

Prof. dr hab. inż. Bożena Kostek, czł. koresp. PAN

Gdańsk, 23.01.2025 r.

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego p. dr. inż. Januszowi Wyrwałowi na podstawie osiągnięcia naukowego, stanowiącego cykl publikacji na temat: „Modelowanie i analiza układów wibroakustycznych stosowanych w systemach redukcji hałasu”.

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo dra hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ, Przewodniczącego Rady Dyscypliny AEETK Politechniki Śląskiej z dnia 20.11.2024 r. oraz pisma prof. dr hab. Grzegorza Węgrzyna, Zastępcy Przewodniczącego Rady Doskonałości Naukowej z 12 września 2024 r., dotyczącego wyznaczenia części składu komisji habilitacyjnej.

W odniesieniu do zaleceń RDN w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dotyczącej osiągnięć naukowych, przygotowana opinia powinna zawierać następujące elementy:

- 1) stwierdzenie**, czy wśród wskazanych do oceny osiągnięć naukowych znajduje się co najmniej:
 - a) 1 monografia naukowa wydana przez wydawnictwo, lub
 - b) **1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych**, lub
 - c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
- 2) ocena wraz z uzasadnieniem**, czy wskazane osiągnięcia naukowe osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego stanowią znaczący wkład w rozwój określonej dyscypliny.
- 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową** albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, **w szczególności zagranicznej**.

Stwierdzam, że w przedłożonym do oceny wniosku **punkt (1b), tj. cykl powiązanych tematycznie artykułów** spełnia wymóg spójności tematycznej w stosunku do wymagań ustawowych. Artykuły cyklu zostały powiązane wspólnym tytułem: „*Modelowanie i analiza układów wibroakustycznych stosowanych w systemach redukcji hałasu*”.

W kontekście punktu 2. wytycznych RDN, rolą recenzenta jest wykazanie czy przedstawione przez dra inż. Janusza Wyrwała prace do oceny stanowią znaczący wkład lub ważny przyczynek w rozwój dyscypliny **Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**. Habilitant przedstawił oświadczenia potwierdzające osobisty wkład habilitanta w ramach współautorskich artykułów z cyklu i uzasadnił współautorski charakter publikacji charakterem interdyscyplinarnych projektów badawczych NCN i nawiązaniem współpracy z ośrodkiem zagranicznym. Wniesiony wkład w publikacje odnosi się m.in. do opracowania koncepcji badań, opracowania założeń i modeli matematycznych, analizy wyników, itd. Wkład ten został oceniony na co najmniej 50%. Dr. Wyrwał jest jedynym autorem w dwóch publikacjach oraz pierwszym autorem w dwóch innych artykułach. Świadczy to o znaczącym merytorycznym wkładzie dra inż. Janusza Wyrwała w przygotowanie i publikację artykułów oraz korektę manuskryptów na etapie odpowiedzi na recenzje. Należy jednak pamiętać, że umiejętność współpracy w ramach projektów i

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wypłynęło dnia 3.02.2025
nr zał.

grantów jest bardzo mocnym atutem, zwłaszcza, gdy dotyczy ona badań interdyscyplinarnych. Habilitant pokazał, że potrafi współpracować nie tylko z badaczami tej samej uczelni, ale również z innych ośrodków.

2. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Po zapoznaniu się z publikacjami dra inż. Janusza Wyrwała stanowiącymi Osiągnięcie – zgodnie Wnioskiem z wytycznymi RDN – w swojej opinii odniosę się do wkładu w dyscyplinę AEETK.

Celem naukowym przedstawionego cyklu prac jest - w ogólności - rozwój metod modelowania i analizy układów wibroakustycznych stosowanych w systemach redukcji hałasu. Działania te obejmowały projektowanie obudów różnego typu, stosowanych w systemach redukcji hałasu, propozycję modeli matematycznych obudów i ich syntezę, modelowanie interakcji akustyczno-wibracyjnych oraz wibracyjno-akustycznych między ośrodkami sprężystymi a strukturami obudów, analizę wyników modelowania i symulacji, jak również przeniesienie uzyskanych wyników na praktyczne podejście. Jest to nie tylko spójne, ale całościowe podejście do analizowanego problemu.

