowych metod badawczych tego obszaru. Modelowanie stanu dynamicznego (i jego etapy) i analiza przydatności tych wyników w optymalizacji konstrukcji oraz możliwości zastosowania do rozwiązywania problemów projektowania konstrukcji budowlanych stanowią obszar nowych zakresów zainteresowania wielu ośrodków naukowych. Mierzenie drgań i miary procesu drganiowego wykorzystywane w identyfikacji modeli budowli, to ważne dla rozprawy zagadnienia zaprezentowane w ujęciu najnowszych dokonań [5.1,5.3,5.7].

##### 2. Model przejścia sygnału drganiowego (procesu) przez konstrukcję lub badany element murowy.

Ocena stanu dynamicznego konstrukcji budowlanych za pomocą procesów drganiowych wymaga skojarzenia cech struktury ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen procesów drganiowych. Wprowadzane drgania do obiektu mają charakter dynamiczny i zachowują warunki równowagi pomiędzy stanem bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Zaburzenia rozchodzą się od miejsca wymuszenia w postaci fal w sposób zależny od własności fizycznych oraz granic konfiguracji, wymiarów i kształtów budowli. Powoduje to w konsekwencji rozpraszanie energii fal, ich ugięcia, odbicia i wzajemne nakładanie się. W rezultacie istnienia wejścia i realizacji transformacji stanów reprezentujących procesy destrukcji zachodzące w konstrukcji, powstaje szereg dających się mierzyć objawów charakterystycznych zawartych w procesach wyjściowych z konstrukcji.

Cechy modelu przejścia sygnałów drganiowych dla konstrukcji budowlanej w warunkach losowych zakłóceń:

1. Stan struktury konstrukcji jest odwzorowywany jednoznacznie przez sygnał charakterystyczny  $\varphi(t, \theta)$ ,  $0 \leq t \leq T$ ,  $0 \leq \theta \leq \theta_{aw}$ , generowany przy każdym wymuszeniu. Sygnał ten ulega zmianom w czasie dynamicznym „t” oraz ewolucji w czasie wolnym „ $\theta$ ”.

2. Sygnał charakterystyczny jest złożony z procesu zdeterminowanego  $\varphi_0$  i przypadkowego „n”, zaś jego intensywność i dynamika zmian charakteryzują stan konstrukcji. Tak więc podczas i-tego wymuszenia jest wygenerowany sygnał:

$$\varphi_i(t, \theta) = \varphi_0(t, \theta) + n_i(t, \theta), \quad t \in (\theta, T)$$

3. Sygnał charakterystyczny będący odwzorowaniem zmian stanu struktury materiału jest odbierany jako  $y(t, \theta)$  i w najprostszym przypadku jest odpowiedzią układu konstrukcji o charakterystyce impulsowej  $h(t, \theta)$  na wymuszenie  $x(t, \theta)$ . Uwzględniając rozległość przestrzenną „r” konstrukcji można napisać:

$$y(\theta, r) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t, \theta, r) * h(t, \theta, r)$$

4. Procesy wyjściowe z konstrukcji (selektywnie) wpływają zwrotnie na procesy destrukcji i w dalszym ciągu na stan budowli przez dodatnie, destrukcyjne sprzężenie zwrotne, zniekształcając sygnał  $\varphi_i(t, \theta)$ .

5. Dla ustalonej wartości czasu eksploatacji  $\theta = \text{const}$  wszystkie obiekty budowlane traktowane są jako liniowe, stacjonarne układy, których własności opisuje jednoznacznie odpowiedź impulsowa  $h(t, \theta, r)$  albo jej transformaty: operatorowa Laplace'a  $H(p, \theta)$  lub widmowa Fouriera  $H(j\omega, \theta)$ .

Odbierany sygnał wyjściowy w dowolnym miejscu budowli jest ważoną sumą odpowiedzi na wszystkie zdarzenia elementarne  $U_n(t, \theta, r)$  w poszczególnych układach dynamicznych cząstkowych o impulsowej funkcji przejścia  $h_n(t, \theta, r)$ . Oddziaływania te ulegają sumowaniu, przy czym zmiana miejsca odbioru sygnału „r” związana jest również ze zmianą transmitancji [5.3]. Przedstawiony model stanowi podwaliny rozważań w dynamice i diagnozowaniu stanu degradacji materiałów, elementów i konstrukcji budowlanych – przy wykorzystaniu drgań i procedur analizy modalnej.

### **3. Badania wrażliwości i wyznaczenie parametrów drganiowych opisujących zmiany stanu i ewolucje degradacji budynków i konstrukcji murowych.**

W opracowaniach tego problemu omówiono dostępne systemy opisu i badania drgań, ukazując praktykę mierzenia i przetwarzania procesów drganiowych [5.3,5.8]. Poszukiwania dobrych symptomów diagnostycznych, zdefiniowanych w dziedzinie czasu, amplitud i częstotliwości wspierano zaproponowanymi procedurami badania wrażliwości typu: PCA, BEDIND, OPTIMUM oraz SVD [5.3,5.6]. Tak wyznaczone miary procesu drganiowego wykorzystywano dalej w badaniach relacji przyczynowo – skutkowej, czyli modelu wnioskowania. Wśród ocenianych różnych modeli diagnostycznych najprostsze, bo modele regresyjne okazały się skuteczne – duże  $R^2$  [5.1,5.2,5.3]. Omówiono także główne elementy statystyki z zakresu wnioskowania przyczynowo - skutkowego, mającego na celu wielokryterialny sposób wyboru najlepszych miar destrukcji badanych materiałów, wykorzystanych dalej w opracowaniu wyników badań [5.3,5.10].

MATLAB, STATISTICA, EXCEL, STATGRAF to przykładowe programy systemowe służące do statystycznej analizy danych, tworzenia wykresów, operowania na bazach danych, wykonywania transformacji danych i tworzenia aplikacji.

Dostępne oprogramowanie dla badań drganiowych doskonale ułatwia realizację badań i sposób wnioskowania przyczynowo – skutkowego [5.3].

### **4. Wykorzystanie analizy modalnej w diagnozowaniu stanu degradacji materiałów i konstrukcji budowlanych.**

Możliwości w ocenie stanu konstrukcji, stanowiącym podstawę motywującą podjęcie badań oraz wytyczającym zakres zagadnień do praktycznego rozwiązania przedstawiono w oparciu o założenia metod analizy modalnej. Omówiono podstawy i środowisko metod analizy modalnej oraz zawarto podstawowe informacje, które są konieczne do realizacji eksperymentu identyfikacyjnego. Zgodnie z zasadami metodyki badań przedstawiono szczegółowo obiekty badań (materiały do badań – elementy i segmenty murowe), stanowisko badawcze (do badań niszczących oraz do badań destrukcji) i warunki badań. Ustalono miary i wartości parametrów modalnych dla badanych materiałów i konstrukcji [5.1,5.2,5.3].<sup>17</sup>

### **5. Wykorzystanie opracowanych procedur wnioskowania statystycznego**

Wyniki i ich opracowanie zrealizowano według zaproponowanej metodyki postępowania badawczego, uwzględniającej uzyskane wyniki badań stanowiskowych i eksploatacyjnych wraz z ich opracowaniem przyczynowo – skutkowym i statystycznym. W kolejności przedstawiono tu wyniki akwizycji i przygotowania danych do dalszego przetwarzania,

procedury wyznaczania estymatorów procesu drganiowego w postaci funkcyjnej, wartości estymatorów liczbowych (tzw. dyskryminanty drganiowe), wyniki badań w metodzie *OPTIMUM*, *SVD*, *korelacji i regresji* [5.3].

