



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Prof. dr hab. inż. Krzysztof J. Kaliński, prof. zw. PG
Katedra Mechaniki i Mechatroniki

Gdańsk, dnia 09.07.2018 r.

R E C E N Z J A

rozprawy habilitacyjnej **dr. inż. Ireneusza DOMINIKA**
wraz z opinią w sprawie nadania lub odmowy nadania
stopnia doktora habilitowanego

Podstawa oceny: pismo nr WIMIR-b.511-1/18 z dnia 11. maja 2018 r.
prof. dr. hab. inż. Antoniego Kalukiewicza,
Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH,
wraz z otrzymaną dokumentacją postępowania habilitacyjnego.

1. Sylwetka Habilitanta

Dr inż. Ireneusz Dominik urodził się 25.08.1976 roku w Zakopanem. Studia wyższe na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH) im. Stanisława Staszica w Krakowie ukończył w roku 2002 uzyskując dyplom magistra inżyniera, kierunku *Automatyka i robotyka*, specjalność *Automatyka i metrologia*. Po ukończeniu studiów podjął pracę na stanowisku asystenta (w latach 2002-2008), a od maja 2008 r. – na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatyzacji Procesów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w Krakowie. W dniu 21.12.2007 roku uzyskał na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Automatyka i robotyka* specjalność *Mechatronika*, na podstawie rozprawy doktorskiej p.t. „Sterowanie liniowym napędem wykorzystującym efekt pamięci kształtu” (promotor: prof. dr hab. Janusz Kwaśniewski), którą obronił z wyróżnieniem. Recenzentami w przewodzie doktorskim byli: prof. dr hab. inż. Franciszek Siemieniako i prof. dr hab. inż. Janusz Kowal.

Z powyższego przedstawienia kariery zawodowej Habilitanta wynika, że posiada On wieloletnie doświadczenia naukowe i dydaktyczne, co umożliwi Mu na szerokie spojrzenie na reprezentowaną tematykę badań.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

2.1. Wybór tematu, cel i zakres osiągnięcia

Dr inż. Ireneusz Dominik przedstawił jako osiągnięcie naukowe, monografię autorską pt.: „Algorytmy rozmyte typu 2 w sterowaniu układami mechatronicznymi”, Kraków: Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica 2017. ISBN 978-83-7464-893-6. Recenzentami w procesie wydawniczym monografii byli:

- dr hab. inż. Janusz Starczewski, prof. nadzw. Politechniki Częstochowskiej – Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Instytut Inteligentnych Systemów Informatycznych;
- dr hab. inż. Krzysztof Oprzędkiewicz, prof. nadzw. AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej.

Rozprawa habilitacyjna dr. inż. I. Dominika dotyczy bardzo ważnego zagadnienia, jakim jest poszukiwanie skutecznych metod, które na etapie projektowania umożliwiają optymalne kształtowanie własności dynamicznych obiektów fizycznych, poprzez zapewnienie właściwie realizowanych funkcji sterowania. Biorąc pod uwagę rosnące zainteresowanie ośrodków naukowych, biur konstrukcyjnych, producentów oraz użytkowników nowoczesnych technologii sterowania w układach mechatronicznych, podjęcie tematyki badań będącej przedmiotem monografii należy uznać za trafne. Rozważana problematyka jest bowiem ważna zarówno z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia. O tym ostatnim świadczy możliwość wykorzystania wyników pracy w praktyce gospodarczej rozmaitych zakładów przemysłowych, w tym również – małych średnich przedsiębiorstwach nieposiadających własnego zaplecza badawczego.

Treść dzieła liczy 224 strony i zawiera spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, 6 rozdziałów zasadniczych (w tym *Wnioski*) oraz wykaz literatury.

W rozdziale **pierwszym** (Wprowadzenie) Habilitant przybliżył pojęcie logiki rozmytej oraz podał krótki rys historyczny prac badawczych związanych z tą tematyką. Zwrócił uwagę na 2 istotne kamienie milowe na których w głównej mierze bazują jego rozważania, tj. wprowadzenie po raz pierwszy pojęcia logiki rozmytej typu 1 (ang. *Fuzzy logic*) przez *Lotti Zadeha* (1965), a następnie – zbiorów rozmytych typu 2 (*L. Zadeh* 1975), o rozmytym charakterze stopnia przynależności, jako praktyczny efekt rozwinięcia sformułowanej wcześniej teorii.