Artykuły zostały zestawione od najnowszej publikacji z 2021 r. do artykułu opublikowanego w 2008 r., co powoduje pewną trudność, gdyż nowsze publikacje są częściowo rozwinięciem wcześniejszych badań. Aby jednak utrzymać jednolitość oceny dorobku przez recenzentów, pozostawiłam je w takiej kolejności, jak zostały załączone do dorobku i przedstawione w autoreferencie.

Na podstawie przedstawionego do oceny cyklu publikacji, można podsumować najważniejsze oryginalne osiągnięcia Habilitanta:

[JW1] Wyrwał J. (50%), Pawełczyk M., Liu L., Rao Z., *Double-panel active noise reducing casing with noise source enclosed inside - modelling and simulation study*, Mechanical Systems and Signal Processing, 152, 2021, 1-24, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107371>.

[JW2] Wyrwał J. (100%), *Simplified conditions of initial observability for infinite-dimensional second-order damped dynamical systems*, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 478(1), 2019, 33–57, <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2019.04.066>.

[JW3] Wyrwał J. (50%), Zawiski R. (20%), Pawełczyk M. (15%), Klamka J. (15%), *Modelling of coupled vibro-acoustic interactions in an active casing for the purpose of control*, Applied Mathematical Modelling, 50, 2017, 219-236, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2017.05.002>.

[JW4] Wyrwał J. (100%), *Approximate controllability of infinite dimensional system with internal damping dependent on fractional powers of system operator*, IET Control Theory and Applications, 10(18), 2016, 2370-2377, doi:10.1016/j.sysconle.2007.10.002.

[JW5] Klamka J. (40%), Wyrwał J. (60%), *Controllability of second-order infinite-dimensional systems*, Systems & Control Letters, 57(5), 2008, 386-391, doi: 10.1049/iet-cta.2016.0611.

I dodatkowo w cytowaniach poniżej uwzględniono źródło spoza cyklu publikacji, na które powołuje się Habilitant w swoim autoreferacie: [MP et al.] Pawełczyk M., Wrona S., Isaac C. W., Wyrwał J., et. al. W: *Noise-controlling casings*. Pawełczyk M., Wrona S. (red.), Taylor & Francis Group, 2023, 21-104).

- Opracowanie metodologii syntezy modeli matematycznych dla różnych typów obudów: jednopanelowych, dwupanelowych i lekkich samonośnych [JW3][JW1][MP et al.].
- Synteza całościowego modelu matematycznego dla rozważanych układów [JW1][MP et al.].

- Identyfikacja i modelowanie interakcji akustyczno-wibracyjnych oraz wibracyjno-akustycznych między ośrodkami sprężystymi a strukturami obudów [JW1][JW3].
- Modelowanie interakcji strukturalnych między panelami w lekkich obudowach [MP et al.].
- Analiza wyników symulacji dla obudów dwupanelowych w różnych konfiguracjach źródła hałasu [JW1].
- Synteza metody transformacji układów równań różniczkowych cząstkowych do abstrakcyjnej postaci równania stanu [JW3].
- Definicja przestrzeni stanów i abstrakcyjnego równania stanu dla rozważanych układów [JW3].
- Opracowanie schematów blokowych i ich synteza dla obudów jednopanelowych o konstrukcji szkieletowej [JW3].
- Uwzględnienie niedoskonałości mocowań paneli w modelach obudów szkieletowych [JW1][JW3].
- Sformułowanie i oraz przeprowadzenie dowodu warunków koniecznych i wystarczających obserwowalności początkowej i aproksymacyjnej sterowalności w różnych przedziałach czasowych dla układów nieskończenie wymiarowych [JW2][JW5].
- Opracowanie warunków obserwowalności i sterowalności w przypadku ograniczonych i nieograniczonych operatorów oraz skończonej liczby obserwacji/sterowań [JW2][JW4][JW5].
- Uogólnienie technik transformacji abstrakcyjnych równań różniczkowych drugiego rzędu do układów równań pierwszego rzędu z diagonalnym operatorem stanu [JW4].
- Przygotowanie przykładów ilustrujących praktyczne zastosowanie opracowanych metod w analizie elastycznych układów mechanicznych [JW2][JW4][JW5].

