

Białystok, 02.01.2020 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Seweryn
Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej
Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45 C
a.seweryn@pb.edu.pl

Recenzja

osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Bartłomieja Błachowskiego

Tytuł osiągnięcia naukowego: *Identyfikacja uszkodzeń elementów konstrukcyjnych i połączeń śrubowych w przestrzennych konstrukcjach prętowych*

Podstawa opracowania opinii: Pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego (prof. IPPT PAN) z dnia 21.11.2019 r. na podstawie decyzji Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów z dnia 8.11.2019 r.

Przedstawiona poniżej opinia składa się z oceny osiągnięcia naukowego, oceny dorobku naukowego, dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki oraz oceny końcowej.

I. Ocena osiągnięcia naukowego

I.1. Charakterystyka i ogólna analiza osiągnięcia – cel i zakres badań

Dr inż. Bartłomiej Błachowski przedstawił jako swoje osiągnięcie naukowe zatytułowane *Identyfikacja uszkodzeń elementów konstrukcyjnych i połączeń śrubowych w przestrzennych konstrukcjach prętowych* cykl 7 publikacji powiązanych tematycznie w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (w nawiasach podałem Jego udział w przygotowaniu pracy oraz współczynniki wpływu zgodne z rokiem publikacji artykułu wg bazy JCR, a także liczbę cytowań wg bazy Web of Science):

- A1. **Błachowski B.** (2019), Modal sensitivity based sensor placement for damage identification under sparsity constraint, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, (udział 100%, IF=0.636, liczba cytowań: 0);
- A2. **Błachowski B., Gutkowski W.** (2016), Effect of damaged circular flange-bolted connections on behaviour of tall towers, modelled by multilevel substructuring, *Engineering Structures*, vol. 111, pp. 93-103 (udział 90%, IF=2.258, liczba cytowań: 18);

- A3. **Blachowski B.**, An Y., Spencer B.F. Jr., Ou J. (2017), Axial strain accelerations approach for damage localization in statically determinate truss structures, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 32, pp. 304-318 (udział 50%, IF=5.475, liczba cytowań: 7);
- A4. **Blachowski B.**, Swiercz A., Gutkiewicz P., Szelazek J., Gutkowski W. (2016), Structural damage detectability using modal and ultrasonic approaches, *Measurement*, vol. 85, pp. 210-221 (udział 50%, IF=2.359, liczba cytowań: 12);
- A5. An Y., **Blachowski B.**, Ou, J. (2016), A degree of dispersion-based damage localization method, *Structural Control & Health Monitoring*, vol. 23, pp. 176-192 (udział 45%, IF=2.355, liczba cytowań: 10);
- A6. Pnevmatikos N.G., **Blachowski B.**, Hatzigeorgiou G.D., Swiercz A. (2016), Wavelet analysis based damage localization in steel frames with bolted connections, *Smart Structures and Systems*, vol. 18, pp. 1189-1202 (udział 45%, IF=1.382, liczba cytowań: 9);
- A7. An Y., **Blachowski B.**, Zhong Y., Holobut P., Ou J. (2017), Rank-revealing QR decomposition applied to damage localization in truss structures, *Structural Control & Health Monitoring*, vol. 24, no. 2, e1849 (udział 40%, IF=3.622, liczba cytowań: 7).

Należy podkreślić, że w powyższym wykazie jest tylko jedna praca autorska Kandydata. Prace współautorskie mają od 2 do 5 autorów. Natomiast Jego udział w przygotowaniu tych prac wynosił od 40 do 90%. Sumaryczny współczynnik wpływu dla tych prac wyniósł 18.087 (bez podziału na współautorów), a liczba cytowań wg bazy Web of Science – 63, co można uznać za wynik co najmniej zadawalający. Za właściwy uznaję wskazany udział procentowy Habilitanta w publikacjach współautorskich, gdyż bez wątpienia wynika on z zakresu przeprowadzonych przez niego prac przy przygotowaniu artykułów.

Uwzględniając wkład Kandydata w poszczególne publikacje, można stwierdzić, że zasadniczą Jego tematyką w wybranym cyklu prac są metody identyfikacji uszkodzeń w przestrzennych konstrukcjach ramowo-kratownicowych z wykorzystaniem wyników modelowania numerycznego i badań eksperymentalnych dynamicznej odpowiedzi konstrukcji na zadane obciążenie. Problematyka poruszona w wyżej wymienionych pracach ma duże znaczenie, zarówno poznawcze, jak i użytkowe, przede wszystkim przy wykrywaniu i lokalizacji uszkodzeń, rozumianych jako zmiana sztywności lub odkształcenie plastyczne pręta lub poluzowanie śrub w połączeniu, co może mieć istotny wpływ na niezawodną i bezpieczną eksploatację konstrukcji. Przedstawiona tematyka należy do dyscypliny naukowej: *inżynieria mechaniczna* (przede wszystkim *mechaniki*), a w szczególności do specjalności: *dynamika układów mechanicznych* oraz *metody komputerowe mechaniki*.

