

BARTŁOMIEJ BŁACHOWSKI

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

WARSZAWA 2019

SPIS TREŚCI

1	ŻYCIORYS	3
1.1	IMIĘ I NAZWISKO	3
1.2	STOPNIE NAUKOWE I DYPLOMY ZAWODOWE	3
1.3	ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	3
1.4	ZDOBYTE DOŚWIADCZENIE INŻYNIERSKIE	4
1.5	DODATKOWE KURSY I KWALIFIKACJE	4
2	OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE	5
2.1	TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO	5
2.2	LISTA PUBLIKACJI PRZEDSTAWIONYCH JAKO OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE	5
2.3	OPIS OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO	6
2.3.1	<i>Wprowadzenie</i>	6
2.3.2	<i>Rozmieszczanie czujników do identyfikacji uszkodzeń z ograniczeniem na rzadkość rozwiązania ...</i>	7
2.3.3	<i>Modelowanie uszkodzeń śrubowych połączeń kotłowniczych</i>	8
2.3.4	<i>Wykrywalność uszkodzeń w śrubowych połączeniach zakładkowych</i>	9
2.3.5	<i>Miejscowe kryteria lokalizacji uszkodzeń w konstrukcjach szkieletowych</i>	10
3	POZOSTAŁY DOROBEK I OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE	11
3.1	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ	11
3.1.1	<i>Przed doktoratem</i>	11
3.1.2	<i>Po doktoracie</i>	11
3.1.3	<i>Pół-aktywne strategie sterowania drganiami</i>	11
3.1.4	<i>Dynamiczna interakcja pieszych z deformacją mostów</i>	12
3.1.5	<i>Optymalizacja topologiczna konstrukcji</i>	12
3.2	LISTA PUBLIKACJI W PORZĄDKU CHRONOLOGICZNYM	13
3.3	SUMARYCZNE DANE BIBLIOGRAFICZNE	14
3.4	MONOGRAFIE I ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH	14
3.5	OPUBLIKOWANE PRACE I ABSTRAKTY KONFERENCYJNE	14
3.6	REFERATY OSOBIŚCIE WYGŁOSZONE NA KONFERENCJACH	17
3.7	PATENTY	18
3.8	UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH	19
3.9	NAGRODY I WYRÓŻNIENIA	20
3.10	WSPÓŁPRACA MIĘDZYNARODOWA	20
3.11	DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA	21
3.12	DZIAŁALNOŚĆ POPULARYZATORSKA	21
3.13	DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA	21
3.14	UDZIAŁ W PRACACH REDAKCJI CZASOPISM I RECENZOWANIE PRAC	22
4	BIBLIOGRAFIA	23

1 ŻYCIORYS

1.1 Imię i nazwisko

Bartłomiej Dominik Błachowski

ResearcherID: [P-9583-2016](https://orcid.org/0000-0001-9583-2016)

1.2 Stopnie naukowe i dyplomy zawodowe

- 2005 Doktor nauk technicznych (dyscyplina budownictwo)
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK
Tytuł rozprawy doktorskiej: "*Optymalne sterowanie drganiami masztów z odciągami*"
promotor: prof. dr hab. inż. Witold Gutkowski
- 2000 Magister inżynier budownictwa
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
Specjalność: Metody komputerowe w mechanice konstrukcji
Tytuł pracy magisterskiej: "*Systemy generacji strukturalnych siatek elementów skończonych*"
promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy Skrzypczyk

1.3 Zatrudnienie w jednostkach naukowych

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Od czerwca 2017 | Specjalista (stanowisko badawczo-techniczne)
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
Zakład Technologii Inteligentnych |
| Lipiec 2014 - Maj 2017 | Główny specjalista (stanowisko inżyniersko-techniczne)
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
Zakład Technologii Inteligentnych |
| Marzec -Wrzesień 2012 | Visiting scholar
UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN
Smart Structures Technology Laboratory |
| Październik 2004 - Maj 2014 | Asystent
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
początkowo Zakład Metod Komputerowych,
a następnie Zakład Technologii Inteligentnych |
| Październik - Grudzień 2002 | Visiting scholar
UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES
Active Structures Laboratory |

1.4 Zdobyte doświadczenie inżynierskie

Listopad 2000 - Kwiecień 2001	ZIG-ZAG Sp. z o.o. – Programista bazodanowych aplikacji internetowych w języku PHP
Sierpień 2001	Pracownia Projektowa Konstrukcji i Fizyki Budowli A. Goerst – wykonanie modelu MES i obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wieży telewizyjnej znajdującej się w miejscowości Stuposiany
Maj 2007 - Październik 2007	GiS Architekci – asystent projektanta konstrukcji, opracowywanie dokumentacji rysunkowej konstrukcji żelbetowych
Marzec 2008 – Styczeń 2010	Arcade Polska – współpraca z biurem projektów, w szczególności udział w następujących projektach: <ul style="list-style-type: none">· Centrum handlowe BONARKA , Kraków, ul. Puskarska – opracowanie rysunków zbrojeniowych· BUSINESS GARDEN, Warszawa, ul. Żwirki i Wigury – j.w.· Stadion Narodowy w Warszawie – wykonanie obliczeń MES oraz dokumentacji wykonawczej schodów kaskadowych
Luty - Grudzień 2010	Schoeck Bauteile GmbH – opracowanie programu MES do obliczeń płyt żelbetowych i łączników termoizolacyjnych ISOKORB
Styczeń 2013 -Styczeń 2014	Schoeck sp. z o.o. – praca na pełny etat jako inżynier budownictwa, polegająca na projektowaniu prefabrykowanych łączników termoizolacyjnych ISOKORB

1.5 Dodatkowe kursy i kwalifikacje

12-16 czerwca 2006	" <i>Advances in modeling and control of flexible mechanical systems</i> " kurs koordynował prof. Wodek Gawronski z NASA/JPL CISM - Międzynarodowe Centrum Nauk Mechanicznych, Włochy
10-14 października 2005	" <i>Dynamic Methods of Damage Detection in Structures</i> " kurs koordynował prof. Antonino Morassi z Uniwersytetu w Udine CISM - Międzynarodowe Centrum Nauk Mechanicznych, Włochy
14-18 lipca 2003	1-sza letnia szkoła SAMCO, " <i>Structural Assessment, Monitoring and Control</i> ", koordynator prof. Helmut Wenzel z VCE Holding Robinson Collage, Cambridge University, Wielka Brytania
21-23 października 2002	" <i>Vibration Control of Active Structures</i> " kurs koordynował prof. Andre Preumont z ULB Universite Libre de Bruxelles, Bruksela, Belgia
15-19 kwietnia 2002	" <i>Advanced Dynamics and Control of Structures and Machines</i> " Koordynatorzy: prof. Hans Irschik i Kurt Schlacher, J. Kepler University CISM - Międzynarodowe Centrum Nauk Mechanicznych, Włochy

2 OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

2.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe przedstawiono jednotematyczny cykl siedmiu publikacji, które ukazały się w latach 2015-2019, pod wspólnym tytułem:

„Identyfikacja uszkodzeń elementów konstrukcyjnych i połączeń śrubowych w przestrzennych konstrukcjach prętowych”

2.2 Lista publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowe

- A1. **Blachowski, B.;**
Modal sensitivity based sensor placement for damage identification under sparsity constraint,
[Periodica Polytechnica Civil Engineering](#), **2019**
Impact Factor: **0.636 (Q4)**; liczba cytowań: **0**
- A2. **Blachowski, B.;** Gutkowski, W.;
Effect of damaged circular flange-bolted connections on behaviour of tall towers, modelled by multilevel substructuring,
[Engineering Structures](#), vol. 111, pp. 93-103, **2016**
Impact Factor: **2.258 (Q1)**; liczba cytowań: **18**
- A3. **Blachowski, B.;** An, Y.; Spencer, B.F., Jr.; Ou, J.;
Axial strain accelerations approach for damage localization in statically determinate truss structures,
[Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering](#), vol. 32, no. 4, pp. 304-318, **2017**
Impact Factor: **5.475 (Q1 w czterech kategoriach)**; liczba cytowań: **7**
- A4. **Blachowski, B.;** Swiercz, A.; Gutkiewicz, P.; Szelazek, J.; Gutkowski, W.;
Structural damage detectability using modal and ultrasonic approaches,
[Measurement](#), vol. 85, pp. 210-221, **2016**
Impact Factor: **2.359 (Q1, Q2)**; liczba cytowań: **12**
- A5. An, Y.; **Blachowski, B.;** Ou, J.;
A degree of dispersion-based damage localization method,
[Structural Control & Health Monitoring](#), vol. 23, no. 1, pp. 176-192, **2016**
Impact Factor: **2.355 (Q1,Q1,Q2)**; liczba cytowań: **10**
- A6. Pnevmatikos, N.G.; **Blachowski, B.;** Hatzigeorgiou, G.D.; Swiercz, A.;
Wavelet analysis based damage localization in steel frames with bolted connections,
[Smart Structures And Systems](#), vol. 18, no. 6, pp. 1189-1202, **2016**
Impact Factor: **1.382 (Q2,Q3,Q3)**; liczba cytowań: **9**
- A7. An, Y.; **Blachowski, B.;** Zhong, Y.; Holobut, P.; Ou, J.;
Rank-revealing QR decomposition applied to damage localization in truss structures,
[Structural Control & Health Monitoring](#), vol. 24, no. 2, Article Number: e1849, **2017**
Impact Factor: **3.622 (Q1,Q1,Q1)**; liczba cytowań: **7**