Przywołane autorskie osiągnięcia są przedmiotem badań i przeprowadzonych analiz, których wyniki zawarto w cyklu publikacji. Zostaną one pokrótce omówione w odniesieniu do poszczególnych publikacji cyklu.

[JW1] Wyrwał J. (50%), Pawełczyk M., Liu L., Rao Z., *Double-panel active noise reducing casing with noise source enclosed inside - modelling and simulation study*, Mechanical Systems and Signal Processing, 152, 2021, 1-24, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107371>.

Należy zaznaczyć, że pierwszy z artykułów zawartych w cyklu publikacji został opublikowany w wysoko impaktowym czasopiśmie, które jest często cytowane w kilku obszarach badawczych. Stanowi kluczowy punkt odniesienia dla naukowców i specjalistów w odniesieniu do nowych technik przetwarzania sygnałów i powiązanych tematów, w tym systemów dynamicznych. Zarówno tematyka, jak i czasopismo wpisuje się w dyscyplinę AEETK.

Artykuł przedstawia poszczególne etapy opracowania matematycznego modelu dla podwójnych paneli aktywnej obudowy, mającego na celu redukcję hałasu generowanego przez urządzenie. Model ten uwzględnia dynamikę paneli ściennych oraz interakcje między zjawiskami akustyki i wibroakustyki. W stworzeniu modelu wykorzystany został zaawansowany aparat matematyczny, wykorzystujący równania

Kirchhoffa-Love'a do opisu dynamiki paneli ściennych oraz równania fal akustycznych do modelowania pola akustycznego, co pozwoliło na stworzenie systemu sprzężonych równań różniczkowych cząstkowych (RRC).

W artykule przedstawiono model aktywnej obudowy sztywnej ramowej konstrukcji z podwójnymi panelami (struktura dwupanelowa, rozdzielona komorą powietrzną), opisaną jako złożony system sprzężonych zjawisk akustycznych i wibracyjnych. Obudowę potraktowano jako system o rozłożonych parametrach, którego dynamikę opisano układem sprzężonych równań różniczkowych cząstkowych. Model uwzględnia sprzężenia między polami akustycznymi w płynach stykających się bezpośrednio z obudową a strukturą obudowy. Modelowane są interakcje między wibracjami a akustyką, w tym nieidealne mocowanie krawędzi paneli do sztywnej ramy, co zwiększa realizm modelu i użyteczność w praktycznych zastosowaniach. W kolejnych etapach badań model matematyczny układów jest syntetyzowany dla różnych wariantów (aktywne obudowy o trzech różnych konstrukcjach). Oddziaływania wibracyjno-akustyczne zamodelowano przez sformułowanie niejednorodnych warunków brzegowych Neumann dla akustycznego równania falowego modelującego pole akustyczne znajdujące się wewnątrz obudowy. Symulacje przeprowadzono w programie COMSOL Multiphysics, a ich wynik potwierdził poprawność opracowanego modelu oraz pozwolił na analizę zachowania systemu w kontekście rzeczywistych interakcji wibroakustycznych.

Warto zauważyć, jakie interakcje były rozpatrywane w kontekście badania i syntezy modeli:

- pole akustyczne w przestrzeni zamkniętej wewnątrz obudowy spowodowane działaniem pierwotnego źródła hałasu oraz wymuszonymi wibracjami ścian panelowych obudowy przez sensory;
- dynamika ścian podwójno-panelowych obudowy pobudzanych zarówno akustycznie przez zamknięte ciecze, jak i mechanicznie przez siłowniki;
- interakcje między panelami ścian obudowy a polem akustycznym w przestrzeni zamkniętej w wewnętrznej komorze/otaczającej obudowę od zewnątrz;
- wpływ obciążenia (układ akusto-hydrodynamiczny) na wibracje paneli ścian;
- wpływ sensorów punktowych na wibracje paneli ścian.

Przeprowadzone symulacje modelu mają na celu jego walidację i zrozumienie działania rzeczywistego systemu. Symulacja dotyczyła sześcienną obudowę z podwójnymi panelami, pobudzaną przez pierwotne źródło hałasu umieszczone wewnątrz. Analizowano dwa przypadki w celu zbadania wpływu pozycji źródła hałasu w kontekście symetrii układu. W każdym przypadku badano odpowiedzi systemu, w tym przemieszczenia poprzeczne dwunastu paneli oraz ciśnienie akustyczne w wytworzonych polach akustycznych. Wyniki pozwalają na obserwację interakcji między panelami a przyległymi polami akustycznymi, sprzężenie między dwoma panelami za pośrednictwem znajdującego się między nimi pola akustycznego oraz pośrednie interakcje pomiędzy sześcioma ścianami poprzez zamknięte pole akustyczne.