W rozdziale **drugim** przedstawił główny cel pracy, tj. możliwości zastosowania algorytmów rozmytych typu 2 w sterowaniu układami mechatronicznymi, jak też – wykazanie przewagi tych algorytmów, z uwagi na możliwość uwzględnienia niepewności parametrów modeli obliczeniowych układów sterowania. Przedstawił też w ujęciu syntetycznym zawartość poszczególnych rozdziałów monografii. Rozdział **trzeci** dotyczy zwartej opisu zasad sterowania i poszczególnych etapów pracy regulatora rozmytego typu 2, jak też – istotnych różnic w stosunku do powszechnie stosowanego wcześniej regulatora typu 1.

Kolejny rozdział **czwarty** jest poświęcony opisowi autorskiego oprogramowania regulatorów rozmytych typu 2. Do jego tworzenia Habilitant wykorzystał popularne środowiska Matlab i LabVIEW. Zbudowane przybory (ang. *Toolbox*) przetestował w przypadku rozmytych regulatorów predykcyjnych typu 2, przeprowadził analizę porównawczą wydajności algorytmów redukcji typu 2 do typu 1, oraz filtracji zakłóconego sygnału w systemie ANFIS typu 2. Zaproponował wykorzystanie przybory do szybkiego prototypowania sterowników PLC, platform mikroprocesorowych Arduino i układów programowalnych FPGA. Swoją uwagę skoncentrował na zastosowaniu sterowników firm ABB, która przejęła firmę Bernecker & Rainer (B&R), oraz Siemens, jako dominujących liderów rynku. Przetestował również możliwość symulacji w trybie *Hardware-in-the-Loop*, kiedy to model obiektu i kod programu regulatora są emulowane w procesorze urządzenia sterującego.

Najobszerniejszy rozdział **piąty** pracy zawiera opis wybranych zastosowań opracowanych autorskich przyborników do sterowania bazującego na regulatorach rozmytych typu 2, w rozmaitych zagadnieniach budowy i eksploatacji maszyn. Przedstawione przez Habilitanta przykłady dotyczą:

- sterowania położeniem obiektu w układzie z lewitacją magnetyczną i powietrzną, na bazie sterownika przemysłowego Siemens S7 1518. Lewitacja magnetyczna znajduje zastosowanie w kształtowaniu bezstykowych zawieszonych ruchomych elementów maszyn i urządzeń (pojazdy trakcyjne, łożyska magnetyczne silników wysokoobrotowych i bezszczotkowych). Natomiast układy z lewitacją powietrzną są stosowane w celu zapewnienia możliwości przemieszczeń obiektów bez kontaktu z podłożem (np. poduszki). Habilitant porównał wyniki działania regulatorów: PID, rozmytego typu 1 z modelem TSK i Mamdani, typu 2 również z modelem TSK i Mamdani oraz z redukcją typu alfa-płaszczyzn. W rezultacie stwierdził, że najlepsze wyniki daje zastosowanie łatwego w implementacji regulatora TSK typu 2;
- rozmytego sterowania ślizgowego typu 2 (połączenie algorytmu rozmytego typu 2 oraz sterowania ślizgowego) w układzie wahadła odwróconego, z wykorzystaniem automatycznego generowania kodu w sterowniku B&R. Jest to istotny problem użytkowy z uwagi na potrzebę stabilizacji położenia ruchomych części lub podzespołów maszyn. Do sterowania Habilitant zastosował rozmyty regulator ślizgowy typu 2, zbudowany przy pomocy autorskiego przybornika IT2FLS. Przeprowadził symulacje oraz automatycznie wygenerował kod sterownika B&R. Zaimplementował 6 regulatorów, przy czym najlepsze wskaźniki jakości sterowania uzyskał w przypadku ślizgowego regulatora rozmytego FSMC. Wyeliminował przy tym szczególnie niebezpieczne w nieliniowych układach sterowania zjawisko *chatteringu*;
- sterowania położeniem i siłą nacisku komercyjnych sterowników w układzie chwytaka robota, zawierających elementy inteligentne (druty) ze stopu z pamięcią kształtu (ang. SMA – *Shape Memory Alloy*). Podjęcie tematyki badań było efektem współpracy Habilitanta z Krakowskim Zakładem Sprzętu Ortopedycznego w zakresie konstrukcji i sterowania aktywnej protezy dłoni, a także – realizowanych w Katedrze Automatyk Procesów AGH prac nad robotem neurochirurgicznym do operacji mózgu. Ze względu na silną nieliniowość i niestacjonarność materiału SMA, do sterowania siłowników serii NM70 oraz DM01 dr Dominik wykorzystał mikroprocesor RISC ATmega32 oraz sterownik PLC firmy B&R. Podczas sterowania położeniem siłownika bardzo dobre czasy regulacji miał ogólny regulator rozmyty typu 2 z niesymetryczną funkcją drugorzędnej przynależności. Natomiast przy sterowaniu siłą nacisku chwytaka lepszym okazał się przedziałowy regulator rozmyty typu 2;
- inteligentnego sterowania serwonapędem pneumatycznym z wykorzystaniem platformy FPGA. Powszechne stosowanie serwozaworów pneumatycznych, z uwagi na silną nieliniowość, skutkuje różną zmianą natężenia przepływu medium w zależności od kierunku działania zaworu. Do sterowania Habilitant wykorzystał utworzony za pomocą autorskiego przybornika regulator rozmyty typu 2 w układzie Single-Board RIO 9636, bazujący na architekturze FPGA oraz procesorze czasu rzeczywistego. Powyższe skutkowało lepszą dokładnością pozycjonowania w porównaniu z regulatorem rozmytym typu 1 oraz regulatorem PID, a ponadto – regulator gwarantował powtarzalność zadanej trajektorii;
- sterowania z wykorzystaniem oryginalnego rozwiązania uproszczonego regulatora rozmytego typu 1 i 2, zrealizowanego w technice analogowej. Wykorzystanie możliwości generowania ciągłego sygnału sterującego skutkuje brakiem ograniczeń wynikających ze znamiennej przy sterowaniu cyfrowym konieczności próbkowania sygnału. Dr Dominik zbudował oryginalne niskokosztowe układy elektroniczne bazujące na zastosowaniu wzmacniaczy operacyjnych. Dzięki temu była możliwa realizacja wszystkich etapów działania regulatora rozmytego typu 2, a także – przetestowanie jego funkcjonalności podczas sterowania położeniem siłownika SMA.