2.3 Opis osiągnięcia naukowego

2.3.1 Wprowadzenie

Głównym celem moich badań naukowych i tematem osiągnięcia naukowego jest opracowanie efektywnych technik modelowania i identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach inżynierskich. Techniki te dedykowane są do wykrywania uszkodzeń w takich komponentach przestrzennych konstrukcji prętowych jak połączenia śrubowe, czy też pręty łączone za ich pomocą. Moje zainteresowania metodami identyfikacji uszkodzeń zaczęły się w połowie pierwszej dekady XXI wieku i od tego momentu na bieżąco śledziłem postęp jaki dokonywał się w tej dziedzinie. W niniejszym opracowaniu przedstawiam mój wkład w ten obszar nauki, a w szczególności w lepsze zrozumienie mechanizmów rządzących ruchem konstrukcji z uszkodzeniami i udoskonalanie technik obliczeniowych pomagających identyfikować uszkodzenia w dużych konstrukcjach inżynierskich składających się często z dziesiątek, czy nawet setek elementów konstrukcyjnych.

Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji (ang. *SHM*), a w szczególności metody identyfikacji uszkodzeń są aktywnym obszarem badań od ponad 30 lat, powstałym jako odpowiedź środowiska naukowego na potrzebę prognozowania żywotności starzejącej się infrastruktury lądowej (*Rucka i Wilde, 2015*). Istniejące techniki badań nieniszczących (ang. *NDT*), które stosowane są obecnie do oceny stanu technicznego konstrukcji charakteryzują się tym, iż działają na nieznacznym, w stosunku do wymiarów całej konstrukcji obszarze, a stąd wymagają *a priori* znajomości lokalizacji uszkodzenia. Jest to znaczne ograniczenie, szczególnie w przypadku konstrukcji dużej skali takich jak mosty, czy wieże telekomunikacyjne.

W celu pokonania wyżej wymienionych ograniczeń technik nieniszczących zaproponowano nową klasę metod, które określa się dziś jako metody globalne (*Stepinski i in. 2013*). W metodach tych identyfikacja uszkodzeń odbywa się poprzez wzbudzenie niskoczęstotliwościowych drgań konstrukcji. Metody te dalej można sklasyfikować jako bazujące na parametrycznym modelu rozpatrywanej konstrukcji oraz wykorzystujące jedynie dane pomiarowe. Powodem, dla którego te ostatnie nie są szczególnie atrakcyjne w przypadku konstrukcji inżynierskich jest fakt, iż wymagają one uprzednio zgromadzenia obszernej bazy danych dla poszczególnych przypadków uszkodzenia badanej struktury. Oczywiście metody bazujące na modelu również posiadają swoje wady, a największą z nich jest konieczność znajomości dobrze skalibrowanego modelu konstrukcji w celu efektywnego wykrywania uszkodzeń. Pełny przegląd niskoczęstotliwościowych metod identyfikacji uszkodzeń został przedstawiony w pracy (*Worden i Friswell, 2009*).

Metody, którymi znajdowałem się w swojej pracy badawczej, i które są opisane w tym opracowaniu, również należą do grupy metod identyfikacji uszkodzeń bazujących na parametrycznym modelu konstrukcji. Zostały one opracowane, ponieważ pomimo 30 lat historii rozwoju technologii monitorowania stanu konstrukcji, wciąż pozostaje szereg otwartych kwestii, które należy uprzednio rozwiązać przed wprowadzeniem jej do praktyki inżynierskiej. Te problematyczne kwestie nieodłącznie związane z każdą niskoczęstotliwościową metodą identyfikacji uszkodzeń wynikają z trzech następujących aspektów technicznych: a) charakteru najbardziej prawdopodobnego scenariusza uszkodzenia, b) ograniczonym zakresie częstotliwości wymuszenia, i wreszcie c) niepełnej informacji o dynamicznej odpowiedzi konstrukcji (zależnej od rodzaju i typu rozmieszczonych czujników).

Dodatkowo, miejscowe uszkodzenie, które często występuje w połączeniach konstrukcyjnych lub trudno dostępnych elementach, może nie zostać wykryte przez niewłaściwie rozmieszczoną sieć czujników pomiarowych.

Aspekt a) uwzględniany jest przez właściwą charakteryzację przewidywanego typu uszkodzenia. Gdy taki typ uszkodzenia zostanie scharakteryzowany, opracowany zwykle zostaje odpowiadający mu model mechaniczny wyznaczający ostateczną parametryzację uszkodzenia. Parametryzację taką rozważać można na trzech poziomach szczegółowości. Pierwszy z nich opisuje uszkodzenie na najbardziej zgrubnym poziomie określanym dla całego elementu lub fragmentu konstrukcji. Taki typ opisu uszkodzenia zastosowano w publikacjach [A1, A3, A5, A7]. Drugi poziom jest bardziej szczegółowy i w przypadku omawianych tu konstrukcji prętowych odnosi się do poszczególnych przekrojów pręta lub miejsca, w którym występuje połączenie konstrukcyjne. Ten rodzaj opisu do modelowania uszkodzeń w połączeniach śrubowych zastosowano w pracach [A2, A4, A6]. Wreszcie najbardziej precyzyjny jest poziom trzeci, dotyczący poszczególnych włókien przekroju, który opisuje lokalne zachowanie materiału w wybranym punkcie przekroju poprzecznego elementu (*Ebrahimian i in.*, 2015). Interesujący przegląd metod modelowania uszkodzeń typu pęknięcie czy delaminacja przedstawiony zostały w pracy (*Ostachowicz i Krawczuk*, 2001).

Aspekt b) jest najbardziej problematyczny, ponieważ w przypadku monitorowania stanu technicznego i identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach inżynierskich do pobudzania bardzo często wykorzystuje się obciążenia eksploatacyjne (tj. oddziaływanie wiatru w przypadku wysokich konstrukcji wieżowych, czy też ruch pojazdów w przypadku mostów). Jeżeli takie pobudzenie nie dostarcza dostatecznych informacji o stanie technicznym, wymagane może być zastosowanie dodatkowego obciążenia diagnostycznego, które wiąże się zwykle z dodatkowymi kosztami.

Ostatni z omawianych aspektów c) odnosi się do jakości informacji dostarczanej przez sygnały pomiarowe i ich wpływu na identyfikowalność uszkodzeń. W przypadku niewystarczającej informacji sytuacja może być poprawiona poprzez wzbogacenie systemu monitorowania o dodatkową liczbę czujników rozmieszczonych w optymalny sposób, korzystając na przykład z podejścia bazującego na macierzy informacyjnej Fishera utworzonej z macierzy modalnych (*Meo i Zumpano*, 2005). Jednakże jak przedstawiono w pracy [A1] zawsze korzystniejsze jest pobudzenie konstrukcji w szerszym zakresie częstotliwości, aniżeli rozbudowywanie sieci sensorycznej przy pobudzeniu jedynie pierwszych częstotliwości drgań.

Wszystkie z wymienionych powyżej trudności przy identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach inżynierskich zostały szczegółowo przeanalizowane w pracach Autora stanowiących niniejsze osiągnięcie naukowe, a najistotniejsze wnioski z tych prac zostaną przedstawione w kolejnych punktach tego opracowania.