Zakres badań przedstawionych w cyklu prac powiązanych tematycznie obejmował przede wszystkim:

- metody rozmieszczania czujników do identyfikacji uszkodzeń z uwzględnieniem wrażliwości częstotliwości i postaci drgań na przyjęte parametry uszkodzenia,
- modelowanie numeryczne uszkodzeń w śrubowych połączeniach kołnierzowych,
- badania doświadczalne i modelowanie numeryczne uszkodzeń w śrubowych połączeniach zakładkowych konstrukcji ramowych,
- lokalizacja uszkodzeń w konstrukcjach ramowo-kratownicowych przy użyciu metod bazujących na kryteriach miejscowych.

I.2. Ocena cyklu publikacji naukowych powiązanych tematycznie

Oceniając wybór tematyki przedstawionego cyklu publikacji naukowych oraz zakres badań, uważam, że są one ambitne i o dużym stopniu trudności. Zawierają oryginalne osiągnięcia dr inż. Bartłomieja Błachowskiego, najważniejsze z których omówię poniżej.

Za zasadnicze osiągnięcie Habilitanta uznaję opracowanie metody rozmieszczenia czujników z uwzględnieniem wrażliwości częstotliwości i postaci drgań na przyjęte parametry uszkodzenia. W zaproponowanym podejściu uwzględniono 3 ważne aspekty związane z identyfikacją uszkodzeń z wykorzystaniem metod niskoczęstotliwościowych: charakter najbardziej prawdopodobnego uszkodzenia, ograniczenia w zakresie możliwych częstotliwości wymuszenia oraz niepełną informację o dynamicznej odpowiedzi konstrukcji, która jest mocno zależna od liczby i rodzaju rozmieszczonych czujników, a także sposobu ich rozmieszczenia. Niewłaściwie rozmieszczone czujniki pomiarowe mogą bowiem nie zarejestrować zmian wynikających z powstania lokalnego uszkodzenia, np. w połączeniach konstrukcyjnych lub trudno dostępnych elementach. Przyjęto, że parametr uszkodzenia był zdefiniowany na poziomie elementu oraz że uszkodzenia powodują jedynie spadek sztywności prętów kratownicy przestrzennej, odpowiadający redukcji modułu sprężystości w wybranych prętach konstrukcji. Zaproponowano schemat rozmieszczenia czujników na podstawie wyznaczonych pochodnych parametrów modalnych ze względu na przyjęte parametry uszkodzenia. Czujniki zostały umieszczone w miejscach najbardziej wrażliwych na zmianę sztywności prętów. Lokalizację i wielkość uszkodzenia wyznaczono za pomocą optymalizacji z ograniczeniem na rzadkość rozwiązania. Zastosowano dwa algorytmy: bazujący na minimalizacji normy ℓ_1 oraz wykorzystujący metodę najmniejszych kwadratów z uwzględnieniem jedynie dodatnich zmian parametrów uszkodzenia. Zwrócono uwagę na to, aby proponowana metoda identyfikacji uszkodzenia była odporna na niedokładności modelowania i błędy pomiarowe. Model obliczeniowy został zweryfikowany na podstawie wyników obliczeń numerycznych 61-parametrowego przestrzennego dźwigara kratowego oraz rzeczywistego mostu łukowego o długości 173 metrów, składającego się z 416 stalowych elementów. W pierwszym przypadku przeprowadzono symulację błędów pomiarowych (założonych na poziomie 5% wielkości mierzonych) oraz błędów modelowania (założono zaburzenie odpowiedzi modelu nieuszkodzonego (referencyjnego) poprzez wprowadzenie dodatkowej podpory sprężystej). Symulacje numeryczne potwierdziły to, że wymuszenie konstrukcji w szerszym spektrum częstotliwości dostarcza większą ilość informacji o uszkodzeniu aniżeli gęstsza sieć sensoryczna przy wąskim zakresie pobudzenia.

Ważnym osiągnięciem Kandydata są zaproponowane w Jego pracach modele identyfikacji uszkodzeń w połączeniach śrubowych. Rozważono uszkodzenia polegające na poluzowaniu się jednej lub większej liczby śrub w połączeniu kołnierzowym. Przeprowadzono symulacje numeryczne za pomocą metody elementów skończonych odkształcania połączenia, w których uwzględniono wstępne napięcie śrub, kontakt pomiędzy przylegającymi powierzchniami kołnierzy, czy kontakt pomiędzy przeciwległymi powierzchniami kołnierzy a główkami śrub. Zwrócono uwagę na znany efekt rozciągania i zginania śrub podczas osiowego rozciągania połączenia kołnierzowego, spowodowane odkształceniem się blach kołnierzowych. Nieliniowy model śrubowego połączenia kołnierzowego połączono z modelem pojedynczej sekcji kratowej wieży telekomunikacyjnej. Zaproponowano model połączenia ze zredukowaną liczbą stopni swobody, pozostawiając tylko stopnie swobody odpowiadające za nieliniowe zachowanie połączenia. Powierzchnie kontaktowe zastąpiono parą węzłów kontaktowych, a liniową część modelu (odnoszącą się do wewnętrznych stopni swobody kołnierzy) zredukowano przy użyciu kondensacji statycznej. Bryłowe modele śrub zastąpiono przez równoważne (pod względem sztywności)

sprężyny translacyjne. Wyznaczono odpowiedź całej konstrukcji (pojedynczej sekcji kratowej wieży) na założone uszkodzenie (poluzowanie się śrub w połączeniu).