Rozdział ten, w sensie poznawczym i użytecznym, oceniam jako najbardziej wartościowy fragment rozprawy.

W rozdziale **szóstym**, zatytułowanym „Wnioski” autor przedstawił zawartość wynikającą z treści opracowanej rozprawy. Chociaż opis ten jest sformułowane poprawnie, z uwagi na charakter podsumowania pracy powinien być zatytułowany inaczej, np. „Zakończenie”. Ostatnią część opiniowanej

rozprawy stanowi wykaz cytowanej literatury, zawierająca 226 na ogół trafnie dobranych, aktualnych pozycji (przeważnie w języku angielskim, wiele prac z czasopism z tzw. listy JCR – ang. *Journal Citation Report*).

2.2. Oryginalność osiągnięcia

O oryginalności osiągnięcia naukowego Habilitanta świadczy:

- Eksperymentalne wykazanie, w warunkach laboratoryjnych, poprawy jakości sterowania obiektami fizycznymi przy zastosowaniu regulatorów typu 2 o zmodyfikowanych zasadach syntezy, w stosunku do sterowania tymi obiektami z zastosowaniem regulatorów PID i regulatorów rozmytych typu 1, w przypadku 7. różnych obiektów rzeczywistych, przy małym nakładzie pracy.
- Możliwość wykorzystania opracowanych przyborków do szybkiego i ekonomicznego prototypowania sterowników, bazująca na automatycznym generowaniu kodu programu do sterowników PLC, platform mikroprocesorowych Arduino, czy układów programowalnych FPGA.
- Utworzenie bloków funkcyjnych do sterowników B&R i Siemens, umożliwiających uwzględnienie niepewności modelu i ułatwiających implementację przedziałowego regulatora rozmytego typu 2 w warunkach przemysłowych.
- Uzyskanie dobrej jakości regulacji, przy jednoczesnej możliwości tworzenia różnych funkcji przynależności, podczas sterowania rozmytego typu 1 i 2 z wykorzystaniem niskokosztowej techniki analogowej.

Należy podkreślić, że oryginalność przedstawionych osiągnięć wychodzi naprzeciw zapotrzebowaniu przedsiębiorstw powszechnie użytkujących urządzenia wymagające zastosowania nowoczesnych i udoskonalonych technik sterowania z wykorzystaniem logiki rozmytej, zarówno w dziedzinie czasu ciągłego, jak i czasu dyskretnego.