2.3.2 Rozmieszczanie czujników do identyfikacji uszkodzeń z ograniczeniem na rzadkość rozwiązania

W pracy [A1] przedstawiono metodę rozmieszczenia czujników z uwzględnieniem wrażliwości częstotliwości i postaci drgań na przyjętą parametryzację uszkodzenia. Nowatorskość zaprezentowanej w pracy metodologii polega na kompleksowym ujęciu problemu identyfikacji uszkodzeń, gdzie uwzględniono wszystkie trzy aspekty a)-c), omówione szczegółowo w poprzedniej sekcji. Rozważana w pracy parametryzacja uszkodzenia obejmowała poziom elementu i odpowiadała redukcji modułu sprężystości w wybranym pręcie konstrukcji. Należy tutaj jednak wspomnieć, że

przedstawione w pracy [A1] podejście jest uniwersalne i może być stosowane w przypadku bardziej złożonych parametryzacji uszkodzenia.

Następny etap omawianej metodologii polegał na wyznaczeniu pochodnych parametrów modalnych ze względu na przyjęte parametry uszkodzenia. Kolejno, dla tak wyznaczonych pochodnych zaproponowano schemat rozmieszczenia czujników, który preferował miejscach najbardziej wrażliwe na zmianę modułu Younga. W ostatnim etapie wyznaczono lokalizację i wielkość uszkodzenia poprzez zastosowanie optymalizacji z ograniczeniem na rzadkość rozwiązania (tj. *na minimalną liczbę niezerowych parametrów uszkodzenia*). W tym celu wykorzystano dwa algorytmy. Pierwszy z nich bazował na minimalizacji normy ℓ_1 , natomiast drugi wykorzystywał metodę najmniejszych kwadratów z uwzględnieniem jedynie dodatnich zmian parametrów uszkodzenia (ang. *Non-Negative Least Squares: NNLS*).

Oprócz wspomnianych wcześniej trudności, przy rozwiązywaniu zadań identyfikacji dodatkowe problemy sprawiają niedokładności modelowania i błędy pomiarowe. Z tego powodu ważne jest, aby proponowana metoda identyfikacji uszkodzenia była odporna na powyższe błędy. Układ równań rozwiązywany przy identyfikacji uszkodzeń metodami globalnymi przyjmuje znaną postać

$$\Delta \mathbf{b} = \mathbf{S} \Delta \boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

gdzie wektor $\Delta \mathbf{b}$ reprezentuje rozbieżność pomiędzy numerycznymi przewidywaniami a wielkościami mierzonymi, macierz \mathbf{S} charakteryzuje wrażliwość określonej wielkości modalnej na zmianę parametru uszkodzenia, $\Delta \boldsymbol{\theta}$ jest wektorem poszukiwanych parametrów uszkodzenia, i wreszcie wektor $\boldsymbol{\varepsilon}$ reprezentuje błędy pomiarowe i niedokładności modelowania.

W pracy [A1] efektywność zaproponowanej metodologii zweryfikowano na dwóch przykładach numerycznych. Pierwszy z nich dotyczył 61-parametrowego przestrzennego dźwigara kratowego. Błędy pomiarowe zasymulowane zostały na poziomie 5% wielkości mierzonych, natomiast błędy modelowania uwzględniono w zadaniu poprzez zaburzenie odpowiedzi modelu nieuszkodzonego (referencyjnego) poprzez wprowadzenie dodatkowej podpory sprężystej.

Drugi przykład dotyczył rozmieszczania czujników i identyfikacji uszkodzeń na danych zaczerpniętych z literatury a charakteryzujących rzeczywisty 173-metrowej długości most łukowy składający się z 416 stalowych elementów. Symulacje numeryczne prowadzone na powyższych modelach potwierdziły wcześniejsze obserwacje innych badaczy (*Papadimitriou i in.*, 2000), mówiące o tym, że wymuszenie konstrukcji w szerszym spektrum częstotliwości dostarcza większą ilość informacji o uszkodzeniu aniżeli gęstsza sieć sensoryczna przy wąskim zakresie pobudzenia.

2.3.3 Modelowanie uszkodzeń śrubowych połączeń kołnierzowych

W pracy [A2] rozważano scenariusz uszkodzenia polegający na poluzowaniu się jednej lub większej liczby śrub w połączeniu kołnierzowym. Na potrzeby symulacji numerycznych utworzono szczegółowy model elementów skończonych połączenia, z uwzględnieniem takich efektów jak: wstępne sprężenie, kontakt pomiędzy przylegającymi powierzchniami kołnierzy, czy kontakt pomiędzy przeciwległymi powierzchniami kołnierzy a główkami śrub. W wyniku obliczeń wykazano, iż w przypadku osiowego rozciągania połączenia kołnierzowego w śrubach powstają dodatkowe siły wewnętrzne powodowane tak zwanym *efektem dźwigni*. Co więcej, oprócz wzdłużnej deformacji śrub, zaobserwowano dodatkowe deformacje wynikające ze zginania a spowodowane odkształceniem się blach

kołnierzowych. Efekt ten uwidocznił się jeszcze bardziej, gdy analizowano stosunkowo cienkie blachy kołnierzowe o grubości poniżej 20 mm.

Druga część pracy [A2] dotyczyła praktycznych aspektów modelowania i agregacji nieliniowego modelu śrubowego połączenia kołnierzowego z modelem pojedynczej sekcji kratowej wieży telekomunikacyjnej. W tym celu zaproponowano model połączenia ze zredukowaną liczbą stopni swobody. W wyniku redukcji pozostawiono jedynie stopnie swobody odpowiadające za nieliniowe zachowanie połączenia. Powierzchnie kontaktowe zastąpiono przez pary węzłów kontaktowych. Następnie liniową część modelu, odnoszącą się do wewnętrznych stopni swobody kołnierzy, zredukowano przy użyciu znanej w mechanice kondensacji statycznej. Ostatni etap redukcji modelu obliczeniowego polegał na zastąpieniu bryłowych modeli śrub przez równoważne pod względem sztywności sprężyny translacyjne. Ostatecznie wyznaczono odpowiedź całej konstrukcji, której model obliczeniowy zagregowano przy użyciu zredukowanego modelu połączenia kołnierzowego i prętowego modelu sekcji kratowej.

2.3.4 Wykrywalność uszkodzeń w śrubowych połączeniach zakładkowych

W pracy [A4] przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań prowadzonych na wykonanej w skali laboratoryjnej konstrukcji ramowej. Celem badań było przeprowadzenie studium możliwości wykrycia i zlokalizowania połączenia zakładkowego z poluzowaną śrubą. Badania przeprowadzono w laboratorium Zakładu Technologii Inteligentnych Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. W trakcie kampanii eksperymentalnej dwukrotnie przeprowadzono testy drganiowe z użyciem młotka modalnego w celu identyfikacji częstotliwości i postaci drgań badanej konstrukcji. Pierwsza grupa testów prowadzona była dla konstrukcji o połączeniach z dokręconym pełnym zestawem trzech śrub, co stanowiło model referencyjny, rozumiany tutaj jako konstrukcja bez uszkodzenia. Kolejną grupę testów przeprowadzono na konstrukcji, w której w wybranym połączeniu poluzowana została jedna śruba. Obydwie z wyżej wymienionych grup testów eksperymentalnych przeprowadzono także przy różnych konfiguracjach aparatury pomiarowej. Początkowo wykorzystywano jedynie sześć akcelerometrów rozmieszczonych w węzłach badanej ramy. Po analizie danych pomiarowych okazało się, że żadna z sześciu zidentyfikowanych par częstotliwości drgań i odpowiadających im postaci drgań nie wykazywała żadnej zmiany powodowanej przez defekt. Potwierdziło to tezę przedstawioną we Wprowadzeniu (punkt 2.3.1), mówiącą o tym, że zbyt rzadko lub niewłaściwie rozmieszczona sieć sensoryczna nie jest w stanie wykryć zmian w odpowiedzi konstrukcji powodowanych przez miejscowe uszkodzenia. Powyższe względy sprawiły, iż testy eksperymentalne powtórzono z dodatkowym zestawem akcelerometrów, zwiększając ich liczbę do 20. Dodatkowe czujniki zostały umieszczone w pośrednich punktach znajdujących się wzdłuż długości belek tworzących ramę. Eksperyment powtórzony z gęstą siecią sensoryczną wykazał oznaki uszkodzenia. Po analizie funkcji odpowiedzi częstotliwościowej (ang. *FRF*) stwierdzono jednak, że jedynie pewne wyższe częstotliwości są wrażliwe na poluzowanie śrub w połączeniu. Były to częstotliwości powyżej 100 Hz to jest powyżej 10-tej częstotliwości własnej układu.