Wykorzystywane elementy sztucznej inteligencji w badaniach pozwoliły na opracowanie programu SIBI, realizującego ciąg zdarzeń: *SIBI – dane – wizualizacja - ocena wrażliwości – model wnioskowania – dobroć modelu  $R^2$* . Prezentowane każdorazowo przykładowe wyniki tych badań obrazują istotę i wagę rozważanego problemu, weryfikując przydatność zaproponowanych procedur badawczych. Stworzona w badaniach metodologia zastosowania drgań i analizy modalnej do oceny stanu degradacji materiałów i konstrukcji opisana została szczegółowo w materiałach postępowania [5.3,5.5,5.7].

#### **6. Opis zmian stanu konstrukcji lub systemu technicznego wraz z analizą skutków degradacji z uwzględnieniem oddziaływania na środowisko naturalne oraz bezpieczeństwo realizowanych zadań.**

Treści podstawowe i ważne z zakresu badania materiałów i konstrukcji budowlanych, stanowią przesłanki do badań degradacji stanu elementów i konstrukcji w eksploatacji. W tym zakresie wyróżniono problematykę nowoczesnych strategii eksploatacji w budownictwie, wskazując na dokonania, które winny znaleźć swoje miejsce, jako innowacje doskonalące istniejące rozwiązania. Ryzyko, bezpieczeństwo, zasady, metody i narzędzia badania jakości wspierane dostępnymi technikami informatycznymi wykorzystane w praktyce budowlanej, to zakres proponowanych dokonań użytecznych tego postępowania [5.2,5.3,5.10].

#### **4.3. Ocena zestawu opracowań książkowych i publikacji składających się na osiągnięcia naukowe wraz z uzasadnieniem, co przeprowadzone badania wnoszą do nauki.**

Podstawowe osiągnięcia naukowe w jednotematycznym cyklu publikacji książkowych i artykułów składających się na „osiągnięcia naukowe postępowania” można przedstawić w kilku grupach problemowych. Ich charakterystyka zawarta w treściach publikacji podstawowych (wykazanych do osiągnięcia naukowego) jest uszczegółowiona w wielu publikacjach nie zliczanych do nurtu głównego publikacji, a wykazanych w załączniku 6, częściowo 7 oraz w punkcie 8.1 załącznika 8.

**PROBLEMY GŁÓWNE** osiągnięcia naukowego obejmują:

- badania materiałów (produkcja, stare obiekty);
- poszukiwanie nowych, bezinwazyjnych metod oceny zmian stanu;
- analiza przydatności metod analizy modalnej w budownictwie;
- programowane badania stanu degradacji (akwizycja, przetwarzanie, opracowanie statystyczne, wnioskowanie);
- proponowana strategia eksploatacji konstrukcji budowlanych.

Przedstawione problemy zostały szczegółowo przebadane i opisane (sformułowanie problemu, hipoteza, cel główny, cele szczegółowe, zakres pracy, wyniki, wnioskowanie) w wielu publikacjach [załącznik 8].

**DEGRADACJA MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH** szczegółowo opisuje rozważania w zakresie:

- wybranych elementów teorii degradacji;
- opisu metod badania i modelowania degradacji (jednomodalne; wielokryterialne);
- opisu i badania skuteczności dostępnych strategii utrzymania zdatności.

Szczegółowy opis tych rozważań i propozycji dla potrzeb budownictwa przedstawiono w wielu publikacjach – załącznik 6.

**ANALIZA MODALNA (AM) W BADANIU DEGRADACJI** materiałów i konstrukcji budowlanych potraktowana w rozważaniach jako główny nurt dociekań, szczególnie eksperymentalnych, obejmuje opis i badania na rzeczywistych obiektach budowlanych. Dotyczy to głównie:

- opisu istoty i rodzajów AM;
- charakterystyki teoretycznej AM;
- badań stanowiskowych w eksperymentalnej AM;
- przedstawienia istoty i wyników badań w eksploatacyjnej AM.

Wieloletnie badania z tego obszaru opublikowano w wielu ważnych pozycjach książkowych i w artykułach różnej rangi (z IF, konferencyjnych, krajowych i zagranicznych), których wykaz zamieszczono w załączniku 6 oraz 7.

**SYSTEMY POMIAROWE** stosowane w badaniach diagnostyki drganiowej oraz eksperymentalnej i eksploatacyjnej analizy modalnej, to najnowsze rozwiązania sprzętowe i programowe. Z punktu widzenia eksperymentu metody analizy modalnej można podzielić na:

1. metody wymuszenia ruchu układu wieloma wzbudnikami w celu wzbudzenia jednej z postaci drgań;
2. metody wymuszenia ruchu układu w jednym lub wielu punktach w celu pomiaru funkcji przejścia.

Realizacja praktyczna tych metod wymaga doboru odpowiednich systemów pomiarowych. W pierwszej grupie metod realizuje się wymuszenie ruchu układu w taki sposób, aby wymusić drgania zgodne z jedną z postaci drgań własnych. Wymaga to zastosowania złożonego układu sterowania wzbudnikami w celu uzyskania odpowiednich przesunięć fazowych wymuszenia. W drugiej grupie stosuje się dowolne wymuszenie zależne od rodzaju badanego obiektu. Zestaw aparatury do realizacji eksperymentu analizy modalnej składa się z elementów:

- układu pomiaru wymuszenia ruchu i pomiaru odpowiedzi,
- układu kondycjonowania sygnałów (wstępnego przetwarzania),
- układu przetwarzania i zbierania sygnałów,
- układu generowania sygnału wymuszającego,
- układu wzbudzania drgań.

Ich rozpoznanie i przystosowanie do specyficznych zastosowań w diagnostyce elementów, materiałów i budowli przedstawiono w ujęciu:

- opisu i kalibracji zestawu pomiarowego w diagnostyce drganiowej;
- konfiguracji i badania systemu VIOMA;
- przystosowania systemu LMS TEST.XPRESS do wymagań procedur analizy modalnej;
- opracowania i przestrzegania warunków badań;
- realizacji programowej metodyki przeprowadzania badań (akwizycja, miary, selekcja wrażliwości, modele, ocena jakości).

Najprostszym ze względu na obsługę rozwiązaniem jest zastosowanie analizatora sygnałów, natomiast najnowocześniejszym, dającym największe możliwości jest rozwiązanie oparte na stacji roboczej i specjalizowanym interfejsie pomiarowym. Podstawową operacją wykonywaną przez wszystkie stosowane w analizie modalnej przyrządy pomiarowe jest przetwarzanie analogowo-cyfrowe, które umożliwia stosowanie technik cyfrowego<sup>9</sup> przetwarzania sygnałów do wyznaczenia wymaganych przez analizę modalną estymatorów charakterystyk.

Szczegółowy opis ukazanych problemów mierzenia podczas badania drganiowego i za pomocą metod analizy modalnej przedstawiono w szeregu pracach, głównie [5.3] oraz w wykazie prac w załączniku 6.

**STUDIUM PRZYPADKÓW** przedstawiające szczegółowe wyniki badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych, odpowiednio na materiałach, elementach i konstrukcjach budowlanych odzwierciedla możliwości i przydatność metod analizy modalnej w diagnozowaniu stanu degradacji.

Metody identyfikacji w badaniach konstrukcjach budowlanych (w tym materiałów budowlanych) stają się użytkowymi metodami oceny zmian stanu eksploatacyjnego konstrukcji. Analiza modalna z jej odmianami realizacyjnymi coraz częściej wykorzystywana jest przez inżynierów budownictwa, a model modalny dobrze odzwierciedla destrukcję obiektów.

Poszukiwanie odwzorowania modeli drganiowych z modelami modalnymi, w badaniach stanowiskowych i w badaniach na rzeczywistych obiektach, pozwala dokonać oceny podobieństwa modeli, trafności decyzji i skuteczności stosowanych metod.