Proponowane podejście jest niewątpliwie kompleksowe, bowiem umożliwia lepsze zrozumienie wpływu geometrii i właściwości materiałów na zachowanie dynamiczne struktur oraz uwzględnienie interakcji pomiędzy wibracjami a akustyką, co jest kluczowe w projektowaniu systemów rzeczywistych.

Autorskie rozwiązania Habilitanta obejmują w ramach przedstawionego artykułu do oceny:

- teoretyczne opracowanie modelu matematycznego;
- zastosowanie równań Kirchhoffa-Love'a i równań fal akustycznych;
- uwzględnienie interakcji zjawisk akustycznych i wibroakustycznych;
- wykorzystanie oprogramowania COMSOL Multiphysics do przeprowadzania symulacji oraz wizualizacji wyników zaproponowanych scenariuszy projektowych, co pozwoliło uzyskać wartościowe informacje na temat wydajności proponowanych konstrukcji;
- analizę odpowiedzi na pobudzenie (źródło hałasu).

[JW2] Wyrwał J. (100%), *Simplified conditions of initial observability for infinite-dimensional second-order damped dynamical systems*, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 478(1), 2019, 33–57, <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2019.04.066>.

Artykuł w czasopiśmie Journal of Mathematical Analysis and Applications dotyczy uproszczonych warunków koniecznych i wystarczających początkowej obserwowalności dla nieskończone wymiarowych układów dynamicznych drugiego rzędu z tłumieniem, uzyskanego na podstawie odpowiedniego uproszczonego układu rzędu pierwszego. Założenia badań objęły **analizę początkowej obserwowalności** dla abstrakcyjnych, nieskończone wymiarowych układów dynamicznych drugiego rzędu. Brano też pod uwagę skończony czas obserwowalności, dowolny przedział czasu rozważanej klasy układów nieskończone wymiarowych (w przypadku zarówno ograniczonego, jak i nieograniczonego operatora obserwacji). Przy czym nacisk położono na strukturach mechanicznych z rozproszonymi parametrami. Etap analizy obejmował opracowanie uproszczonych warunków koniecznych i wystarczających początkowej obserwowalności tych systemów. W przykładach rozpatrywanych w artykule analiza została przeprowadzona w oparciu o spektralną teorię nieograniczonych operatorów liniowych. Niewątpliwie istotnym aspektem jest odniesienie do praktycznej możliwości wykorzystania wyników badań, czyli **zastosowań w elastycznych strukturach mechanicznych**, co wskazuje na możliwość wykorzystania tych wyników w praktyce do badania dynamiki systemów. Są to w pełni autorskie i oryginalne podejścia zaproponowane przez Habilitanta.

Autorskie rozwiązania Habilitanta obejmują w ramach przedstawionego artykułu do oceny:

- wykorzystanie zaawansowanych metod analizy matematycznej do problemów rozproszonych układów dynamicznych, wnosi to wkład w teorię obserwowalności;
- podanie nowych warunków obserwowalności dla nieskończone wymiarowych układów dynamicznych drugiego rzędu, co jest istotnym wkładem w analizę takich systemów;
- zastosowanie metod analizy w dziedzinie spektralnej, przyczyniło się to do lepszego zrozumienia zachowania elastycznych struktur mechanicznych i dostarczenia narzędzi do ich efektywniejszego modelowania;
- zapewnienie praktycznej weryfikacji jakościowej analizowanych własności jakościowych za pomocą „manipulacji” wykładnikiem w celu zbadania wpływu na postać zależności od zmiennych przestrzennych w układzie uproszczonym.

Jak wcześniej wspomniałam, widoczny jest aspekt zastosowania w rzeczywistych inżynierskich problemach związanych z tłumieniem drgań. Istotne też jest przedstawienie wniosków w kontekście uproszczenia metod weryfikacji warunków obserwowalności dla bardziej złożonych systemów z uwzględnieniem parametrów tłumienia.