Druga część pracy [A4] była poświęcona badaniom numerycznym wpływu lokalnego uszkodzenia połączenia na globalne zachowanie konstrukcji ramowej. W tym celu stworzono uproszczony model numeryczny konstrukcji badanej w laboratorium. Model numeryczny składał się z układu dwóch prostopadle ustawionych belek o prostokątnym przekroju poprzecznym, złączonych na końcu za pomocą rotacyjnej sprężyny. W modelu tym poluzowanie śruby symulowano poprzez zmianę sztywności sprężyny. Numeryczne wyniki potwierdziły obserwacje eksperymentalne. Dodatkowo wykazano, że jedynie wybrane, symetryczne postacie drgań takiego układu belek są wrażliwe na

uszkodzenia, i to tylko w pewnym zakresie zmian sztywności. Zakres ten odpowiadał zachowaniu połączenia podatnego (ang. *semi-rigid connection*). Wynikał stąd ważny wniosek, że w pozostałych przypadkach, mała zmiana sztywności obrotowej połączenia, będzie trudno wykrywalna przy użyciu systemu identyfikacji bazującego na niskoczęstotliwościowych drganiach.

2.3.5 Miejscowe kryteria lokalizacji uszkodzeń w konstrukcjach szkieletowych

Trzy z moich prac [A3, A5, A7] dotyczą problemu lokalizacji uszkodzeń w konstrukcjach szkieletowych przy użyciu metod bazujących na kryteriach miejscowych. Metody takie, podobnie jak metody globalne bazujące na analizie wrażliwości opisanej w podrozdziale 2.3.2, zakładają, że uszkodzenie jest sparametryzowane na poziomie elementu i również działają w zakresie niskich częstotliwości. W przeciwieństwie jednak do metod globalnych, wymagają rozmieszczenia na konstrukcji gęstej sieci sensorycznej i zamiast częstości drgań do lokalizacji uszkodzeń wykorzystują kryteria miejscowe, którymi są lokalna krzywizna w przypadku elementów zginanych oraz osiowe odkształcenie w przypadku elementów rozciąganych.

W pracy [A5] do lokalizacji obszarów o zmniejszonej sztywności w układzie belkowym zaproponowany został stosunkowo prosty, ale praktyczny pomysł bazujący na pomiarze zmian krzywizny pomiędzy zdrową i uszkodzoną konstrukcją. W odróżnieniu jednak od stosowanych w literaturze metod bazujących na zmianach krzywizny modalnej, w tym podejściu krzywizna określona została bezpośrednio na podstawie mierzonych sygnałów przyspieszeń dla dwóch sąsiadujących czujników. Pomysł początkowo testowany na przykładach numerycznych, po uzyskaniu obiecujących wyników został zweryfikowany eksperymentalnie na dwóch stanowiskach pomiarowych. Pierwsze stanowisko dotyczyło wspornikowo utwierdzonego w podłożu układu ramowego typu *shear-building* i zostało utworzone na *Uniwersytecie Illinois w Urbana-Champaign, USA*. Drugie stanowisko składało się z belki swobodnie podpartej wykonanej w sposób umożliwiający modyfikację sztywności wybranych przekrojów. Stanowisko to zostało wykonane na *Politechnice w Dalian, Chiny*, a zaproponowany w pracy [A5] wskaźnik uszkodzenia okazał się odporny na błędy pomiarowe i dodatkowe nieznanne wymuszenia.

W przypadku bardziej złożonych układów konstrukcyjnych, jakim są przestrzenne konstrukcje kratowe, pomiar krzywizny wzdłuż rozpiętości może okazać się niewystarczający do identyfikacji uszkodzonych elementów pionowych, czy diagonalnych, tak zwanych słupków i krzyżulców. Z tego powodu do celów identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach kratowych zaproponowano dwie kolejne metody należące do grupy metod wykorzystujących kryteria miejscowe.

Pierwsza z nich została przedstawiona w pracy [A7] i bazowała na metodzie wektorów lokalizujących uszkodzenie (ang. *Damage Locating Vectors – DLV*), która wyznacza uszkodzony obszar konstrukcji przy pomocy różnicy macierzy podatności zidentyfikowanej eksperymentalnie dla konstrukcji przed i po uszkodzeniu. Podejście zaproponowane w pracy [A7] różniło się jednak od oryginalnego algorytmu sposobem wyznaczania jądra macierzy podatności. Zamiast stosowanego powszechnie rozkładu względem wartości szczególnych (ang. SVD) w naszym podejściu wykorzystywany został wariant rozkładu QR (tj. rozkładu na macierz ortogonalną i trójkątną górną) ujawniający rząd badanej macierzy podatności (ang. *RRQR*). Numeryczne symulacje zweryfikowano eksperymentalnie na stanowisku wyposażonym w przestrzenną kratownicę typu Bailey'a. Stanowisko to znajduje się na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki w Dalian, Chiny.

Druga z zaproponowanych metod lokalizacji uszkodzeń w konstrukcjach kratowych została przedstawiona w pracy [A3]. Wykorzystuje ona zaczerpniętą ze statyki konstrukcji obserwację

mówiącą, że siły wewnętrzne w prętach konstrukcji statycznie wyznaczalnej nie zależą od pól przekrojów poszczególnych prętów. Odpowiednio zmodyfikowana metoda drganiowa, bazująca na powyższym założeniu, została przetestowana eksperymentalnie na kratownicy typu Howe, będącej na wyposażeniu Laboratorium Technologii Struktur Inteligentnych na Uniwersytecie Illinois w Urbana-Champaign. Przy pomocy mierzonych dwukierunkowo przyspieszeń węzłów powyższej kratownicy wyznaczone zostały uśrednione w czasie osiowe odkształcenia prętów, a następnie oceniony stopień degradacji sztywności poszczególnych elementów kratowych.

Podobnie jak w poprzednim w przypadku metoda została przetestowana, również na kratownicy typu Bailey na Politechnice w Dalian. Ostatecznie, metoda została opatentowana przez profesora Yonghui An w *Chińskim Urzędzie Patentowym*.

3 POZOSTAŁY DOROBEK I OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE

3.1 Ogólna charakterystyka działalności naukowej

3.1.1 Przed doktoratem

Moja działalność naukowa przed doktoratem koncentrowała się głównie wokół problematyki predykcyjnego sterowania drganiami masztów z odciągami. W tym okresie byłem stypendystą Wspólnoty Walońskiej i miałem możliwość odbycia trzymiesięcznego stażu w *Laboratorium Aktywnych Konstrukcji* kierowanego przez profesora Andre Preumont. W trakcie mojego pobytu w Belgii nabyłem teoretyczną i praktyczną wiedzę odnośnie scentralizowanych i zdecentralizowanych strategii sterowania, która pomogła mi po powrocie do Polski w opracowaniu własnego algorytmu aktywnego sterowania drganiami 300-metrowego masztu podanego dynamicznym oddziaływaniami wiatru. Algorytm ten został szczegółowo opisany mojej pracy doktorskiej, której obrona odbyła się w 2005 roku w IPPT PAN. Dodatkowo wyniki mojej pracy nad doktoratem opublikowane zostały w czasopiśmie *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* [B1] i zaprezentowane kilkakrotnie na różnych konferencjach naukowych [C1,C2,C12,C13].

3.1.2 Po doktoracie

Od 2005 roku moje zainteresowania naukowe dotyczą szeroko rozumianej dynamiki konstrukcji obejmując nie tylko strategie sterowania drganiami (opisane w poprzednim punkcie), metody identyfikacji uszkodzeń (przedstawione jako główne osiągnięcie naukowe), ale również taką tematykę jak interakcja pieszy-konstrukcja, czy optymalizacja topologiczna konstrukcji.

3.1.3 Pół-aktywne strategie sterowania drganiami

Oprócz moich prac dotyczących aktywnego sterowania drganiami, które były tematem mojego doktoratu, a ostatnio publikacji dotyczącej sterowania sejsmicznie pobudzonym wysokim budynkiem przy użyciu sztucznych sieci neuronowych [B2], zacząłem również pracować w obszarze sterowania pół-aktywnego. Pomysł, zainicjowany przez profesora Holnickiego, początkowo wykorzystywany był do tłumienia drgań poprzez transfer energii mechanicznej w wyższe częstotliwości, a realizowany przez blokowanie i zwalnianie w kontrolowany sposób połączeń pomiędzy prętami, wpływając tym samym na dynamiczną odpowiedź konstrukcji. Aktualnie, wspólnie w grupie z doktorem habilitowanym Łukaszem Jankowskim oraz doktorantem, dla którego pełnię funkcję opiekuna pomocniczego, pracujemy nad możliwościami zastosowania tej idei do odzyskiwania energii z drgających układów mechanicznych [C25]. Nasza modyfikacja polega na wykorzystywaniu sprzężeń

modalnych i chwilowej maksymalizacji transferu energii pomiędzy wybraną postacią drgań a częstotliwością najbardziej korzystną dla wybranego układu odzyskiwania energii.