W wielu pracach tego postępowania szczegółowo omówiono badania wybranych elementów murowych, badania różnych segmentów murowych oraz przykładowe wyniki badań konstrukcji budowlanych.

Stosunkowo proste jest badanie modalne elementów i segmentów murowych w warunkach laboratoryjnych, gdzie z powodzeniem można zastosować eksperymenty czynne i bierne, ułatwiające budowę modeli przyczynowo – skutkowych.

W praktycznych zastosowaniach realizacji badań modalnych obiektów, badany układ jest zbyt duży i posiada zbyt dużą masę, aby można było wymusić odpowiednią amplitudę ruchu w warunkach eksperymentu czynnego. Wymienione ograniczenia są minimalizowane poprzez zastosowanie metod analizy modalnej realizowanej na podstawie pomiarów przeprowadzonych w trakcie normalnego użytkowania obiektu. W wyniku otrzymuje się model modalny konstrukcji, który może być zastosowany do rozwiązania wielu zagadnień inżynierskich, np. do syntezy układów budowlanych, analizy zachowania się konstrukcji pod wpływem różnych wymuszeń, modyfikacji własności dynamicznych, minimalizacji promieniowania energii akustycznej, analizy zmęczeniowej.

Poszukiwania metod dla badań nieniszczących materiałów i budowli wskazuje na możliwości wykorzystania analizy modalnej w ocenie stanu ich degradacji, co przedstawiono w wielu publikacjach nurtu głównego rozważań [5.1,5.2] oraz w załączniku 6.

**STRATEGIA BADANIA DEGRADACJI KONSTRUKCJI** - jako wynik praktycznego wykorzystania metod analizy modalnej w praktyce użytkowania systemów konstrukcji i maszyn budowlanych.

Współczesne konstrukcje i maszyny pracujące w przemyśle, budownictwie i transporcie są bardzo wydajne, a jednocześnie skomplikowane i drogie. Każda awaria, uszkodzenie i postój z tym związany powodują często duże straty ekonomiczne oraz zagrożenia środowiskowe. Dla potrzeb utrzymania zdatności w procesie użytkowania oraz zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony środowiska rozwija się teorię i praktykę obsługiwanie technicznego, doskonaląc istniejące strategie eksploatacji. Ciągłe rozwija się i doskonali rzadko jeszcze stosowany w praktyce eksploatacyjny system wymian profilaktycznych dla obiektów, opracowując coraz to lepsze modele takiego rozwiązania.

Efektywne strategie eksploatacji pozyskując informacje o użytkowaniu i obsłudze technicznym wykorzystują szybką, wiarygodną i przyjazną dla użytkownika informację o stanie z diagnostyki technicznej. Nowoczesne technologie informacyjne dostarczają wiele oryginalnych rozwiązań z obszaru pozyskiwania, przetwarzania i redundancji informacji ułatwiając modelowanie przyczynowo – skutkowe, wnioskowanie o stanie, prognozowanie i genezowanie stanu. Zagadnienia główne postępowania awansowego tego opracowania wskazują na inspirującą rolę procesów drganiowych i metod analizy modalnej w utrzymaniu zdatności obiektów budowlanych.

W literaturze znane są następujące strategie eksploatacji maszyn: według niezawodności, według efektywności ekonomicznej, według ilości wykonanej pracy, według stanu technicznego oraz proponowana w tej pracy nowa koncepcja bezpiecznej i racjonalnej eksploatacji - strategia tolerowanych uszkodzeń [7.6,7.8].

Trudna droga drażenia danych dla wytworzenia wiedzy potrzebnej dla wdrożenia wybranej strategii eksploatacji wywołuje kolejne problemy wymuszające opracowanie i budowę systemu uzgadniania decyzji oraz dedykowanych systemów diagnostycznych w podejściu wielowymiarowym - dla oceny jakości współczesnych konstrukcji.

Procesy destrukcji konstrukcji i systemów technicznych wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu, szczególnie na etapie eksploatacji. Metody i środki nowoczesnej diagnostyki technicznej, w tym metod analizy modalnej, są narzędziem diagnozowania stanu technicznego, co umożliwi racjonalną i bezpieczną eksploatację [7.6].

Istota eksploatacyjnej **strategii tolerowanych uszkodzeń** w przestrzeni stanów technicznych systemu konstrukcji i maszyn sprowadza się do zmiany trajektorii, po jakiej przemieszcza się aktualny punkt stanu technicznego systemu w taki sposób, aby w chwili zakończenia procesu użytkowania punkt stanu systemu znajdował się jak najbliżej punktu stanu granicznego [7.8].

Przeprowadzone rozważania pozwoliły na dopracowanie definicji *strategii tolerowanych uszkodzeń*, nadzorującej wykryte rozwijające się uszkodzenie dedykowanym systemem diagnostycznym, jako odległość wartości symptomu stanu od jego wartości granicznej w przestrzeni cech stanu. Treści tego problemu inspirują do dalszej wyężonej pracy w tematyce inżynierii eksploatacji maszyn, szczególnie w zakresie praktycznych wdrożeń diagnostyki technicznej, doskonalenia metodologii badań diagnostycznych, jak i sposobów liczenia efektów ekonomicznych, a więc zagadnień racjonalnej eksploatacji [5.2,5.5,5.8,5.10].

**Merytoryczne określenie profilu dorobku pozwala szczegółowo określić zakres prac teoretycznych i doświadczalnych obejmujących:**

1. Badania modelowe (elementy murowe, belki stalowe, segmenty murowe) i eksploatacyjne (konstrukcje murowe, elementy i zespoły maszynowe) w drganiowej ocenie stanu degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych.
2. Badanie efektywności stosowania narzędzi i środków procedur drganiowych i metod analizy modalnej w obszarze badania degradacji stanu materiałów i konstrukcji.
3. Realizacja badań z zakresu analizy metod rozpoznawania stanu materiałów i konstrukcji oraz maszyn budowlanych w zakresie redukcji zbioru parametrów diagnostycznych.
4. Zastosowanie analizy modalnej w diagnozowaniu stanu degradacji materiałów i konstrukcji budowlanych.
5. Ocena implementacji technik informacyjnych w organizację i zarządzanie systemami budowlanymi i produkcyjnymi.
6. Praktyczne wskazania procedur stosowania inżynierii wirtualnej w obszarach życia obiektów i konstrukcji (diagnostyka, niezawodność, projektowanie, konstruowanie, technologia wytwarzania, eksploatacja, bezpieczeństwo, ochrona środowiska).
7. Praktyczne aspekty aplikacji proponowanych rozwiązań w obszarze budownictwa, inżynierii produkcji, jakości wytworów i eksploatacji (użytkowanie i utrzymanie zdolności) - propozycje implementacji strategii *według stanu i tolerowanych uszkodzeń*<sup>21</sup> do systemu utrzymania zdolności w budownictwie.
8. Analiza dostępnych rozwiązań dotyczących obecnie stosowanych narzędzi diagnostycznych, aparatury badawczej oraz procedur badania zmian stanu elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych oraz obiektów mechanicznych w budownictwie.

Obszar badań głównych „osiągnięcia naukowego” dotyczy, głównie oceny przydatności procesu drganiowego i metod analizy modalnej do opisu zmian stanu różnych elementów, segmentów i budowli oraz maszyn budowlanych.

Zweryfikowana praktycznie ocena wrażliwości metod analizy modalnej na stopień degradacji konstrukcji budowli i maszyn ukazuje w stopniu zadowalającym dla praktyki różnice pomiędzy konstrukcją zdatną i uszkodzoną. Możliwe jest, zatem określenie zagrożeń konstrukcji budowlanych i maszynowych na podstawie badania wartości częstości drgań własnych i ich postaci, z wykorzystaniem eksploatacyjnej analizy modalnej.