Istotne miejsce w dorobku Kandydata zajmują wyniki prowadzonych badań doświadczalnych możliwości wykrycia i zlokalizowania połączenia zakładkowego z poluzowaną śrubą prowadzonych na wykonanej w skali laboratoryjnej konstrukcji ramowej. Wykonano analizę drgań konstrukcji z użyciem młotka modalnego w celu identyfikacji częstotliwości i postaci drgań. Pierwsza grupa testów prowadzona była dla konstrukcji bez uszkodzenia, o połączeniach z dokręconymi wszystkimi trzema śrubami (co stanowiło model referencyjny). Drugą grupę testów przeprowadzono dla przypadku, gdy w wybranym połączeniu poluzowana została jedna śruba. Badania przeprowadzono wykorzystując najpierw 6 akcelerometrów rozmieszczonych w węzłach badanej ramy, a następnie 20 akcelerometrów rozmieszczonych także w punktach między węzłami, wzdłuż długości belek tworzących ramę. Tylko eksperyment z gęstszą siecią sensorów pozwolił na określenie efektów uszkodzenia. Analiza funkcji odpowiedzi częstotliwościowej wykazała to, że jedynie wyższe częstotliwości (powyżej 100 Hz, czyli powyżej 10. częstotliwości własnej układu) są wrażliwe na poluzowanie śrub w połączeniu.

Przeprowadzono także modelowanie numeryczne wpływu lokalnego uszkodzenia połączenia śrubowego na globalne zachowanie konstrukcji ramowej wykorzystanej w badaniach doświadczalnych. Zastosowano model uproszczony składający się z dwóch prostopadłe ustawionych belek o prostokątnym przekroju poprzecznym, złączonych na końcu za pomocą rotacyjnej sprężyny, a poluzowanie śruby symulowano poprzez zmianę sztywności sprężyny. Wykazano to, że jedynie wybrane, symetryczne postacie drgań takiego układu są wrażliwe na uszkodzenia i to tylko w zakresie zmian sztywności odpowiadającym zachowaniu połączenia podatnego, a w pozostałych przypadkach mała zmiana sztywności obrotowej połączenia jest trudno wykrywalna przy użyciu systemu identyfikacji bazującego na niskoczęstotliwościowych drganiach.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań dotyczących lokalizacji uszkodzeń w konstrukcjach ramowych i kratownicowych przy użyciu metod bazujących na kryteriach miejscowych, którymi są lokalna krzywizna (w przypadku elementów zginanych) oraz osiowe odkształcenie (w przypadku elementów rozciąganych). W metodach tych wykorzystuje się drgania w zakresie niskich częstotliwości, a uszkodzenie jest sparametryzowane na poziomie elementu. Wymaga to rozmieszczenia na konstrukcji gęstej sieci sensorycznej. Do lokalizacji obszarów o zmniejszonej sztywności w konstrukcji ramowej zaproponowano metodę bazującą na pomiarze zmian krzywizny, wyznaczonej bezpośrednio z pomiarów przyspieszeń dla dwóch sąsiadujących czujników. Metoda ta została zweryfikowana doświadczalnie dla dwóch przypadków: wspornikowo utwierdzonego w podłożu układu ramowego typu *shear-building* oraz belki swobodnie podpartej wykonanej w sposób umożliwiający modyfikację wybranych przekrojów. Zaproponowany parametr uszkodzenia okazał się, w rozpatrywanych przypadkach, odporny na błędy pomiarowe i dodatkowe nieznanne wymuszenia. W bardziej złożonych przypadkach przestrzennych kratownic do celów identyfikacji uszkodzeń zaproponowano dwie kolejne metody należące do grupy metod wykorzystujących kryteria miejscowe. Pierwsza z nich, bazująca na metodzie wektorów lokalizujących uszkodzenie (ang. *damage locating vectors*), wyznacza uszkodzone miejsce konstrukcji za pomocą różnicy pomiędzy macierzami podatności zidentyfikowanymi eksperymentalnie dla konstrukcji bez i z uszkodzeniem. Jądro macierzy podatności wyznaczane było z wykorzystaniem rozkładu na macierz ortogonalną i trójkątną górną, ujawniający rząd badanej macierzy podatności. Numeryczne symulacje zweryfikowano eksperymentalnie na stanowisku wyposażonym w przestrzenną kratownicę typu Bailey.