3.1.4 Dynamiczna interakcja pieszych z deformacją mostów

Od momentu kiedy w 2000 roku nadmierne drgania poprzeczne uniemożliwiły eksploatację nowo otwartej kładki Milenijnej w Londynie (ang. *Millenium Bridge*), więcej uwagi zaczęto poświęcać problemowi dynamicznej interakcji pierwszych z drgającym mostem (*Strogatz i in.*, 2005). To nieprzewidziane przez projektantów kładki Milenijnej zjawisko należy do problemów dynamicznych nie do końca dobrze poznanych. Jest ono jednak istotne i w przypadku niewłaściwego projektowania może powodować problemy związane z użytecznością tego typu konstrukcji.

Moje badania w tej dziedzinie obejmują prace opisujące ruch człowieka w trakcie chodu [*Ortiz i in.*, 2017] oraz wpływu ruchu pieszych na dynamiczną deformację mostów [C22]. Wspólnie z partnerami ze Stanów Zjednoczonych i Kolumbii, jestem autorem numerycznego modelu pozwalającego na oszacowanie odpowiedzi dynamicznej kładki wywołanej ruchem pieszych [C9].

3.1.5 Optymalizacja topologiczna konstrukcji

Moje dwie pierwsze prace dotyczące optymalizacji konstrukcji zostały napisane w czasie, gdy współpracowałem z profesorem Witoldem Gutkowskim nad dyskretnymi metodami optymalizacji konstrukcji szkieletowych (a dokładniej problemem optymalnego doboru pól przekrojów prętów). W pierwszej z nich [B6] do zaprojektowania konstrukcji o minimalnym ciężarze zaproponowana została bardzo prosta i praktyczna metoda pozwalająca na usuwanie nadmiarowego materiału z miejsc słabo wyciążonych.

W drugiej pracy [B5] zaproponowana przez nas mieszana dyskretno-ciągła metoda optymalizacyjna miała na celu rozwiązywanie zadań dużej skali, w których konstrukcje wykonane są z dużej liczby elementów, lub grup elementów, dobieranych ze znacznych rozmiarów katalogów dostępnych przekroji. Artykuł ten był rezultatem naszych prac w dwóch grantach kierowanych przez profesora Gutkowskiego: "*Dyskretna optymalizacja konstrukcji sterowana zmiennymi stanu*" oraz "*Hybrydowa metoda optymalizacji dyskretny w dynamice konstrukcji*".

W ostatnim okresie, moja aktywność badawcza w obszarze optymalizacji konstrukcji, skierowała się w stronę poszukiwania konstrukcji o minimalnym ciężarze przy użyciu metod optymalizacji topologicznej. Jednak w przeciwieństwie to bardzo popularnej obecnie metody SIMP (ang. *Solid Isotropic Material with Penalization*) bazującej na minimalizacji podatności przy ograniczeniu na objętość materiału (*Bendsoe i Sigmund*, 2004) w moim podejściu minimalizowany jest ciężar przy ograniczeniu na dopuszczalne naprężenie. Dodatkowo, zakłada się, że materiał jest sprężysto-plastyczny, a nie liniowo sprężysty. Do rozwiązywania zagadnień plastycznych wykorzystywany jest *algorytm powrotnego mapowania* (ang. *return mapping*) (*de Souza Neto i in.*, 2008). Prace związane z optymalizacją topologiczną konstrukcji realizowane są w ramach współpracy pomiędzy Polską i Węgierską Akademią Nauk, a ze strony węgierskiej koordynowane są przez profesora Janosa Logo z Politechniki Budapesztańskiej. Wariant opracowanej przez nas metody, dotyczącej optymalizacji konstrukcji poddanej stochastycznym obciążeniom, został opublikowany w rozdziale monografii wydanej po konferencji poświęconej optymalizacji inżynierskiej EngOpt2018 [*Blachowski i in.*, 2019].

3.2 Lista publikacji w porządku chronologicznym

(bez publikacji wymienionych jako osiągnięcie naukowe – lista A punkt 2.2)

Lista publikacji z bazy *Journal Citation Reports*

Przed doktoratem lub w wyniku doktoratu

- B1. **Błachowski B.**, *Model based predictive control of guyed mast vibration*,
[Journal of Theoretical and Applied Mechanics, vol.45, no.2, pp.405-423](#), **2007**
Impact Factor: **0.178 (Q4)** nadany w 2009; liczba cytowań: **9**

Po doktoracie

- B2. **Błachowski B.**, Pnevmatikos N.,
Neural network based vibration control of seismically excited civil structures,
[Periodica Polytechnica Civil Engineering, vol.62, no.3, pp.620-628](#), **2018**
Impact Factor: **0.636 (Q4)**; liczba cytowań: **0**
- B3. **Błachowski B.**, Tazowski P., Lógó J.,
Modal Approximation Based Optimal Design of Dynamically Loaded Plastic Structures,
[Periodica Polytechnica Civil Engineering, vol.61, no.4, pp.987-992](#), **2017**
Impact Factor: **0.636 (Q4)**; liczba cytowań: **0**
- B4. **Błachowski B.**, Gutkowski W.,
Graph based discrete optimization in structural dynamics,
[Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, vol.62, no.1, pp.91-102](#), **2014**
Impact Factor: **0.914 (Q3)**; liczba cytowań: **3**
- B5. **Błachowski B.**, Gutkowski W.,
A hybrid continuous-discrete approach to large discrete structural problem,
[Structural And Multidisciplinary Optimization, vol.41, no.6, pp.965-977](#), **2010**
Impact Factor: **1.528 (Q2,Q1,Q2)**; liczba cytowań: **5**
- B6. **Błachowski B.**, Gutkowski W.,
Discrete structural optimization by removing redundant material,
[Engineering Optimization, Vol.40, No.7, pp.685-694](#), **2008**
Impact Factor: **0.900 (Q2,Q2)**; liczba cytowań: **7**

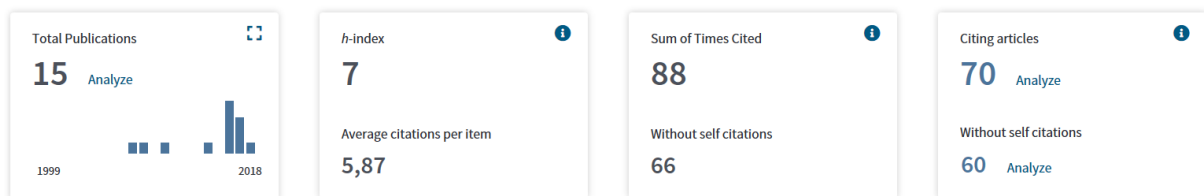
Lista pozostałych publikacji po doktoracie

- B7. **Błachowski B.**, Gutkowski W.,
Minimum weight design of composite floors under human induced vibrations,
[Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, vol.XXXI, no.61, pp.5-14](#), **2014**
- B8. **Błachowski B.**, Gutkowski W.,
Dyskretna optymalizacja konstrukcji sterowana zmiennymi stanu,
[Modelowanie Inżynierskie, ISSN: 1896-771X, vol.36, pp.27-34](#), **2008**

- B9. **Błachowski B.**,
Identyfikacja obciążeń dynamicznych przy ograniczonej liczbie czujników,
[Modelowanie Inżynierskie, ISSN: 1896-771X, vol.33, pp.19-26, 2007](#)

3.3 Sumaryczne dane bibliograficzne

- Liczba wszystkich publikacji z bazy *Web of Science*: **15** (przy czym **1** opublikowana w wyniku pracy nad doktoratem i **14** opublikowanych po doktoracie)
- Sumaryczny *Impact Factor*: **22.879**
- Liczba cytowań: **88**
- Liczba cytowań bez autocytowań: **66**
- h-index: **7**



ResearcherID: [P-9583-2016](#)

3.4 Monografie i rozdziały w monografiach

(tylko po doktoracie)

- **Błachowski B.**, Tazowski P., Logo J., [Elasto-Plastic Topology Optimization Under Stochastic Loading Conditions](#). In: Rodrigues H. et al. (eds) EngOpt 2018 Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Optimization. EngOpt 2018. Springer, Cham, **2019**.
- Ortiz A.R., **Błachowski B.**, Holobut P., Franco J.M., Marulanda J., Thomson P., [Modeling and Measurement of a Pedestrian's Center-of-Mass Trajectory](#). In: Caicedo J., Pakzad S. (eds) Dynamics of Civil Structures, Volume 2. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer, Cham, **2017**.
- Jankowski Ł., Sekuła K., **Błachowski B.**, Wikło M., Holnicki-Szulc J., [Smart technologies for safety engineering](#), chapter: Dynamic load monitoring, Wiley, Holnicki-Szulc J. (Ed.), pp.105-151, **2008**.