Wymienione zagadnienia, jak wykazano w opisach „osiągnięcia naukowego” **mają także ogólniejsze znaczenie** wykraczające poza problematykę podstawową, ujmującą badanie degradacji elementów, materiałów i konstrukcji budowlanych metodami analizy modalnej.

## 5. OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE, DYDAKTYCZNE I ORGANIZACYJNE

W działalności naukowej kandydat zajmuje się problemami badania materiałów i konstrukcji budowlanych, inżynierii zarządzania oraz technik informacyjnych wykorzystywanych w zarządzaniu, planowaniu, realizacji i opracowywaniu wyników eksperymentów. Innowacyjna działalność w zakresie wdrażania metod umożliwiających określenie stanu destrukcji materiałów budowlanych oraz strategię kształtowania jakości produkcji i usług, będące pewną filozofią zarządzania, która znajduje coraz szersze uznanie, a opiera się na systematycznej poprawie jakości wytworów, to obszary aktualnych dociekań naukowych.

Długoterminowe staże naukowe w Berkeley University w USA, EAFIT University w Kolumbii, Technical University of Chemnitz w Niemczech oraz w Chmielnicki University na Ukrainie dostarczyły ogromu wrażeń poznawczych i wyzwoliły wiele wyzwań badawczych w obszarze inżynierii zarządzania i nieniszczących metod badania stanu degradacji materiałów i konstrukcji budowlanych. Widoczne jest to w realizowanych projektach badawczych, w intensywnej współpracy zagranicznej, jak i w wielu oryginalnych opracowaniach naukowych.

**BUDOWNICTWO OGÓLNE** to dyscyplina szczególnych zainteresowań kandydata, obejmująca:

1. **Inżynierię mechaniczną budownictwa** – mechanika i dynamika konstrukcji, metody modelowania i badania stanu, procesy drganiowe w budownictwie, materiały budowlane.
2. **Metody Analizy Modalnej (teoretycznej, eksperymentalnej i eksploatacyjnej)** - jako procedury i środki umożliwiające określenie stanu degradacji materiałów, segmentów i konstrukcji budowlanych w bezinwazyjny sposób badania, nie powodujący destrukcji konstrukcji i/lub badanego materiału.

Wykaz **głównych tematów** z zakresu dokonań merytorycznych tego obszaru obejmuje:  
*[w obszarze dynamiki konstrukcji budowlanych, modeli analitycznych, numerycznych i eksperymentalnych, metod mechaniki stosowanej, dynamiki systemu technicznego i kontroli degradacji stanu konstrukcji i systemów technicznych]*

- opracowanie nowych procedur metodyki badań w ujęciu oryginalnej strategii opracowywania danych pomiarowych;
- opracowanie modelu przejścia sygnału drganiowego przez budowle murowe dla potrzeb oceny zmiany ich degradacji pod zmiennym obciążeniem;
- weryfikacja wynikami badań przydatności metod analizy modalnej do oceny destrukcji elementów i budowli murowych;
- opracowanie metodyki badania destrukcji elementów i segmentów murowych za pomocą estymatorów drganiowych;

- opracowanie systemu akwizycji, przetwarzania i wnioskowania statystycznego dla sygnałów drganiowych w badaniu destrukcji elementów i budowli murowych;
- weryfikacja przydatność metody *OPTIMUM* oraz metody *SVD* w ocenie statystycznej estymatorów drganiowych badanych elementów murowych.

Dokonania tego zakresu badań przedstawione w wielu publikacjach książkowych i artykułach krajowych i zagranicznych oraz na konferencjach pozwalają na stwierdzenie, że kandydat jest już rozpoznawalny w dyscyplinie: **budownictwo**.

## 5.1. Inne osiągnięcia naukowe

Zainteresowania naukowo - badawcze kandydata dotyczą w ogólności problematyki badań degradacji stanu w obszarze materiałów, elementów i konstrukcji budowlanych. Obejmują one głównie zagadnienia mechaniki i dynamiki konstrukcji budowlanych, problematykę drgań i analizy modalnej w zastosowaniach diagnostyki budowli i systemów technicznych w budownictwie, ocenę jakości materiałów i elementów budowlanych oraz destrukcji stanu w ewolucji systemów budowlanych i technicznych.

Inżynieria produkcji, systemy sterowania jakością produkcji oraz zarządzanie w zakładzie to dziedziny pokrewnych zainteresowań zawodowych i naukowych, wykorzystujące metody i środki oraz narzędzia badań z zakresu zainteresowań podstawowych.

W tej problematyce wyodrębnić można dwa obszary zainteresowań:

### I. *INŻYNIERIA JAKOŚCI PRODUKCJI*

#### 1. Oddziaływania na jakość wytworu

- 1.1. **Zasady zarządzania jakością (ZZJ)** – ogólne prawa (reguły, normy postępowania) rządzące procesami oddziaływania na jakość.
- 1.2. **Metody zarządzania jakością (MZJ)** – świadomie i konsekwentnie stosowane sposoby postępowania (zespół czynności i środków) wykorzystywane dla osiągnięcia określonego celu przy realizacji zadań związanych z zapewnieniem jakości.
- 1.3. **Narzędzia zarządzania jakością (NZJ)** – służą do bezpośredniego oddziaływania w różnych fazach zapewnienia i zarządzania jakością (np. przy zbieraniu, porządkowaniu i przedstawianiu wyników z badań i pomiarów dotyczących jakości).

#### 2. Metody zapewnienia jakości

- 2.1. **Metody projektowania dla jakości** – wykorzystywane w fazach identyfikacji potrzeb i formułowania wymagań, w projektowaniu wyrobów i procesów oraz przygotowaniu produkcji.
- 2.2. **Metody kontroli i sterowania jakością** – stosowane głównie podczas produkcji.

### II. *UTRZYMANIE ZDATNOŚCI KONSTRUKCJI I OBIEKTÓW TECHNICZNYCH*

1. **Total Quality Management (TQM)** jako strategia kształtowania jakości produkcji i usług, będąca pewną filozofią zarządzania, która znajduje coraz szersze uznanie, a opiera się na systematycznej poprawie jakości wytworów, nieodłącznie związana z procesem inspiracji oraz pociągania ludzi za sobą przez kierownictwo zakładu.
2. **Total Productive Maintenance (TPM)** - system utrzymania zdatności zadaniowej (produktywności) maszyn i urządzeń budowlanych wykorzystywanych w strategiach produkcyjnych. TPM to nowoczesny sposób zarządzania systemami technicznymi, w aspekcie utrzymania stanu zdatności, gotowości technicznej i bezpieczeństwa<sub>23</sub> eksploatowanych obiektów.
3. **Metoda QFD - virtual**, której celem jest pełne i poprawne zidentyfikowanie potrzeb i oczekiwań klientów, przełożenie ich na cechy i parametry techniczne wyrobu oraz na jednoznaczne wyznaczenie zadań dla zespołów organizacyjnych firmy.
4. **Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji** - wspomagające zarządzanie i eksploatację środków trwałych w oparciu o nowoczesne technologie informacyjne.