W drugiej z zaproponowanych metod wykorzystuje się to, że siły wewnętrzne w prętach konstrukcji statycznie wyznaczalnej nie zależą od pól przekrojów (ani też sztywności) poszczególnych prętów. W tym przypadku symulacje numeryczne z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody analizy drgań zostały zweryfikowane doświadczalnie z użyciem kratownic typu Howe oraz typu Bailey'a. Uśrednione w czasie osiowe odkształcenia prętów, na podstawie których określone są zmiany sztywności poszczególnych elementów kratownicy, wyznaczone były za pomocą zmierzonych przyspieszeń węzłów kratownicy.

I.3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Oceniany jednotematyczny cykl publikacji (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym, niemniej niektóre kwestie wymagają wyjaśnienia. Ważniejsze uwagi krytyczne, w dużym stopniu dyskusyjne, chciałbym przedstawić poniżej.

Zasadnicza uwaga krytyczna dotyczy fizycznej interpretacji przyjętych w badaniach niektórych założeń. Przyjęto np. to, że uszkodzenia powodują jedynie spadek sztywności prętów kratownicy przestrzennej. Jakie fizyczne uszkodzenie prętów lub ich połączeń wywołuje taką sytuację? W rzeczywistych konstrukcjach wystąpienie uszkodzenia może także prowadzić do nieosiowego obciążenia (rozciągania/ściskania) prętów. Szczególnie dotyczy to konstrukcji spawanych, ale także w pewnym stopniu nitowanych i skręcanych śrubami. W żadnym przypadku nie następuje zmiana modułu sprężystości (co zostało napisane), a zmienia się geometria prętów lub ich połączeń, co powoduje właśnie zmianę sposób przyłożenia obciążenia.

Moim zdaniem, problem poluzowania śrub w konstrukcjach ramowo-kratownicowych jest trochę bardziej skomplikowany niż to przedstawił Habilitant. Oczywiście, zdarzają się przypadki poluzowania jednej ze śrub, które wynikają z niewłaściwego montażu (niedokręcenie śruby lub zerwanie gwintu śruby wskutek dokręcenia śruby zbyt dużym momentem). Częściej jednak występują poluzowania części śrub wynikające z ich odkształcenia plastycznego wywołanego przeciążeniem konstrukcji lub cyklicznym obciążeniem wywołującym przyrost tego odkształcenia w każdym cyklu. Ma to szczególnie miejsce wówczas, gdy dobrana długość śrub jest za mała, a mamy do czynienia z wymuszeniem kinematycznym. Obciążenie takie można przewidzieć, a sposób poluzowania śrub wyznaczyć z obliczeń numerycznych za pomocą elementów skończonych, co też i Kandydat częściowo wykonał. Należy jednak dodać, że połączenie kołnierzowe przenosi także moment gnący, który w wielu przypadkach może decydować o sposobie odkształcenia śrub.

Kolejna uwaga krytyczna/diskusyjna dotyczy możliwości praktycznego zastosowania opracowanych metod identyfikacji uszkodzeń (rozumianych jako poluzowanie śruby, odkształcenie plastyczne lub zmiana sztywności elementu) w rzeczywistych przestrzennych konstrukcjach ramowo-kratownicowych. Opracowane metody mają bardzo duży potencjał (ale na razie jednak tylko potencjał) aplikacyjny. Stąd też tak duże zainteresowanie naukowców w wielu uznanych ośrodkach badawczych na świecie. Natomiast niewątpliwie prace Habilitanta przybliżyły je do zastosowań praktycznych, choć większość z tych aplikacji to jednak badania laboratoryjne, a nie zastosowania inżynierskie. Może być również problem z uzyskaniem wyników badań doświadczalnych dla rzeczywistej konstrukcji bez uszkodzeń, szczególnie biorąc pod uwagę możliwość powstania uszkodzeń już podczas wytwarzania jej poszczególnych elementów oraz ich montażu. Biorąc pod uwagę powyższe uwagi, mam wątpliwości, czy zaproponowane metody identyfikacji uszkodzeń powstałych podczas

wytwarzania lub eksploatacji konstrukcji mogą być wykorzystywane w praktyce inżynierskiej (co nie znaczy, że nie będzie to możliwe za kilka lat). Ich praktyczne wykorzystanie powinno być ograniczone do ściśle zweryfikowanych doświadczalnie przypadków rzeczywistych uszkodzeń oraz konstrukcji.

I.4. Podsumowanie

Uważam, że zaprezentowane w opiniowanym cyklu prac (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) wyniki badań, a w szczególności opracowanie efektywnych metod modelowania i identyfikacji uszkodzeń w elementach przestrzennych konstrukcji prętowych, takich jak połączenia śrubowe, czy też pręty łączone za ich pomocą, należy ocenić pozytywnie. Spełniają one wymagania stawiane osiągnięciom naukowym w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych. Wnoszą istotny wkład do rozwoju dyscypliny *inżynieria mechaniczna* (przede wszystkim *mechaniki*).