3.5 Opublikowane prace i abstrakty konferencyjne

Prace konferencyjne

Przed doktoratem

- C1. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *Optimal vibration control of guyed masts*,
ICTAM XXI - 21st International Congress of Theoretical and Applied Mechanics,
2004-08-15/08-21, Warszawa (PL), pp.SM3-10457, **2004**

C2. **B. Blachowski**, *Model Predictive Control of Guyed Masts Vibrations*, 5th EUROMECH Nonlinear Dynamics Conference ENOC 2005, 2005-08-07/08-12, Eindhoven (NL) MS 5:05-185, pp.1-9, **2005**

Po doktoracie

C3. Gutkowski W., **Błachowski B.**, *Revised assumptions for monitoring and control of 3D lattice structures*, 11th Pan-American Congress of Applied Mechanics, 2010-01-04/01-08, Paraná (BR), pp.PAC0366-59, **2010**

C4. Ruiz Sandoval Hernández M.E., **Błachowski B.**, Spencer Jr. B.F., *Uso de sensores inalámbricos en la obtención de parámetros modales*, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 2012-10-31/11-03, Acapulco (MX), pp.1-10, **2012**

C5. An Y., **Błachowski B.**, Ou J., *Numerical study on LDL^T decomposition-based damage locating vector method for truss structures*, PLSE 2015 - 2nd International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering, 2015-12-09/12-11, Brisbane (AU), pp.256-260, **2015**

C6. **Błachowski B.**, Gutkowski W., Wiśniewski P., *Reduced order model of circular flange-bolted connection and its application to dynamic substructuring of telecommunication towers*, COMPDYN 2015, 5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2015-05-25/05-27, Crete Island (GR), pp.C1504-1-12, **2015**

C7. **Błachowski B.**, Świercz A., Pnevmatikos N., *Experimental verification of damage location techniques for frame structures assembled using bolted connections*, COMPDYN 2015, 5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2015-05-25/05-27, Crete Island (GR), pp.C1511-1-12, **2015**

C8. **Błachowski B.**, An Y., Spencer Jr. B.F., *Substructure-level based method for damage quantification in determinant trusses*, ISMA 2016 / USD 2016, International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, 2016-09-19/09-21, Leuven (BE), pp.3283-3294, **2016**

C9. **Błachowski B.**, Hołobut P., Ortiz A., Caicedo J.M., *Simple human-structure interaction model of walking on a flexible surface*, ISMA 2016 / USD 2016, International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, 2016-09-19/09-21, Leuven (BE), pp.559-570, **2016**

C10. **Błachowski B.**, Tauzowski P., Logo J., *Stress intensity driven topology optimization for morphogenesis of 3D elastoplastic structures*, LSCE 2018, XXIV LIGHTWEIGHT STRUCTURES IN CIVIL ENGINEERING - International Seminar Organized by Polish Chapters of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2018-12-07/12-07, Łódź (PL), pp.22-26, **2018**

C11. **Błachowski B.**, Świercz A., Jankowski Ł., *Virtual Distortion Method based optimal sensor*

placement for damage identification, ISMA 2018 / USD 2018, International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, 2018-09-17/09-19, Leuven (BE), pp.3815-3824, **2018**

Abstrakty konferencyjne

Przed doktoratem

- C12. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *„Vibration control of masts with tendons”*, SolMech 2002- 34th Solid Mechanics Conference, 2002-09-02/09-07, Zakopane (PL), **2002**
- C13. **Błachowski B.**, *„Predykcijny algorytm optymalnego sterowania drganiami masztów z odciągami”*, XLIV Sympozjon Modelowanie w Mechanice, 2005-02-27/03-03, Wisła (PL), **2005**

Po doktoracie

- C14. **Błachowski B.**, Gutkowski W., Iwanow Z., *„An effective algorithm for discrete optimization with static and dynamic constraints”*, 35th Solid Mechanics Conference, 2006-09-04/09-08, Kraków (PL), **2006**
- C15. **Błachowski B.**, *„Identyfikacja obciążeń dynamicznych przy ograniczonej liczbie czujników”*, XLVI Sympozjon „Modelowanie w mechanice”, 2007-02-26/03-02, Wisła (PL), **2007**
- C16. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *„Robust Discrete Optimization for Structural Dynamics”*, 17th International Conference on Computer Methods in Mechanics, 2007-06-19/06-22, Łódź-Spała (PL), **2007**
- C17. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *A Hybrid Continuous-Discrete Approach to Large Discrete Structural Optimization Problems*, SolMech 2008, 36th Solid Mechanics Conference, 2008-09-09/09-12, Gdańsk (PL), pp.368-369, **2008**
- C18. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *„Stochastyczna optymalizacja dyskretna sterowana zmiennymi stanu”*, XLVII Sympozjon „Modelowanie w mechanice”, 2008-02-25/02-29, Wisła (PL), **2008**
- C19. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *„Graph based algorithm to large structural optimization problems”*, WCSMO-8, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, 2009-06-01/06-05, Lisbon (PT), **2009**
- C20. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *Verification of assumptions in dynamics of lattice structures*, SolMech 2010, 37th Solid Mechanics Conference, 2010-09-06/09-10, Warszawa (PL), pp.284-285, **2010**
- C21. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *Discrete optimization of structures subjected to dynamic loads using graph representation*, CMM 2011, 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics, 2011-05-09/05-12, Warszawa (PL), pp.054-1-2, **2011**
- C22. **Błachowski B.**, Gutkowski W., Wiśniewski P., *Dynamic substructuring approach for human induced vibration of a suspension footbridge*, PCM-CMM 2015, 3rd Polish Congress of Mechanics and 21st Computer Methods in Mechanics, 2015-09-08/09-11, Gdańsk (PL), pp.307-308, **2015**

- C23. **Błachowski B.**, Gutkowski W., *Lagrangian dynamics based approach for 3D modelling of human gait*, CMM 2017, 22nd International Conference on Computer Methods in Mechanics, 2017-09-13/09-16, Lublin (PL), pp.MS09-33-MS09-34, **2017**
- C24. Tazowski P., **Błachowski B.**, Logo J., *Stress constrained structural topology optimization with functor-oriented finite element implementation*, Workshop on Semidefinite Programming: Theory and Applications, 2018-10-19/10-19, Edinburgh (GB), pp.1, **2018**
- C25. Ostrowski M., **Błachowski B.**, Jankowski Ł., Pisarski D., *Semi-Active Control of Mechanical Energy Transfer Between Vibrational Modes*, SolMech 2018, 41st SOLID MECHANICS CONFERENCE, 2018-08-27/08-31, Warszawa (PL), No.P136, pp.408-409, **2018**
- C26. Tazowski P., **Błachowski B.**, Lógó J., *Functor-Oriented Finite Element Programming with Application to Structural Topology Optimization*, SolMech 2018, 41st SOLID MECHANICS CONFERENCE, 2018-08-27/08-31, Warszawa (PL), No.P076, pp.490-491, **2018**
- C27. **Błachowski B.**, Tazowski P., Logo J., *Topology optimization of elastoplastic structures: Stress intensity driven formulation and functor-oriented implementation*, CST2018, 13th International Conference on Computational Structures Technology, 2018-09-04/09-06, Barcelona (ES), No.0090, pp.1-3, **2018**

3.6 Referaty osobiście wygłoszone na konferencjach

Miałem przyjemność wygłosić zaproszony referat na następującej konferencji:

LSCE 2018, XXIV LIGHTWEIGHT STRUCTURES IN CIVIL ENGINEERING - International Seminar Organized by Polish Chapters of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2018-12-07/12-07, Łódź (PL), **2018**

Tytuł referatu: ***Stress intensity driven topology optimization for morphogenesis of 3D elastoplastic structures***

Ponadto przedstawiałem wyniki moich prac na następujących konferencjach międzynarodowych:

Przed doktoratem

- **ENOC 2005**, 5th EUROMECH Nonlinear Dynamics Conference, 2005-08-15/08-21, Eindhoven (NL), **2005**
- **ICTAM XXI**, 21st International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 2004-08-15/08-21, Warszawa (PL), **2004**
- **SMART'03**, AMAS - Workshop on Smart Materials and Structures, 2003-09-02/09-05, Jadwisin, (PL), **2003**
- **SolMech 2002**, 34th Solid Mechanics Conference, 2002-09-02/09-07, Zakopane (PL), **2002**

Po doktoracie

- **ISMA 2018** / USD 2018, *International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics*, 2018-09-17/09-19, Leuven (BE), **2018**
- **Workshop on Semidefinite Programming: Theory and Applications**, 2018-10-19/10-19, Edinburgh (GB), **2018**
- **CMM 2017**, 22nd International Conference on Computer Methods in Mechanics, 2017-09-13/09-16, Lublin (PL), **2017**
- **ISMA 2016** / USD 2016, *International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics*, 2016-09-19/09-21, Leuven (BE), **2016**
- **PCM-CMM 2015**, 3rd Polish Congress of Mechanics and 21st Computer Methods in Mechanics, 2015-09-08/09-11, Gdańsk (PL), **2015**
- **COMPdyn 2015**, 5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2015-05-25/05-27, Crete Island (GR), **2015**
- **CMM 2011**, 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics, 2011-05-09/05-12, Warszawa (PL), **2011**
- **PACAM XI**, 11th Pan-American Congress of Applied Mechanics, 2010-01-04/01-08, Paraná (BR), **2010**
- **SolMech 2008**, 36th Solid Mechanics Conference, 2008-09-09/09-12, Gdańsk (PL), pp.368-369, **2008**

3.7 Patenty

Jestem współautorem oryginalnej metody identyfikacji uszkodzeń, która objęta została ochroną patentową w Chińskim Urzędzie Ochrony Własności Intelktualnej:

An Y., **Błachowski B.**, Ou J.,

Wysokiej czułości system monitorowania uszkodzeń konstrukcji w czasie rzeczywistym (*High-damage-sensitivity truss structure damage real-time monitoring system*),

CN, DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Filing No./Date 201610141896/2016-03-10, Filing Publication 105651537A/2016-06-08

Patent Number 201610141896.4, Date of Grant 2018-04-24

3.8 Udział w projektach badawczych

Po doktoracie

- 2018-2021 Narodowe Centrum Badań, projekt ReConf (Opus), 2017/25/B/ST8/01800
Metody dynamicznej rekonfiguracji w zagadnieniach sterowania konstrukcjami: opracowanie nowych algorytmów sterowania i weryfikacja ich efektywności
(*Dynamic structural reconfiguration for structural control: development of new control algorithms and assessment of their efficiency*)
Ł. Jankowski – kierownik projektu, B. Błachowski – główny wykonawca
- Zakres zadań: opracowanie i numeryczna weryfikacja metody sterowania konstrukcją poprzez nakładanie i znoszenie wybranych więzów kinematycznych; opracowanie metody optymalizacji rozmieszczenia czujników dla celów identyfikacji i sterowania konstrukcjami
- 2015-2018 Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (PBS 3, Program Badań Stosowanych, ed. 3)
Moduł pomiaru i oceny odpowiedzi dynamicznej eksploatowanych kolejowych konstrukcji mostowych (*In-service railway bridge structures dynamic response measurement and assessment unit*)
Kierownik projekt: dr hab. inż. Piotr Olszek, prof. IBDiM
Lider konsorcjum: Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Współwykonawcy: Adaptronica sp. z o.o., IPPT PAN,
PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Politechnika Poznańska
- Zakres zadań: Analiza danych pomiarowych z uwzględnieniem zjawisk zmęczenia w konstrukcjach mostowych
- 2011-2015 Narodowe Centrum Nauki, 0494/B/T02/2011/40
Diagnostyka uszkodzeń węzłów w konstrukcjach inżynierskich
(*Diagnostics of joint damage in engineering structures*)
W. Gutkowski – kierownik projektu, B. Błachowski - główny wykonawca
- Zakres zadań: Modelowanie komputerowe konstrukcji z uwzględnieniem podatności węzłów, Planowanie eksperymentów i analiza ich wyników, Budowa algorytmów numerycznych do diagnostyki uszkodzeń węzłów
- 2009-2011 Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 1206/B/T02/2009/36
Hybrydowa metoda optymalizacji dyskretnej w dynamice konstrukcji
(*A hybrid method of discrete optimization in structural dynamics*)
W. Gutkowski - kierownik projektu, B. Błachowski – główny wykonawca
- Zakres zadań: Formalna budowa algorytmów, opracowanie oprogramowania do optymalizacji konstrukcji z wykorzystaniem metody grafowej
- 2005-2008 Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 1636/T07/2005/29
Dyskretna optymalizacja konstrukcji sterowana zmiennymi stanu
(*Discrete structural optimization controlled by state variables*)
W. Gutkowski - kierownik projektu, Z. Iwanow i B. Błachowski – wykonawcy
- Zakres zadań: Sformułowanie zadania dla optymalizacji dyskretnej oraz postaci algorytmu. Przeprowadzenie obliczeń dla przykładowych konstrukcji

Przed doktoratem

2002-2004 Komitet Badań Naukowych (KBN) No. 5T07A00123
Grant promotorski, kierownik projektu: Witold Gutkowski
Optymalne sterowanie drganiami masztów z odciągami
(Optimal vibration control of guyed masts)
B. Błachowski – główny wykonawca

3.9 Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda drugiego stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2017 przyznana przez Dyrektora IPPT PAN, **2018**
- Nagroda drugiego stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2016 przyznana przez Dyrektora IPPT PAN, **2017**
- Nagroda pierwszego stopnia imienia profesora Michała Życzkowskiego przyznana przez Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk, **2010**

3.10 Współpraca międzynarodowa

Od **2017** roku prowadzę wspólne prace badawcze z profesorem **Janosem Logo z Politechniki Budapesztańskiej**. Nasze badania poświęcone są rozwijaniu nowych metod obliczeniowych na potrzeby topologicznej optymalizacji konstrukcji, a prowadzone są w ramach wymiany naukowej pomiędzy Polską i Węgierską Akademią Nauk.

Od **2014** roku pracuję wspólnie z profesorem **Yonghui An z Politechniki w Dalian (Chiny)**. Nasza współpraca naukowa dotyczy opracowywania nowych technik identyfikacji uszkodzeń oraz modyfikacji istniejących metod, w szczególności metody wektorów lokalizujących uszkodzenie (ang. *Damage Locating Vectors method*). Wspólnie z profesorami An i Ou jesteśmy autorami oryginalnej metody identyfikacji uszkodzeń bazującej na pomiarze osiowych przyspieszeń odkształceń, która została opatentowana w Chińskim Urzędzie Patentowym.

Także od 2014 roku prowadzę badania z profesorem **Nikosem Pnevmatikosem** pracującym na **Uniwersytecie Zachodniej Attyki w Atenach**. Tematyka naszych badań obejmuje metody aktywnego i pasywnego zapobiegania niszczącemu skutkom wstrząsów sejsmicznych, jak również monitorowanie stanu konstrukcji inżynierskich przy użyciu metod modalnych i falkowych. Dodatkowo, w wyniku naszych wspólnych starań podpisana została umowa pomiędzy IPPT a grecką uczelnią dotycząca wymiany doktorantów w ramach programu Erasmus+.

Od mojego powrotu, w roku 2012, z półrocznego pobytu na **University of Illinois w Urbana-Champaign**, ściśle współpracuję z profesorem **Billem Spencerem** - kierownikiem Laboratorium Technologii Inteligentnych Konstrukcji (SSTL). Nasza współpraca dotyczy monitorowania stanu technicznego konstrukcji przy użyciu bezprzewodowych sieci sensorycznych.

Od 2015 roku prowadzę wspólne prace z zespołem naukowców z **Uniwersytetu Południowej Karoliny** w USA. W badania kierowanych przez profesora **Juana Caicedo** bierze udział również doktor **Albert Ortiz z Universidad del Norte** w Kolumbii. Nasze wspólne prace poświęcone są lepszemu zrozumieniu interakcji poruszającego się tłumy z dynamiczną odpowiedzią mostu.

3.11 Działalność organizacyjna

Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk

W latach 2007-2010 zostałem zaproszony do udziału w pracach *Sekcji Optymalizacji i Sterowania Komitetu Mechaniki PAN*. Równocześnie, pełniłem funkcję sekretarza technicznego Komitetu, pomagając dr hab. Dolińskiemu w sprawach organizacyjnych.

W 2010 roku zostałem poproszony o pomoc w organizacji Jubileuszu 50-lecia Komitetu, który odbył się w Pałacu Staszica w W-wie w dniu 14 kwietnia.