Do osiągnięć naukowych **wskazanych obszarów** zainteresowań zaliczyć można opracowywane zagadnienia dotyczące problematyki:

- analizy ryzyka, bezpieczeństwa i oceny „jakości” materiałów i konstrukcji budowlanych metodami mechaniki stosowanej;
- utrzymanie i ocena zdatności budowli metodami z obszaru „jakości”;
- innowacyjne badania i opis eksploatacji materiałów i konstrukcji budowlanych przy wykorzystaniu metod i narzędzi zarządzania;
- systemy komputerowe i procedury badania zdatności obiektów, z proponowanymi algorytmami pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji danych inżynierii produkcji;
- nowe elementy strategii zarządzania utrzymaniem zdatności konstrukcji budowlanych;
- bezinwazyjne oceny „jakości” nowo wytwarzanych materiałów budowlanych;
- metody oceny stanu degradacji wieloletnich konstrukcji budowlanych.

Rezultaty tych prac oraz nowe koncepcje były prezentowane na konferencjach naukowych oraz w publikacjach naukowo-technicznych (załącznik 6).

## 5.2. Charakterystyka dorobku naukowego

Całościowy dorobek naukowy i zawodowy Kandydata obejmuje: oryginalne prace twórcze, monografie i podręczniki, projekty badawcze, prace zlecone i ekspertyzy techniczne, które zestawiono w dokumentacji wniosku. Opublikowany dorobek Kandydata obejmuje (wg zestawienia ilościowego dorobku naukowego) ogółem ponad 83 pozycje, w tym 8 opracowań zwartych, 17 publikacji zagranicznych, 21 konferencyjnych artykułów krajowych i zagranicznych, liczne prace wdrożeniowe oraz wielu opracowań specjalnych (załącznik 8.1. – dokumentacja wniosku).

Zestawienie parametryczne całości dorobku naukowego zestawiono w tablicy 1. Osiągnięcia w tym zakresie podzielono na dwa okresy: przed i po uzyskaniu stopnia doktora.

Tablica 1. Zestawienie parametryczne całości dorobku naukowego.

Rodzaj dorobku	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Ogółem
Punktacja MNiSW		445	445
Publikacje w JCR	-	9	9
Publikacje zwarte - monografie	-	8	8
Rozdziały w monografiach	-	3	3
- w tym zagraniczne	-	2	2
Artykuły w ZN i czasopismach	9	17	26
- w tym zagraniczne		14	14
Materiały konferencyjne			
- krajowe	2	12	14
- zagraniczne		7	7
Skrypty uczelniane	-	0	0
<b>RAZEM</b>	<b>11</b>	<b>72</b>	<b>83</b>

Na podkreślenie zasługuje fakt, że artykuły naukowe i referaty opublikowane były w źródłach polskich oraz w 5 krajach europejskich, w Ameryce Południowej i w USA. Publikacje, które zostały zamieszczone w zagranicznych czasopiśmie i materiałach konferencyjnych ukazały się w następujących krajach: Dania, Grecja, Kolumbia, USA, Niemcy, Ukraina, Słowacja.

### DANE BIBLIOGRAFICZNE

Sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem publikowania [załącznik 8.1.]: **IF = 15,756**.

### CYTOWANIA - 18







#### SCOPUS:

Cytowania – 16  
h-index – 3

#### WoS

Cytowania – 2  
h-index - 1

#### • Punkty wg MNiSW – 445 pkt.

	łączna liczba prac	liczba prac z punktacją MNiSW	łączna wartość punktacji MNiSW
ogółem	70	57	445.000
<u>artykuł naukowy w czasopiśmie polskim</u>	30	24	213.000
<u>artykuł naukowy w czasopiśmie zagranicznym</u>	11	7	34.000
<u>artykuł w polskim czasopiśmie fachowym</u>	3	3	12.000
<u>książka naukowa</u>	1	1	25.000
<u>książka popularno-naukowa</u>	1	1	12.000
<u>monografia</u>	4	4	72.000
<u>rozdział w książce</u>	17	17	77.000
diagram	 	 	 



[Indeksy cytowań](#)

Wszystkie

[Cytowania](#)

**135**

[h-indeks](#)

**7**

[i10-indeks](#)

**3**

Zółowski, Mariusz  
University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland  
Author ID: 57087337700

About Scopus Author Identifier | View potential author matches  
Other name formats: Zółowski, Mariusz; Zółowski, Mariusz; Zółowski Jr., Mariusz | View More

Documents: 11  
Citations: 16 total citations by 6 documents  
h-index: 3  
Co-authors: 7  
Subject area: Engineering, Mathematics | View More

11 Documents | Cited by 6 documents | 7 co-authors

11 documents | View in search results format | Sort on: Date | Cited by

Export all | Add all to list | Get document alert | Set document feed

Document Title	Author(s)	Year	Journal	Citations
Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis	Zółowski, M.	2014	Polish Maritime Research	5
Assessment state of masonry components degradation	Zółowski, M.	2014	Applied Mechanics and Materials	4
Vibrations in the assessment of construction state	Zółowski, B., Zółowski, M.	2014	Applied Mechanics and Materials	3
Study of the state a Francis turbine	Zółowski, M., Zółowski, B., Castaneda, L.	2013	Polish Maritime Research	3
Estimation of combustion engine technical state by multidimensional analysis using SVD method	Martínez, R.M., Botas, G.R., Castañeda, L.F., Kalczyński, T., Zółowski, M.	2013	International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing	1
Truss Harbor Cranes Modal Design Elements Research	Zółowski, M., Liso, M., Zółowski, B., Melcer, J.	2015	Polish Maritime Research	0
Instrumented study of the wheel-Rail Interaction	Zółowski, B., Castaneda, L., Zółowski, M.	2015	Vibroengineering Procedia	0
Quality identification methodology applied to wall-elements based on modal analysis	Zółowski, M., Martínez, R.M.	2015	Multidiscipline Modeling in Materials and Structures	0
A hydrogenic electrolyzer for fuels	Zółowski, B., Zółowski, M.	2014	Polish Maritime Research	0

Author History  
Publication range: 2012 - 2015  
References: 136  
Source history: Journal of Marine Applied Mechanics and Materials, Multidiscipline Modeling in Materials and Structures | View Documents

## Web of Science Core Collection

Z autocyctowaniami : 2014 – 10 cytowań

2013 – 1 cytowanie

2011 – 1 cytowanie

Razem – 12 cytowań;

H – indeks : 1

Web of Science™ | InCites™ | Journal Citation Reports® | Essential Science Indicators™ | EndNote™ | Sign In | Help | English

WEB OF SCIENCE™ | THOMSON REUTERS™

Search | My Tools | Search History | Marked List

Results: 5 (from All Databases)

You searched for: AUTHOR: (Zółowski, Mariusz) ...More

Refine Results

Search within results for...

Databases

Research Domains

SCIENCE TECHNOLOGY

Sort by: Times Cited – highest to lowest | Page 1 of 1

Select Page | Save to EndNote online | Add to Marked List | Create Citation Report

1. **Assessment State of Masonry Components Degradation**  
By: Zółowski, Mariusz  
Edited by: Kotrasova, K, Melcer, J  
Conference: 6th International Scientific Conference on Dynamic of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering (DYN-WIND) Location: Donovaly, SLOVAKIA Date: MAY 25-29, 2014  
Sponsor(s): Univ Zilina, Fac Civil Engn, Dept Struct Mech; Slovak Sci Tech Transport Soc; Doprastav a s DYNAMIC OF CIVIL ENGINEERING AND TRANSPORT STRUCTURES AND WIND ENGINEERING Book Series: Applied Mechanics and Materials Volume: 617 Pages: 142-147 Published: 2014  
Full Text from Publisher | View Abstract

Times Cited: 1 (from All Databases)
2. **Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis**  
By: Zółowski, Mariusz  
POLISH MARITIME RESEARCH Volume: 21 Issue: 1 Pages: 42-53 Published: 2014  
Full Text from Publisher | View Abstract

Times Cited: 1 (from All Databases)