Należy podkreślić, że duża część przedstawionych oryginalnych wyników badań Kandydata zostały opisane w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, takich jak: *Periodica Polytechnica Civil Engineering* (1 praca), *Engineering Structures* (1 praca), *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* (1 praca), *Structural Control & Health Monitoring*, (2 prace), *Measurement* (1 praca), *Smart Structures and Systems* (1 praca), gdzie przeszły pełny proces opiniowania przez uznanych, międzynarodowych specjalistów z zakresu modelowania i identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach inżynierskich.

II. Ocena dorobku naukowego

Dr inż. Bartłomiej Błachowski ukończył studia wyższe na kierunku: *budownictwo* na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej w 2000 r., uzyskując tytuł magistra inżyniera w specjalności *metody komputerowe w mechanice konstrukcji*. W 2005 roku obronił pracę doktorską pt. *Optymalne sterowanie drganiami masztów z odciągami* (promotor: prof. dr hab. inż. Witold Gutkowski). Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *budownictwo* nadała Rada Naukowa Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk.

Po ukończeniu studiów Kandydat pracował zarówno w przedsiębiorstwach, jak i ośrodkach naukowych i akademickich, krajowych i zagranicznych. Wśród tych pierwszych należy wyróżnić zatrudnienia w firmach: ZIG-ZAG Sp. z o.o. (programowanie bazodanowych aplikacji internetowych w latach 2000-2001), Pracownia Projektowa Konstrukcji i Fizyki Budowli A. Goerst (w 2001 r.), GiS Architekci (asystent projektanta w 2007 r.), Arcade Polska (współpraca z biurem projektów w latach 2008–2010), Schoeck Bauteile GmbH (w 2010 r.), Schoeck sp. z o.o. (inżynier budownictwa w latach 2013-2014). Jeśli chodzi o zatrudnienie w ośrodkach naukowych i akademickich, to Habilitant pracował w Active Structures Laboratory Universite Libre de Bruxelles (visiting scholar w 2002 r.), Smart Structures Technology Laboratory University of Illinois at Urbana-Champaign (visiting scholar w 2012 r.), ale przede wszystkim w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (w Zakładzie Metod Komputerowych, później w Zakładzie Technologii Inteligentnych), początkowo (w latach 2004-2014) na stanowisku asystenta, a następnie (w latach 2014-2017) na stanowisku inżynieryjno-technicznym

głównego specjalisty. Od czerwca 2017 r. jest On zatrudniony na stanowisku badawczo-technicznym specjalisty w Zakładzie Technologii Inteligentnych IPPT PAN w Warszawie. Tam też wykonał badania naukowe, których wyniki zostały przedstawione w cyklu powiązanych tematycznie prac i w pozostałych publikacjach.

Wylączając publikacje wyszczególnione w cyklu prac powiązanych tematycznie (przedstawione w poprzednim rozdziale recenzji), na pozostały dorobek naukowy Kandydata, po uzyskaniu przez Niego stopnia doktora nauk technicznych, składa się 37 prac (z czego 2 samodzielne), w tym:

- 6 artykułów w uznanych czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (w tym 1 samodzielny),
- 3 artykuły w innych czasopismach o zasięgu międzynarodowym lub krajowym (w tym 1 samodzielny),
- 3 współautorskie rozdziały w monografiach pokonferencyjnych indeksowanych w bazie Web of Science,
- 22 współautorskich referatów wygłoszonych na konferencjach międzynarodowych,
- 3 współautorskie referaty wygłoszone na konferencjach krajowych.

Spośród wyżej wymienionych oryginalnych prac twórczych opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, chciałbym wyróżnić 6 artykułów ze względu na oryginalność tematyczną, rangę wydawnictwa oraz zaangażowanie Kandydata (w nawiasach podałem Jego udział w przygotowaniu pracy oraz współczynniki wpływu zgodne z rokiem publikacji artykułu wg bazy JCR, a także liczbę cytowań wg bazy Web of Science):

- B1. **Błachowski B.**, Pnevmatikos N. (2018), Neural network based vibration control of seismically excited civil structures, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol.62, pp.620-628 (udział 90%, IF=0.636, liczba cytowań: 0);
- B2. **Błachowski B.**, Tauzowski P., Lógó J. (2017), Modal approximation based optimal design of dynamically loaded plastic structures, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol.61, pp.987-992 (udział 60%, IF=0.636, liczba cytowań: 0);
- B3. **Błachowski B.**, Gutkowski W. (2014), Graph based discrete optimization in structural dynamics, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, vol.62, pp.91-102 (udział 80%, IF=0.914, liczba cytowań: 3);
- B4. **Błachowski B.**, Gutkowski W. (2010), A hybrid continuous-discrete approach to large discrete structural problem, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol.41, pp.965-977 (udział 80%, IF=1.528, liczba cytowań: 5);
- B5. **Błachowski B.**, Gutkowski W. (2008), Discrete structural optimization by removing redundant material, *Engineering Optimization*, Vol.40, pp.685-694 (udział 80%, IF=0.900, liczba cytowań: 7);
- B6. **Błachowski B.** (2007), Model based predictive control of guyed mast vibration, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol.45, pp.405-423 (udział 100%, IF=0.178 nadany w 2009; liczba cytowań: 9).