W 2015 roku zostałem zaproszony do udziału w pracach Komitetu Wyborczego odpowiedzialnego za zorganizowanie wyborów do Komitetu Mechaniki (kadencja 2016-2019). Opracowałem wtedy na potrzeby wyborów autorski elektroniczny system głosowania, który napisany został w języku skryptowym PHP. W wyniku mojego zaangażowania w wybory i wcześniejszą pracę na rzecz Komitetu Mechaniki zostałem wybrany na **Sekretarza Naukowego Komitetu**, a następnie w wyniku głosowania nowo wybranych Członków Komitetu dostałem zaszczytu bycia wybranym na pełnoprawnego członka Komitetu Mechaniki PAN.

W ubiegłym roku na prośbę profesora Jerzego Warmińskiego - *przewodniczącego Sekcji Dynamiki Układów* miałem przywilej współorganizowania jednego z zebrań Sekcji, które odbyło się 25 maja 2018 roku w IPPT PAN w Warszawie.

Międzynarodowe Stowarzyszenie Optymalizacji Konstrukcji i Wielokryterialnej (ISSMO)

Od momentu mojego udziału w ósmej edycji Światowego Kongresu Optymalizacji Konstrukcji (**WCSMO-8**), który odbył się w Lizbonie w 2009 roku, zostałem członkiem tej organizacji.

41-sza Konferencja Mechaniki Ciała Stałego (SolMech2018) i Międzynarodowy Kongres Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (ICTAM2004)

Pełniłem obowiązki **Sekretarza Naukowego** Międzynarodowej Konferencji SolMech2008 - współorganizowanej przez IPPT PAN i Komitet Mechaniki PAN, a która odbyła się w dniach 27-31 sierpnia 2018 w Warszawie. O międzynarodowym charakterze konferencji świadczyć może fakt, że w trakcie konferencji wygłoszono 273 referaty z 28 krajów.

Ponadto, w roku 2004, brałem udział jako *wolontariusz* w organizacji Międzynarodowego Kongresu Mechaniki i Stosowanej (ICTAM 2004).

Komitet Naukowy Polskiego Kongresu Mechaniki PCM-CMM 2019

W ostatnim okresie z olbrzymią przyjemnością przyjąłem zaproszenie do udziału w pracach Komitetu Naukowego połączonych konferencji PCM-CMM 2019 tj. 4-ego Polskiego Kongresu Mechaniki i 23-ej Międzynarodowej Konferencji Metod Komputerowych w Mechanice.

3.12 Działalność popularyzatorska

W maju **2015** roku zostałem poproszony o wystąpienie przed studentami Technologiczno-Edukacyjnego Instytutu w Atenach mające na celu popularyzację problematyki „*Monitorowania Stanu Technicznego Konstrukcji Inżynierskich*”. W trakcie prezentacji przedstawiłem szereg przykładów systemów monitorowania konstrukcji zrealizowanych w Grecji i poza jej granicami.

3.13 Działalność dydaktyczna

W latach 2003-2004 prowadziłem ćwiczenia dla doktorantów IPPT PAN towarzyszące wykładowi profesora Gutkowskiego pt. "**Teoria sterowania i jej zastosowania**" prowadzonego w ramach szkoły

eksperckiej *Smart-Tech Expert Courses*. Celem zajęć było nauczenie doktorantów budowania modeli numerycznych układów mechanicznych oraz projektowania sterowników liniowo-kwadratowych (ang. *LQR*) służących do tłumienia drgań w takich układach.

Jestem również **pomocniczym opiekunem naukowym** doktoranta 2-ego roku pana Mariusza Ostrowskiego. Mgr inż. Ostrowski dołączył do naszego zespołu i pracuje nad doktoratem dotyczącym pół-aktywnego sterowania przepływem energii w drgających układach mechanicznych.

3.14 Udział w pracach redakcji czasopism i recenzowanie prac

Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences

Od 2016 roku pełnię obowiązki Redaktora działowego (dział: *Inżynieria mechaniczna*) w czasopiśmie *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, wydawanego przez Wydział IV Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk. Biuletyn jest recenzowanym czasopismem wydawanym w formie zarówno elektronicznej (<http://journals.pan.pl/bpas>), jak i papierowej. Ukazują się w nim oryginalne prace z zakresu szeroko rozumianej inżynierii. *Impact faktor* czasopisma za rok 2018 wynosi 1.361.

Recenzowanie artykułów zgłaszanych do czasopism z listy JCR

Według bazy danych *Publons* (*Publons* jest częścią *Web of Science* i stworzony został w celu gromadzenia aktywności uczonych w roli Recenzentów) i danych umieszczonych na moim profilu w tej bazie (dostępnym pod adresem <http://publons.com/researcher/1611593/bartlomiej-blachowski/>) wykonałem 42 recenzje dla następujących renomowanych czasopism z listy JCR:

Bartłomiej BLACHOWSKI

Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences

ResearcherID: P-9583-2016

ORCID: 0000-0001-6021-0374

PUBLICATIONS	TOTAL TIMES CITED	H-INDEX	VERIFIED REVIEWS	VERIFIED EDITOR RECORDS
15	88	7 [Ⓢ]	42	6

(15) *Engineering Structures* – **ELSEVIER**, ISSN: 0141-0296

(8) *Mechanics Based Design of Structures and Machines* – **TAYLOR & FRANCIS**, ISSN: 1539-7734

(4) *Advances in Mechanical Engineering* – **SAGE Publishing**, ISSN: 1687-8140

(4) *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* – **WILEY**, Online ISSN:1467-8667

(3) *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* – **SPRINGER**, ISSN: 1671-3664

(2) *Journal of Constructional Steel Research* – **ELSEVIER**, ISSN: 0143-974X

(2) *Sensors* – **MDPI**, ISSN 1424-8220

(1) *Mathematical Problems in Engineering*- **HINDAWI**, ISSN: 1024-123X

(1) *Measurement* – **ELSEVIER**, ISSN: 0263-2241

(1) *Steel & Composite Structures* – **TECHNO PRESS**, ISSN: 1229-9367

(1) *Symmetry* – **MDPI**, ISSN 2073-8994

4 Bibliografia

- Bendsoe, M.P. and Sigmund, O. (2004). *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications*, 2nd edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-662-05086-6.
- de Souza Neto, E.A., Perić, D., Owen, D.R.J. (2008). *Computational Methods for Plasticity: Theory and Applications*, John Wiley & Sons, doi:10.1002/9780470694626.
- Ebrahimian, H., Astroza, R., and Conte, J. P. (2015), *Extended Kalman filter for material parameter estimation in nonlinear structural finite element models using direct differentiation method*. Earthquake Engng Struct. Dyn., 44, 1495– 1522. doi: 10.1002/eqe.2532.
- Meo, M. and Zumpano, G. (2005). *On the optimal sensor placement techniques for a bridge structure*, *Engineering Structures*, 27(10), 1488-1497, doi: 10.1016/j.engstruct.2005.03.015.
- Ostachowicz, W.M., Krawczuk, M. (2001). *On Modelling of Structural Stiffness Loss Due to Damage*, *Key Engineering Materials*, Vols. 204-205, pp. 185-200.
- Papadimitriou, C., Beck, J. L., Au, S.-K. (2000). *Entropy-Based Optimal Sensor Location for Structural Model Updating*. *Journal of Vibration and Control*, 6(5), 781–800. doi:10.1177/107754630000600508
- Preumont, A. (2018). *Vibration Control of Active Structures: An Introduction*, 4th edition, Springer International Publishing, doi: 10.1007/978-3-319-72296-2.
- Rucka, M., Wilde, K. (2015). *Ultrasound monitoring for evaluation of damage in reinforced concrete*. *Bulletin of The Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* 63(1), 65–75.
- Stepinski, T., Uhl, T., Staszewski, W. (2013). *Advanced Structural Damage Detection: From Theory to Engineering Applications*. ISBN: 978-1118422984, John Wiley & Sons, doi: 10.1002/9781118536148.
- Strogatz, S.H., Abrams, D.M., McRobie, A., Eckhardt, B., Ott, E. (2005). *Crowd synchrony on the Millennium Bridge*, *Nature* 438, 43-44. doi: 10.1038/438043a.
- Worden, K. and Friswell, M. I. (2009). *Modal–Vibration-Based Damage Identification*. In *Encyclopedia of Structural Health Monitoring* (eds Boller, C., Chang, F. and Fujino, Y.). doi: 10.1002/9780470061626.shm013.



Warszawa,