### 5.3. Opracowania w badaniach zleconych i w projektach badawczych

Wykonanie 10 opracowań przemysłowych z zakresu badań degradacji elementów, segmentów, materiałów i konstrukcji budowlanych oraz maszyn, metodami mechaniki stosowanej, obejmujących:

- opracowanie założeń systemu utrzymania ruchu maszyn budowlanych;
- strategia utrzymania podatności konstrukcji budowlanych;
- współautorstwo opracowania „Elementy zarządzania eksploatacją maszyn”;
- opracowanie procedur wyznaczania diagramów stabilizacyjnych i wartości funkcji FRF;
- laboratoryjne badanie elementów konstrukcyjnych z wykorzystaniem analizy modalnej;
- wykonanie badania ceglanych elementów murowych zabudowań wiejskich;
- opracowanie założeń systemu informatycznego zarządzania eksploatacją maszyn budowlanych w zakładzie produkcyjnym;
- ocena jakości materiałów stalowych metodami eksperymentalnej analizy modalnej;
- wykonanie badań segmentów murowych z wykorzystaniem analizy modalnej;
- metodyka QFD dla wirtualnej koordynacji cyklu życia produktów w organizacji.

W sumie wykonano **wiele** wartościowych opracowań z obszaru **badania materiałów murowych, zarządzania i eksploatacji maszyn budowlanych** przydatnych w praktyce funkcjonowania przedsiębiorstw. Dokonania przedstawione w tych opracowaniach były i są wykorzystywane przez wybranych przedsiębiorców i ich pracowników.

#### *Sprawozdania z badań naukowych - współpraca*

Rozwijanie aktywnej współpracy międzynarodowej w zakresie rozwoju metod testowania nowych produktów, a także stanu degradacji budynków z krajami, do których należą: **USA** (University of California, Berkeley University), **Kolumbia** (EAFIT University), **Niemcy** (Technische Universität Chemnitz), Chmielnicki University of **Ukraina**, **Słowacja** (Wydział Inżynierii Lądowej, University of Žilina) oraz Research Center - University of Žilina. Doświadczenie zdobyte podczas wizyt studyjnych i staży oraz badań przyczyniły się do rozwoju nauki, doradztwa, publikacji i praktyki badawczej. Krótki przegląd dokumentalny dowodów tej współpracy zaprezentowano poniżej. Planowana dalsza aktywna współpraca to dalsze badania, wymiana doświadczeń - którym towarzyszą GRANTY, publikacje i rozwój.

Aktywna praca naukowo – badawcza obejmuje wiele różnych inicjatyw, z których najważniejsze (opisane szczegółowo w **punkcie VI załącznika 4** tej dokumentacji) to udział w realizacji 7 projektów badawczych, wielu wizyt zagranicznych w charakterze staży naukowych, 7 opracowań i ekspertyz oraz 3 projekty uczelniane. Do ważniejszych należą:

1. Odbycie stażu naukowego (3 miesięcznego) na Uniwersytecie EAFIT w Medellin w **Kolumbii**, w okresie od czerwca do września 2011 roku, w ramach POIG.
2. Odbycie stażu naukowego (miesięcznego) na Uniwersytecie EAFIT w Medellin w **Kolumbii**, w okresie od czerwca do września 2012 roku, w ramach POIG.

*Udział w międzynarodowym projekcie badawczym (wykonawca) grupy badawczej GEMI prowadzonego na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu EAFIT w Medellin. 2011-2012.*

3. Odbycie stażu naukowego (miesięcznego) na Uniwersytecie Technicznym w Chemnitz (TU Chemnitz) w **Niemczech**, w maju 2012 roku, w ramach POIG. <sup>27</sup>

*Udział w projekcie badawczym na TU Chemnitz na Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung (SLK). 2013.*

4. Odbycie stażu naukowego (2 miesięcznego) na Uniwersytecie Państwowym im. Chmielnickiego (**Khmielnytsky National University**), 2012 roku, w ramach POIG.

5. Odbycie stażu naukowego (2 miesięcznego) na Uniwersytecie Californijskim w **Berkeley w USA**, w okresie od maja do lipca, w ramach rządowego programu TOP 500 Innovators w 2013 roku, w ramach **TOP 500 Innovators**.

*Udział w projekcie badawczym (wykonawca) grupy badawczej: The Berkeley Micromechanical Analysis and Design (BMAD) na Uniwersytecie Californijskim w Berkeley, USA, 2013 r.*

6. Odbycie stażu naukowego na **Uniwersytecie w Żylinie** na Słowacji, w terminie 1-7 września 2014 roku, w ramach programu ERASMUS.
7. Odbycie stażu naukowego na **Uniwersytecie w Żylinie** na Słowacji, w terminie 15-19 czerwca 2015 roku, w ramach programu ERASMUS+.

#### 5.4. Charakterystyka działalności dydaktycznej

**Działalności dydaktyczno-wychowawczej** prowadzonej od 2008 roku poświęcił Kandydat wiele troski i energii, prowadząc zajęcia dydaktyczne /**wykłady, seminaria, laboratoria, ćwiczenia**/ z teorii i konstrukcji budowli, maszyn budowlanych, technologii prac budowlanych, podstaw konstrukcji maszyn, dynamiki i eksploatacji maszyn i budowli.

Dla potrzeb realizacji procesu dydaktycznego opracował szczegółowe programy nauczania dla prowadzonych przedmiotów, uczestniczył w pracach związanych z przygotowaniem pomocy dydaktycznych, budową stanowisk laboratoryjnych oraz opracowaniem instrukcji do ćwiczeń. Ponadto, brał udział w opracowaniu 8 prac (także współautor) w formie podręczników i skryptów akademickich (zgodnie z wykazem osiągnięć w pracy naukowo-badawczej: załącznik 7. Był promotorem wielu prac licencjackich (21) i inżynierskich (20) – załączniki 8.4 oraz 8.5.

Kierował opracowaniem od podstaw procesu dydaktycznego na różnych specjalnościach tworząc plany studiów, ramowe programy nauczania poszczególnych przedmiotów oraz opracowując skrypty i podręczniki, a także pisząc i realizując scenariusze filmów dydaktycznych. Zorganizował wraz z zespołem specjalistyczne laboratorium badania i utrzymania zdadności maszyn roboczych, dla którego projektował i budował stanowiska laboratoryjne, umożliwiające kształcenie studentów. Prowadzone przez niego zajęcia charakteryzują się bogatą wiedzą merytoryczną, nowatorskim podejściem do omawianych zagadnień i są powiązane z potrzebami gospodarki.

Do szczególnych osiągnięć w działalności dydaktyczno - wychowawczej Kandydata należy zaliczyć:

- kierowanie i bezpośredni udział w opracowaniu programów i treści nauczania wielu przedmiotów z obszaru inżynierii produkcji, bezpieczeństwa oraz budowy i eksploatacji maszyn i konstrukcji budowlanych;
- wprowadzenie i rozwinięcie w nauczaniu aktywizujących i problemowych metod nauczania z wykorzystaniem technologii informatycznych i środków audiowizualnych;
- rozbudowa i modernizacja bazy dydaktycznej;
- opracowanie skryptów i opracowań metodycznych.

Przez szereg lat Kandydat sprawował opiekę nad studenckimi kołami naukowymi oraz pełnił szereg funkcji wychowawczych i organizacyjnych. Uczestniczył także w przeprowadzanych egzaminach dyplomowych i promocyjnych, a także prowadzi seminaria dydaktyczno-naukowe.

Za całokształt działalności dydaktyczno-wychowawczej otrzymał szereg nagród i wyróżnień (wykaz zamieszczono w dokumentacji wniosku).