[JW3] Wyrwał J. (50%), Zawiski R. (20%), Pawełczyk M. (15%), Klamka J. (15%), *Modelling of coupled vibro-acoustic interactions in an active casing for the purpose of control*, Applied Mathematical Modelling, 50, 2017, 219-236, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2017.05.002>.

Artykuł w czasopiśmie Applied Mathematical Modelling dotyczy modelowania sprzężonych interakcji wibroakustycznych w aktywnych obudowach o elastycznych ścianach jednopanelowych w kontekście zastosowania w „sterowaniu” i kontroli drgań i akustyki.

Głównym celem badań było opracowanie modelu matematycznego opisującego sprzężone interakcje wibroakustyczne zachodzące w aktywnej obudowie jednopanelowej o sztywnej konstrukcji szkieletowej. Zakres badań obejmował podejście analityczne oparte na równaniach różniczkowych cząstkowych oraz teorii operatorów różniczkowych w przestrzeniach nieskończonych. Zaproponowany i opracowany model umożliwia przewidywanie zachowań (interakcji) systemów wibroakustycznych pomiędzy ośrodkami sprężystymi a strukturą obudowy, co może być przydatne w szczególności w projektowaniu obudów (aktywnie) tłumiących. Uzyskane wyniki badań potwierdzają efektywność modelu w opisie sprzężeń pomiędzy strukturą obudowy a akustyką pola wewnątrz oraz zewnątrz obudowy.

Rozwiązania szczegółowe proponowane w ramach tego artykułu obejmują:

- modelowanie interakcji wibroakustycznych za pomocą opracowanego modelu matematycznego skutecznie opisuje sprzężenia między wibracjami struktury a polami akustycznymi, co potwierdza jego przydatność w badaniach teoretycznych i zastosowaniach inżynierskich;
- opracowanie metodologii syntezy modelu matematycznego (synteza schematu blokowego) oraz zaproponowaniu podejścia, które umożliwia uwzględnienie w modelu niedoskonałości mocowania paneli do sztywnej ramy – oryginalny wkład Habilitanta w przedstawione badania w artykule;
- synteza metody umożliwiającej transformację oryginalnego modelu matematycznego mającego postać układu wzajemnie sprzężonych równań różniczkowych cząstkowych do równoważnej postaci abstrakcyjnego równania stanu;
- zastosowane podejście analityczne, oparte na równaniach różniczkowych cząstkowych, dostarcza narzędzi do precyzyjnej analizy systemów z rozproszonymi parametrami;
- wyniki mogą być wykorzystywane w projektowaniu aktywnych obudów redukujących hałas i drgania w aplikacjach przemysłowych.

[JW4] Wyrwał J. (100%), *Approximate controllability of infinite dimensional system with internal damping dependent on fractional powers of system operator*, IET Control Theory and Applications, 10(18), 2016, 2370-2377, doi:10.1016/j.sysconle.2007.10.002.

Najważniejszym osiągnięciem opisanym w tej publikacji jest badanie układów rzędu drugiego z tłumieniem. Autor analizuje klasę modeli opisanych ewolucyjnymi równaniami różniczkowymi rzędu drugiego z tłumieniem. Operator tłumienia przyjmuje formę skończonej sumy potęg ułamkowych operatora systemu, co jest istotne w modelowaniu mechanizmów rozpraszania energii. W pracy zastosowano teorię operatorów liniowych i półgrup w celu sformułowania warunków sterowalności aproksymacyjnej. Metodologia zastosowana do rozwiązania sformułowanego problemu opierała się na analizie układu w dziedzinie czasu.

Wkład habilitanta w ramach badań przedstawionych w tej pracy jest wynikiem autorskich propozycji i rozwiązań. W ramach tej pracy:

- sformułowano i udowodniono warunek konieczny i wystarczający dla sterowalności aproksymacyjnej układów nieskończenie wymiarowych rzędu drugiego z tłumieniem zależnym od potęg ułamkowych operatora systemowego;
- udowodniono, że układ dynamiczny jest aproksymacyjnie sterowalny w dowolnym przedziale czasu z warunkiem koniecznym;
- udowodniono, że kryteria dla układów rzędu drugiego są analogiczne do prostszych układów rzędu pierwszego;
- zaprezentowano wyniki na przykładzie układu mechanicznego, jakim jest płyta Kirchhoffa–Love'a z tłumieniem. To pokazuje zastosowanie teorii do rzeczywistych struktur elastycznych;
- zastosowano teorię spektralną operatorów liniowych i teorii półgrup, co pozwoliło na analizę układów nieskończenie wymiarowych w sposób ogólny;
- wykazano, że wyniki są aplikowalne zarówno w badaniach podstawowych, jak i w technicznych zastosowaniach związanych z dynamiką struktur.