Pozostałe 3 artykuły zostały opublikowane w czasopismach niższej rangi, o zasięgu międzynarodowym lub krajowym, takich jak: *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture* (1 praca) oraz *Modelowanie Inżynierskie* (2 prace).

Zwraca też uwagę współautorstwo 3 rozdziałów w monografiach pokonferencyjnych opublikowanych przez uznane wydawnictwa, takie jak: Springer Verlag (2 referaty) oraz John Wiley & Sons, cytowanych przez innych badaczy.

Pozytywnie należy ocenić udział Habilitanta w konferencjach międzynarodowych z zakresu *inżynierii mechanicznej* (przede wszystkim komputerowych metod mechaniki oraz dynamiki układów mechanicznych). Po uzyskaniu stopnia doktora był On współautorem 22 referatów na uznane konferencje międzynarodowe, spośród których chciałbym wyróżnić tylko te, na których wygłaszał On referaty osobiście:

- 24th International Seminar *Lightweight Structures in Civil Engineering*, LSCE 2018 (Łódź 2018) – referat zaproszony,
- International Conference on Noise and Vibration Engineering / International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, ISMA/USD 2016, 2018 (Leuven 2016, 2018),
- 19th, 22nd International Conference on Computer Methods in Mechanics, CMM 2011, 2017 (Warszawa 2011, Lublin 2017),
- 3rd Polish Congress of Mechanics and 21st Computer Methods in Mechanics, PCM-CMM 2015 (Gdańsk 2015),
- 5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (Crete Island 2015),
- 11th Pan-American Congress of Applied Mechanics (Paraná, Brazil 2010),
- 36th Solid Mechanics Conference, SolMech 2008 (Gdańsk 2008).

Kandydat w dokumentacji przewodu habilitacyjnego wykazał 88 cytowań swoich prac wg bazy Web of Science (66 bez autocytowań). Indeks Hirscha dla Jego dorobku publikacyjnego wg bazy Web of Science wynosi 7. Sumaryczny współczynnik wpływu (Impact Factor) wszystkich prac naukowych w czasopismach z bazy Journal Citation Reports, autorstwa lub współautorstwa Kandydata, opublikowanych po obronie pracy doktorskiej, zgodnie z rokiem opublikowania wyniósł 22,879 (bez podziału na współautorów). Wyniki te można uznać za co najmniej zadawalające w przypadku osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych.

Zainteresowania naukowe Kandydata po uzyskaniu stopnia doktora, poza tymi przedstawionymi w osiągnięciu naukowym, koncentrują się wokół następującej tematyki:

- aktywnego sterowania drganiami masztu z odciągami podanego dynamicznym oddziaływaniom wiatru,
- wykorzystania sterowania pół-aktywnego do tłumienia drgań oraz odzyskiwania energii z drgających układów mechanicznych,
- dynamicznej interakcji pieszych z drgającym mostem,
- dyskretnych i dyskretno-ciągłych metod optymalizacji konstrukcji, także metod optymalizacji topologicznej.

Należy dodać, iż dr inż. Bartłomiej Błachowski nie kierował żadnym projektem badawczym lub rozwojowym, krajowym lub międzynarodowym, uzyskiwanym w drodze konkursu. Po uzyskaniu stopnia doktora był wykonawcą 2 projektów badawczych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2 projektów badawczych Narodowego Centrum Nauki oraz 1 projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (w ramach Programu Badań Stosowanych). Kierował natomiast projektem Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w

ramach Programu *Mobilność Plus* zatytułowanym *Monitorowanie Stanu Konstrukcji (SHM) przy użyciu bezprzewodowych sieci sensorowych* (Nr 634/MOB/2011/0, realizowany w 2012 r.).

Wśród zrealizowanych oryginalne osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych Habilitant wymienił opracowany w 2015 r. autorski elektroniczny system głosowania do Komitetu Mechaniki PAN (w IPPT PAN) oraz współautorstwo w 2010 r. programu metody elementów skończonych służącego do optymalnego projektowania elementów prefabrykowanych typu ISOKORB (na zlecenie Schoeck Bauteile GmbH). Wykazał także jedną ekspertyzę realizowaną na zlecenie Instytutu Ekonometrii SGH w 2015 r. Dorobek ten jest, moim zdaniem, zdecydowanie większy biorąc pod uwagę, wymienione wcześniej, zatrudnienie w firmach projektowych oraz produkcyjnych, takich jak: Pracownia Projektowa Konstrukcji i Fizyki Budowli A. Goerst (wykonanie modelu MES i obliczeń wytrzymałościowych wieży telewizyjnej znajdującej się w miejscowości Stuposiany), GiS Architekci (opracowywanie dokumentacji rysunkowej konstrukcji żelbetowych), Arcade Polska (udział w przygotowaniu projektów konstrukcji żelbetowych: Centrum handlowego BONARKA w Krakowie i BUSINESS GARDEN w Warszawie oraz wykonanie obliczeń MES oraz dokumentacji wykonawczej schodów kaskadowych Stadionu Narodowego w Warszawie), czy też Schoeck sp. z o.o. (projektowanie prefabrykowanych łączników termoizolacyjnych ISOKORB). Dorobek Kandydata w zakresie uzyskanych praw ochrony własności przemysłowych, to współautorstwo oryginalnej metody identyfikacji uszkodzeń, która objęta została ochroną patentową w Chińskim Urzędzie Ochrony Własności Intelktualnej w 2018 r. (Patent Number 201610141896.4).