W czasie pracy na Uczelni w charakterze nauczyciela akademickiego prowadzi zajęcia wszystkich rodzajów: wykłady, ćwiczenia laboratoryjne i audytoryjne i projektowanie oraz seminaria. Wybrane przedmioty przedstawiono poniżej:

a) Przedmioty, które wykładał (studia stacjonarne i niestacjonarne):

- mechanika teoretyczna;
- mechanika stosowana w budownictwie;
- materiały budowlane;
- kosztorysowanie w budownictwie;
- geometria wykreślna i rysunek techniczny (CAD).

b) Ćwiczenia i zajęcia laboratoryjne, które prowadził:

- mechanika stosowana;
- mechanika budowli II – ćwiczenia, projekt;
- badania materiałów budowlanych – ćwiczenia;
- statyka konstrukcji budowlanych – ćwiczenia, projekt;
- kosztorysowanie w budownictwie – ćwiczenia, projekt;
- rysunek techniczny (CAD) – ćwiczenia, projekt.

Kandydat aktywnie uczestniczy bezpośrednio w działaniach edukacyjnych i dydaktycznych przez cały czas pracy w okresie sześciu lat na kierunkach „Budownictwo Ogólne” w różnych uczelniach regionu Kujawsko – Pomorskiego. Prace dydaktyczne i wychowawcze realizowane były w różnych okresach w następujących uczelniach: Wydział Budownictwa UTP w Bydgoszczy, Kierunek Inżynierii Produkcji na Wydziale Zarządzania – UTP w Bydgoszczy, Kierunek Budownictwo w Kujawsko Pomorskiej Szkole Wyższej oraz Bydgoskiej Szkole Wyższej.

Członek Komisji Wydziałowych:

- członek Komisji Dyplomowych;
- członek komisji wydziałowych ds kierunku studiów.

**DOKONANIA W DYDAKTYCE:**

- praca dydaktyczna (wykłady, ćwiczenia audytoryjne, ćwiczenia laboratoryjne, projekty przejściowe, konsultacje) w 3 uczelniach: KPSW, BSW, UTP;
- opracowanie programów autorskich nauczania dla kierunku Budownictwo (*Materiały budowlane, Kosztorysowanie prac budowlanych, Dynamika konstrukcji budowlanych, Techniki informacyjne w budownictwie*);
- opiekun 2 roczników studenckich w UTP;
- opiekun 3 praktyk studenckich (letnich, 1 miesięcznych);
- opiekun 6 studentów indywidualnego toku studiów;
- promotor wielu prac dyplomowych (inżynierskich, licencjackich);
- autor podręczników (skryptów) akademickich wykorzystywanych w dydaktyce;
- członek wielu komisji egzaminacyjnych i dyplomowych.

Prowadzone zajęcia charakteryzują się bogatą wiedzą merytoryczną, nowatorskim podejściem do omawianych zagadnień i są powiązane z aktualnymi i perspektywicznymi potrzebami gospodarki. Są zawsze wzorowo przygotowane pod względem metodycznym i realizowane są na wysokim poziomie merytorycznym, co potwierdzają wyniki hospitacji.

Kierował opracowaniem i organizowaniem od podstaw procesu dydaktycznego na różnych specjalnościach tworząc plany studiów, ramowe programy nauczania poszczególnych przedmiotów oraz opracowując materiały dydaktyczne z zakresu materiałów budowlanych, dynamiki konstrukcji oraz inżynierii produkcji.

Za wyróżniającą się działalność Kandydat otrzymał szereg wyróżnień i nagród:

- nagrody Rektora (roczna) za osiągnięcia w pracy naukowej i dydaktycznej w latach 2012, 2014 oraz w 2015r.
- nagroda – roczny dodatek specjalny (finansowy) dla wyróżniających się młodych (do 35 lat) pracowników nauki – w 2013r.

Uczestniczył w szkoleniach z zakresu:

- zarządzanie czasem i pracą zespołu;
- pozyskiwanie projektów i zarządzanie ich realizacją;
- planowanie i zarządzanie finansami;
- zarządzanie strategiczne uczelnią.

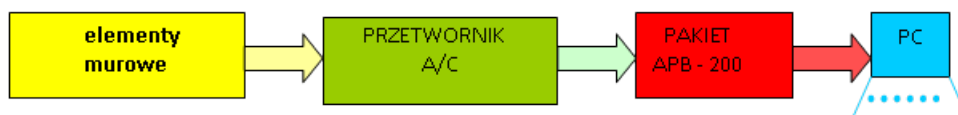
## 5.5. Osiągnięcia w działalności organizacyjnej

**Działalność organizacyjna** integralnie związana z latami pracy w sferze kształcenia i wychowania oraz badań naukowych wyzwoliła szereg zainteresowań, inicjatyw i wręcz pasji organizacyjnych. Działalność pozauczelniana Kandydata jest związana z członkostwem w różnego rodzaju organizacjach i powiązana ze współpracą z zakładami przemysłowymi.

### *WSPÓŁPRACA Z PRZEMYSŁEM*

**Zweryfikowane praktycznie w badaniach autora** założenia metodyki badań przy wykorzystaniu dostępnych odmian analizy modalnej - jako narzędzie mechaniki stosowanej budownictwa - są stosowane w wielu ośrodkach badawczych i przemysłowych w Polsce i za granicą (Niemcy, Kolumbia, Ukraina, Słowacja).

W celu zidentyfikowania głównych problemów badania podczas oceny degradacji (niszczenia) elementów, segmentów i konstrukcji budowlanych za pomocą sygnału drganiowego (w metodyce analizy modalnej) wykorzystuje się dostępne elementy murowe, które najczęściej są podstawowym budulcem ścian szeregu budowli. Przebieg postępowania, jako metodyka realizacji badań segmentów i konstrukcji murowych przedstawiono na rys.1.



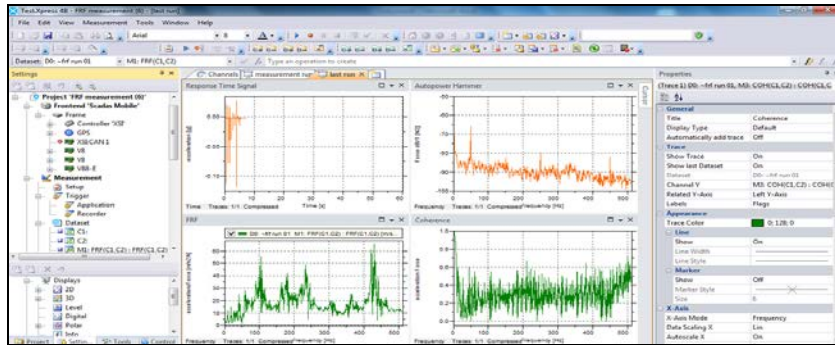
Rys.1. Struktura systemu badawczego

Realizacja badań w rzeczywistych warunkach wybranych zakładów stwarza wiele ciekawych sytuacji poznawczych i trudnych, a ich przygotowanie jest czasochłonne i kosztowne. Młotki modalne, urządzenia pomiarowe, oprogramowanie LMS i niektóre badane materiały budowlane stosowane w badaniach przemysłowych są przedstawione na rys.2.