[JW5] Klamka J. (40%), **Wyrwał J. (60%)**, *Controllability of second-order infinite-dimensional systems*, Systems & Control Letters, 57(5), 2008, 386-391, doi: 10.1049/iet-cta.2016.0611.

Prezentowany do oceny artykuł dotyczy **sterowalności aproksymacyjnej liniowych abstrakcyjnych układów dynamicznych rzędu drugiego o nieskończonej liczbie wymiarów i stanowi** rozszerzenie wyników dotyczących sterowalności aproksymacyjnej układów dynamicznych rzędu drugiego. W ramach prowadzonych badań wykazano, że sterowalność aproksymacyjna układów rzędu drugiego może być badana poprzez warunki sterowalności dla odpowiednich uproszczonych układów rzędu pierwszego. Przy czym, analiza własności operatora stanu dla równoważnego układu rzędu pierwszego uzyskanego po zastosowaniu transformacji istotnych z punktu widzenia badania własności aproksymacyjnej sterowalności rozważanej klasy układów dotyczyła analizy własności półgrupy generowanej przez operator stanu w zależności od parametrów układu.

Możliwe były zastosowanie wyników do analizy sterowalności systemów wibroakustycznych, modelujących elastyczne struktury mechaniczne. Rozważone były też **szczególne przypadki** i przedstawiono uwagi dotyczące relacji między różnymi pojęciami sterowalności.

Szczególnie istotne było:

- sformułowanie i udowodnienie warunków koniecznych i wystarczających dla sterowalności aproksymacyjnej abstrakcyjnych układów rzędu drugiego w dowolnym przedziale czasowym. W tym celu wykorzystano metody analizy funkcjonalnej, w tym teorię operatorów liniowych i metodę w dziedzinie częstotliwości;
- zastosowanie warunków sterowalności do analizy układów wibroakustycznych, które modelują elastyczne struktury mechaniczne, co ma praktyczne znaczenie w badaniach systemów dynamicznych z tłumieniem;
- uogólnienie warunków sterowalności znanych z literatury do układów rzędu drugiego z tłumieniem.

Najważniejsze osiągnięcie przedstawione w tym artykule odnosi się do rozwoju teorii sterowalności aproksymacyjnej dla układów nieskończenie wymiarowych, szczególnie rzędu drugiego, co znajduje zastosowanie w analizie układów dynamicznych, takich jak wibroakustyczne struktury elastyczne. Daje to możliwość dalszego rozszerzenia wyników na bardziej złożone i realistyczne systemy dynamiczne.

3. Istotna aktywność naukowa albo artystyczna realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, **w szczególności zagranicznej.**

Kandydat wykazuje aktywność naukową w kontekście współpracy zagranicznej, która dotyczy trzech płaszczyzn działania, tj. zrealizowanych staży badawczych, wspólnych badań oraz działalności ukierunkowanej na rozwój współpracy międzynarodowej. Aktywność Habilitanta obejmuje dwa 4-tygodniowe staże naukowe w uczelniach zagranicznych w Denmark University of Technology (Lyngby-Dania) oraz Ilmenau University of Technology (Ilmenau-Niemcy). Należy podkreślić, że są to renomowane ośrodki uniwersyteckie oraz badawcze. Prowadzone badania w ramach tych wyjazdów stażowych obejmowały modelowanie matematyczne oraz analizę jakościową własności rozważanych układów w oparciu o opracowane modele. Współpraca z ośrodkami zagranicznymi obejmowała również ośrodki Shanghai Jiao Tong University (Chiny), Politecnico di Milano (Włochy), jak również Prefectural University of Hiroshima (Japonia). W kontekście działań związanych ze współpracą z ośrodkami zagranicznymi należy podać dodatkowo działalność, m.in. warsztaty i wizyty naukowe w ramach Uniwersytetu Europejskiego EURECA-PRO (European University Alliance on Responsible Consumption and Production), finansowanego w ramach programu Erasmus+.