Dr inż. Bartłomiej Błachowski wykazał we wniosku 2 staże naukowe w następujących zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich:

- University of Illinois at Urbana-Champaign, Smart Structures Technology Laboratory (półroczny staż podoktorski w 2012 r.),
- Universite Libre de Bruxelles, Active Structures Laboratory (3-miesięczny staż doktorancki w 2002 r.).

Kandydat prowadzi aktywną współpracę naukową, w tym z Politechniką Budapesztańską (prof. Janosem Logo), Politechniką w Dalian, Chiny (prof. Yonghui An), Uniwersytetem Zachodniej Attyki w Atenach (prof. Nikosem Pnevmatikosem), University of Illinois w Urbana-Champaign (prof. Billeem Spencerem) oraz Uniwersytetem Południowej Karoliny (prof. Juanem Caicedo). Współpraca ta dotyczy optymalizacji konstrukcji, nowych technik identyfikacji uszkodzeń i monitorowania stanu technicznego konstrukcji, interakcji poruszającego się tłumy z dynamiczną odpowiedzią mostu oraz metod aktywnego i pasywnego zapobiegania niszczącym skutkom wstrząsów sejsmicznych, a jej potwierdzeniem są wspólne artykuły i referaty konferencyjne, a także patent. Należy ocenić to bardzo pozytywnie w kontekście wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych.

Podsumowując, dorobek naukowy Habilitanta (z wyłączeniem publikacji wyszczególnionych w osiągnięciu naukowym) oceniam zdecydowanie pozytywnie. Wysoko oceniam w szczególności 6 publikacji w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (indeksowanych w bazie Journal Citation Reports), 22 referaty na konferencje międzynarodowe, w tym 3 opublikowane w materiałach indeksowanych w bazie Web of Science, liczne cytowania wg bazy Web of Science (indeks Hirscha – 7) oraz aktywną współpracę międzynarodową popartą stażami i publikacjami.

III. Ocena dorobku dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki

Dorobek organizacyjny dr inż. Bartłomieja Błachowskiego po uzyskaniu przez niego stopnia doktora związany jest przede wszystkim z organizacją konferencji naukowych, pracami w gremiach Polskiej Akademii Nauk oraz recenzowaniem prac naukowych i redagowaniem czasopisma naukowego.

Habilitant pełnił funkcję sekretarza komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji: 41st Solid Mechanics Conference, SolMech 2018 (Warszawa 2018). Był współredaktorem materiałów konferencyjnych (*Book of Abstracts*). Jako wolontariusz brał udział w organizacji światowego kongresu: XXI International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, ICTAM 2004 (Warsaw 2004). Był także członkiem komitetu naukowego połączonych konferencji: 4th Polish Congress of Mechanics and 23rd Computer Methods in Mechanics, PCM-CMM 2019 (Cracow 2019).

Kandydat jest członkiem Komitetu Mechaniki (kadencja 2016-2019) i pełni funkcję Sekretarza Naukowego Komitetu. W 2015 r. brał udział w pracach zespołu odpowiedzialnego za organizację wyborów do Komitetu Mechaniki na kadencję 2016-2019, w ramach którego opracował autorski elektroniczny system głosowania. W latach 2007-2010 był członkiem Sekcji Optymalizacji i Sterowania Komitetu Mechaniki PAN. Organizował także spotkanie Sekcji Dynamiki Układów Komitetu Mechaniki PAN w Warszawie (w 2018 r.).

Habilitant jest od 2009 r. członkiem stowarzyszonym jednego międzynarodowego towarzystwa naukowego: International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization (ISSMO). Nie jest natomiast członkiem żadnego towarzystwa krajowego.

Dr inż. Bartłomiej Błachowski ma bogaty dorobek w zakresie recenzowania prac nadsyłanych do uznanych czasopism o zasięgu międzynarodowym. Przygotował 42 opinie dla następujących czasopism z listy JCR: *Engineering Structures* (15 recenzji), *Mechanics Based Design of Structures and Machines* (8 recenzji), *Advances in Mechanical Engineering* (4 recenzje), *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* (4 recenzje), *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* (3 recenzje), *Journal of Constructional Steel Research* (2 recenzje), *Sensors* (2 recenzje), *Mathematical Problems in Engineering* (1 recenzja), *Measurement* (1 recenzja), *Steel & Composite Structures* (1 recenzja) oraz *Symmetry* (1 recenzja).

Habilitant pełni funkcję redaktora działu *Inżynieria mechaniczna* w czasopiśmie *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* (IF=1.361), wydawanego przez Wydział IV Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk (od 2016 r.).