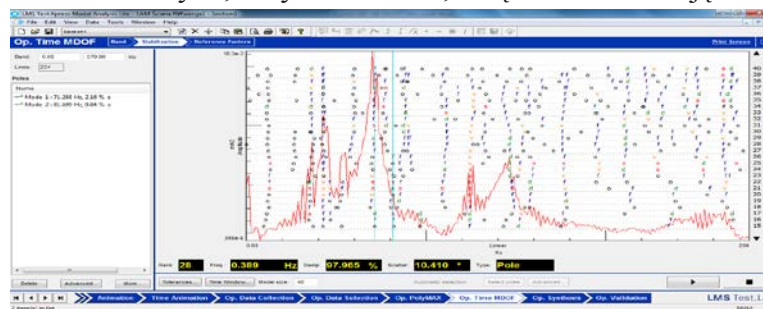
Rys.2. Widok elementów i stanowisk pomiarowych w analizie modalnej

Realizacja badań i przetwarzanie sygnałów drganiowych, dla różnych materiałów zainteresowanych zakładów, dla różnych czasów życia badanych elementów budowlanych, prowadzona jest praktycznie w systemie pomiarowym LMS TEST.XPRESS - rys.3.



Rys.3. Fragment wizualizacji wyników badań za pomocą oprogramowania LMS

Oprogramowanie to pozwala w łatwy sposób przeprowadzić według zaproponowanego algorytmu badanie stanu degradacji elementów i materiałów murowych, także wszelkich konstrukcji budowlanych (w tym i wieloletnich). Diagramy stabilizacji (rys.4) uzyskane w badaniach analizy modalnej umożliwiają ocenę zmiennych struktur stalowych, także degradacji materiałów budowlanych, w tym starzenie, zmęczenie i korozję.



Rys.4. Przykładowy diagram stabilizacji

### ***Testowane produkty budowlane i zakres opracowania***

Badanie podstawowych materiałów budowlanych wykorzystywanych w przemyśle obejmuje przedstawicieli grup: - (EC6V) elementów ceramicznych; - (EN 771-1) cegły, pustaki, elementy POROTHERM; - silikatowych (EN 771-2) beton komórkowy (suporeks) i elementy betonowe; (EN 771 -3 ) - cegły chodnikowe, płyty chodnikowe, beton blok.

Testy obejmują:

- badanie istniejących struktur z wykorzystaniem metod eksperymentalnej i operacyjnej analizy modalnej,
- elementy badania murowego z wykorzystaniem operacyjnej analizy modalnej;
- badania diagramów stabilizacji z wyróżnionymi częstościami procesu destrukcji;
- badania wartości funkcji FRF dla elementów i materiałów murowych;
- zarządzanie i eksploatacja nieruchomości.

Lista przedsiębiorstw, które szczególnie często korzystają z dokonań w zakresie badania drganiowego materiałów i konstrukcji w przemyśle:

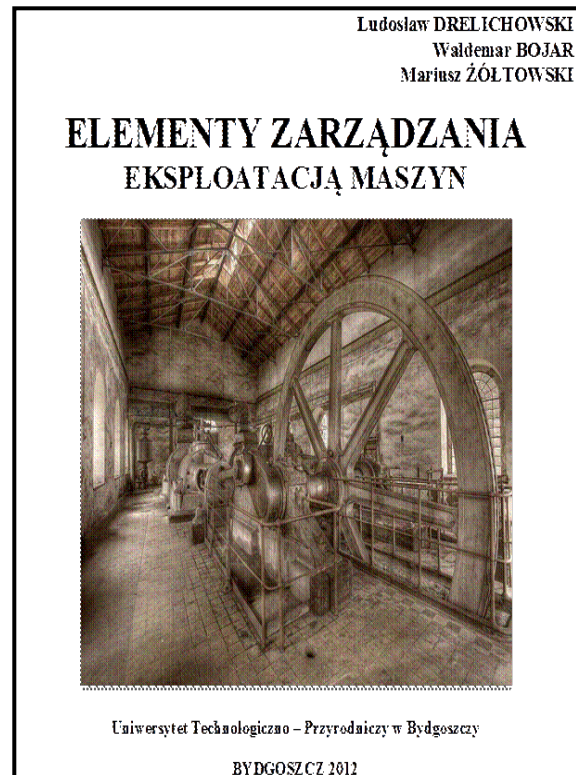
- **PUBR** sp. z o.o., Pojazdy Szynowe **PESA** Bydgoszcz S.A, Przedsiębiorstwo<sub>01</sub> Budowlane **KAMBUD** Tumlin – Węgle, **P.W. And – Rem - Bud**, Okręgowa **Spółdzielnia Mleczarska**, **GRAFPOL** Bydgoszcz.



**Książki dla przemysłu**

**1 - BADANIA I ROZWÓJ INNOWACYJNEJ GOSPODARKI - [załącznik 7 poz.5].**

**2 - ELEMENTY ZARZĄDZANIA EKSPLOATACJĄ MASZYN – [załącznik 7 poz.6].**



Na szczególne jednak podkreślenie zasługuje to, że wiele postulatów wynikających z rozważań teoretycznych oraz zrealizowanych prac badawczych znalazło swoje praktyczne zastosowanie w wielu rozwiązaniach użytkowych w budownictwie i inżynierii produkcji.

Za całokształt działalności organizacyjnej Kandydat był wiele razy wyróżniany różnego typu nagrodami i dyplomami.

Uznając przedstawiony w autoreferacie cykl publikacji powiązanych tematycznie wraz z materiałami opisującymi towarzyszące aktywności, potwierdzono zrealizowanie zaproponowanego osiągnięcia naukowego, a także uzasadniono istotę szerokiej aktywności naukowej i publikacyjnej kandydata.

## 6. PODSUMOWANIE

Reasumując przedstawiony dorobek publikacyjny i osiągnięcia naukowe w tematyce tego postępowania, można syntetycznie wskazać na aktywności w poszczególnych obszarach:

- **aktywność naukowa:**

- autorstwo ponad 80 publikacji,
- udział w kilkudziesięciu konferencjach,
- udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych i międzynarodowych,
- uczestnictwo w projektach i realizacja wykładów zagranicznych,
- współpraca z naukowcami z innych krajów,
- zrealizowane staże naukowe i dydaktyczne;

- zrealizowane staże naukowe i dydaktyczne;
- „uznanie w środowisku”:
  - zaproszenia do opracowań wspólnych polskich i zagranicznych publikacji naukowych,
  - recenzowanie artykułów w czasopiśmie zagranicznych i krajowych,
  - zaproszenia do komitetów redakcyjnych;
- **dorobek naukowy i wkład w rozwój dyscypliny:**
  - 8 monografii tematycznych,
  - całkowita punktacja dorobku naukowego wg punktacji MNiSW 445 punktów,
  - rozdziały w monografiach,
  - nagrody Rektora Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego w Bydgoszczy w kategorii za działalność naukową.

W podsumowaniu tego obszaru działalności należy zauważyć, że Kandydat aktywnie uczestniczy zarówno w macierzystej uczelni, jak i na forum krajowym.

Kandydat uzyskał również znaczny autorytet zagraniczny, czego dowodem jest:

- kwalifikowanie zgłaszanych przez niego oryginalnych referatów do programu obrad konferencji zagranicznych,
- zapraszanie do zagranicznych ośrodków naukowo - technicznych w celu prezentacji osiągnięć i kierunków prac naukowych.

Przedstawione powyżej dokonania Kandydata pozwalają na określenie charakteru i istoty wkładu w rozwój nauki i badań stosowanych, do których można zaliczyć:

- *rozwój badań w obszarze doskonalenia konstrukcji i projektowania eksploatacji obiektów budowlanych;*
- *doskonalenie dyscypliny „budownictwo” w ujęciu potrzeb nowoczesnej konstrukcji, trwałości i niezawodności wytworów oraz racjonalnej ich eksploatacji;*
- *opracowanie metodologii stosowania różnych narzędzi modelowania i opisu badań konstrukcji i maszyn w budownictwie;*
- *rozwój metodyki badań destrukcji konstrukcji budowlanych i maszyn specyficznych w eksploatacji techniki budowlanej.*

Marinoz Zitarshi