Dr Wyrwał jest też współtwórcą patentu nr 225 486 przyznanego przez **UPRP** w roku 2016 dotyczącego sposobu wytwarzania krzemowych ogniw fotowoltaicznych.

Aktywność badawcza została nagrodzona przez Rektora Politechniki Śląskiej oraz przyniosła liczne granty rektorskie, dodatki pro jakościowe oraz rektorski grant habilitacyjny.

Wskaźniki naukometryczne, pomimo iż obecnie nie są wymagane w ocenie kandydata do uzyskania stopnia habilitacji, należy ocenić pozytywnie:

Google Scholar: h-indeks: 9; cytowania: 273

Baza Scopus: h-indeks: 8, cytowania: 157 (bez cyt. wł.: 141)

Osiągnięcia organizacyjne i dydaktyczne

Pomimo, iż wg RDN (i obowiązującej Ustawy) nie jest wymagane podanie innych osiągnięć niż tylko naukowe kandydata zgłoszone do oceny, to jednak należy podkreślić, że całościowy dorobek Habilitanta, obejmuje również **działalność organizacyjną**. Dorobek organizacyjny Habilitanta obejmuje kierowanie dwoma projektami naukowymi oraz udział w roli wykonawcy w 14 projektach statutowych i badań własnych Politechniki Śląskiej. Ważny też był udział w charakterze wykonawcy łącznie w 6 projektach badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki (**NCN**) oraz Komitet Badań Naukowych (**KBN**).

Powyższa uwaga dotyczy to również **osiągnięć dydaktycznych i organizacji dydaktyki**. Lista prowadzonych przedmiotów zarówno w języku polskim, jak i angielskim dotyczy wykładów, laboratoriów oraz projektów na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki na kierunkach Automatyka i Robotyka, Makrokierunku (w języku angielskim) oraz Inżynierii Biomedycznej, jak i zajęć na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki (Modelowanie Komputerowe) oraz Wydziale Elektrycznym. Wśród prowadzonych wykładów i laboratoriów należy również dodać uruchomiony program wspólnych studiów z Yanshan University (YSU) z Qinhuangdao w Chinach prowadzony dla studentów z Chin realizujących zajęcia w Polsce. W ramach działalności dydaktycznej Habilitant prowadził również prace dyplomowe magisterskie i inżynierskie, interdyscyplinarne projekty PBL (ang. Project Based Learning), był też recenzentem licznych prac dyplomowych. Można stwierdzić, że ta działalność ma też charakter nie tylko odtwórczy, ale twórczy i należy ją ocenić pozytywnie. Wśród działań organizacyjnych można podać szkolenia prowadzone prze dra J. Wyrwała w zakresie programowania sterowników PLC Siemens Simatic S5/S7 dla kadr z przemysłu w Centrum Rozwojowym Systemów Automatyki INTEX Sp. z o.o. w Gliwicach.

Podsumowanie

Reasumując, konkluzja dotycząca osiągnięć naukowych oraz istotnej aktywności realizowanej w więcej niż jednej uczelni, **w szczególności zagranicznej**, jest pozytywna. Istotny jest też aspekt działań ze strony dra inż. Janusza Wyrwała ukierunkowanych na nawiązanie współpracy zagranicznej, które zaowocowały nie tylko odbytymi stażami zagranicznymi, ale też wspólnymi publikacjami. Należy też ocenić pozytywnie pozostałe aspekty działalności dra Wyrwała, tj. organizacyjne oraz dydaktyczne, które wpisują się w szeroko rozumianą działalność naukową i tworzą spójną całość sylwetki kandydata do uzyskania habilitacji.

W podsumowaniu niniejszej opinii chciałabym podkreślić, że osiągnięcia na polu nauki, dra inż. Janusza Wyrwała spełniają wymagania stawiane kandydatowi w myśl obowiązującej Ustawy w celu uzyskania stopnia doktora habilitowanego. **Dlatego wnioskuję o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Januszowi Wyrwałowi w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.**