Zgodnie z informacją zawartą we wniosku, Kandydat nie brał udziału ani w pracach zespołów eksperckich i konkursowych, ani też w konsorcjach i sieciach badawczych. Nie recenzował projektów międzynarodowych lub krajowych.

Należy wspomnieć o 5 odbytych przez Niego zaawansowanych kursach z zakresu dynamiki i sterowania układami mechanicznymi, organizowanymi przez CISM - Międzynarodowe Centrum Nauk Mechanicznych (Włochy), Cambridge University (Wielka Brytania) oraz Universite Libre de Bruxelles (Belgia).

Dorobek dydaktyczny dr inż. Bartłomieja Błachowskiego jest bardzo skromny, nawet biorąc pod uwagę zatrudnienie poza szkolnictwem wyższym. Prowadził On jedynie ćwiczenia dla doktorantów IPPT PAN z przedmiotu *teoria sterowania i jej zastosowania* w

ramach szkoły eksperckiej *Smart-Tech Expert Courses* (w latach 2003-2004). Jest On także pomocniczym opiekunem naukowym jednego doktoranta (bez otwartego przewodu doktorskiego).

Równie skromny jest dorobek w zakresie popularyzacji nauki. Można do niego zaliczyć jedynie wystąpienie przed studentami Technologiczno-Edukacyjnego Instytutu w Atenach z zakresu *monitorowania stanu technicznego konstrukcji inżynierskich* (w 2015 r.).

Za osiągnięcia w pracy naukowej Habilitant otrzymał Nagrodę pierwszego stopnia im. profesora Michała Życzkowskiego przyznana przez Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk w 2010 r. oraz 2 nagrody drugiego stopnia Dyrektora IPPT PAN (w 2017 i 2018 r.).

Przedstawiony do oceny dorobek dydaktyczny, organizacyjny i w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Bartłomieja Błachowskiego oceniam w sumie pozytywnie. W szczególności dotyczy to organizacji międzynarodowych konferencji naukowych, aktywnej pracy na rzecz Komitetu Mechaniki PAN, recenzowania artykułów nadsyłanych do uznanych czasopism naukowych oraz pełnienia funkcji redaktora działowego w czasopiśmie *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, a także roli opiekuna pomocniczego w jednym przewodzie doktorskim prowadzonym w IPPT PAN. Spełnia on wymagania stawiane w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych.

IV. Ocena końcowa

Podsumowując ocenę dorobku, przede wszystkim naukowego, w tym osiągnięcia naukowego dr inż. Bartłomieja Błachowskiego, stwierdzam, że:

1. przedstawiony cykl publikacji naukowych powiązanych tematycznie (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) spełnia wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych. Osiągnięcia w nim przedstawione, w szczególności metody wykrywania i lokalizacji uszkodzeń (rozumianych jako poluzowanie śruby, odkształcenie plastyczne lub zmiana sztywności elementu) w przestrzennych konstrukcjach ramowo-kratownicowych z wykorzystaniem dynamicznej odpowiedzi konstrukcji na zadane wymuszenie, wnoszą istotny wkład do rozwoju dyscypliny *inżynieria mechaniczna* (przede wszystkim *mechaniki*);
2. Habilitant wykazał się dobrą znajomością zaawansowanych metod komputerowych mechaniki oraz dynamiki układów mechanicznych, ale i także, choć w mniejszym stopniu, metod doświadczalnych mechaniki, zastosowanych przede wszystkim do analizy, modelowania i symulacji zjawisk dynamicznych zachodzących w przestrzennych konstrukcjach ramowo-kratownicowych oraz ich wykorzystania do identyfikacji występujących tam uszkodzeń;
3. całościowy dorobek naukowy Kandydata, po uzyskaniu przez Niego stopnia doktora nauk technicznych, spełnia, wymagania do uzyskania stopnia doktora habilitowanego (autorstwo lub współautorstwo: 13 publikacji w czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie JCR, 66 razy cytowanych (zgodnie z bazą Web of Science) przez innych badaczy (indeks Hirscha 7) oraz licznych referatów opublikowanych w materiałach konferencyjnych;
4. ma On także istotny dorobek dydaktyczny, organizacyjny i w zakresie popularyzacji nauki, w szczególności dotyczący organizacji międzynarodowych konferencji naukowych, aktywnej pracy na rzecz Komitetu Mechaniki PAN, recenzowania artykułów

nadsyłanych do uznanych czasopism naukowych oraz pełnienia funkcji redaktora działowego w czasopiśmie *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, a także roli opiekuna pomocniczego w jednym przewodzie doktorskim prowadzonym w IPPT PAN.

Uważam, że cykl publikacji powiązanych tematycznie oraz dotychczasowy dorobek naukowy, dydaktyczny, organizacyjny oraz w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Bartłomieja Błachowskiego spełniają wymagania stawiane osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami*. W związku z tym, popieram wniosek o nadanie dr inż. Bartłomiejowi Błachowskiemu stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