2.3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

2.3.1.1. Uwagi ogólne

- 2.3.1.1.1. Symulacja procesu sterowania różnego rodzaju obiektów mechatronicznych z wykorzystaniem logiki rozmytej jest zalecana w przypadku obiektów już istniejących. Wówczas pomija się rzeczywistą strukturę fizyczną koncentrując się na własnościach funkcjonalnych, natomiast postępowanie takie uniemożliwia modyfikację konstrukcji w celu poprawy jej własności dynamicznych. Stąd, dla obiektów rozważanych w fazie symulacji, bez istniejących na tym etapie rzeczywistych odpowiedników tych obiektów, zaleca się tworzenie modeli symulacyjnych układów sterowania na bazie metod modelowania fizycznego.
- 2.3.1.1.2. Habilitant wykazuje nadmierną skłonność do wyciągania wniosków o bardzo ogólnym charakterze, na podstawie fragmentarycznych obliczeń, np. 63¹⁻⁵.
- 2.3.1.1.3. Eksperymentalne wykazanie poprawy jakości sterowania obiektami fizycznymi przy zastosowaniu regulatorów typu 2, w stosunku do sterowania tymi obiektami z zastosowaniem regulatorów PID i regulatorów rozmytych typu 1, jest z pewnością pozytywnym rezultatem pracy. Należy jednak pamiętać, że badania przedmiotowych obiektów przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, zazwyczaj odmiennych od panujących podczas realizacji rutynowych procesów sterowania w praktycznych zastosowaniach przemysłowych.
- 2.3.1.1.4. Przedstawione w rozprawie obiekty badań stanowiły układy sterowania o 1. wejściu, w przypadku których zachowanie regulatorów rozmytych jest nietrudne do przewidzenia w aspekcie skuteczności ich działania. Sytuacja komplikuje się w przypadku powszechnie stosowanych wielowymiarowych układów sterowania, zwłaszcza w świetle braku możliwości analitycznego sprawdzenia warunku ich

stabilności. Stąd wnioski o znaczeniu praktycznym, dotyczące możliwości zastosowania wyników pracy w gospodarce, powinny być formułowane z większą ostrożnością.

2.3.1.2. Uwagi szczegółowe

- 2.3.1.2.1. 12: W treści rozprawy zauważa się niedopowiedzenia typu: *zła specyfikacja struktury modelu* (12⁷), *niezdolność do osiągnięcia dokładnego celu strategii* (12¹²).
- 2.3.1.2.2. 20: Rys. 3.4 jest bardzo ogólnikowy i wbrew treści podpisu – nie przedstawia on budowy regulatora rozmytego typu 2.
- 2.3.1.2.3. 34: Na rys. 4.2 nie zaznaczono parametru b , istotnego z punktu widzenia wyznaczenia funkcji przynależności $\mu(x)$.
- 2.3.1.2.4. 38: W podpisie pod rys. 4.8 zamiast „Płaszczyzna” powinno być „Powierzchnia”.
- 2.3.1.2.5. 40-41: Rozważania dotyczące techniki *Hardware-in-the-Loop* (p. 4.2.1) są uzasadnione, jeżeli sterownik jest rzeczywisty, a obiekt sterowania – emulowany, tj. istnieje jego wirtualny model obliczeniowy. Jaka jest zatem w świetle powyższego celowość stosowania regulatorów rozmytych, skoro te ostatnie są właściwe przede wszystkim układom fizycznie istniejącym, o bliżej niezidentyfikowanym modelu obliczeniowym?
- 2.3.1.2.6. 44: Zamieszczanie w tekście kodów programów (rys. 4.16 i inne) nie znajduje uzasadnienia.
- 2.3.1.2.7. 45: Schemat na rys. 4.17 ilustruje sterowanie z regulatorem rozmytym, o znacznej wartości współczynnika wzmocnienia (=100).
- 2.3.1.2.8. 47-48: Przykład sterowania ruchem windy jest nierealistyczny. Przyjmując do obliczeń podane w monografii dane liczbowe, tj. promień bębna $r=0,3$ m i prędkość znamionową typowych silników trakcyjnych $n=6000$ obr/min, kabina windy osiągałaby prędkość w ruchu prostoliniowym powyżej 600 km/h.
- 2.3.1.2.9. 54: Dla jakich wartości parametrów wyznaczono zestawione w tab. 4.2 wyniki symulacji metod redukcji?
- 2.3.1.2.10. 55: Skąd wziął się uchyb statyczny =0,5 (rys. 4.27)? W przypadku odpowiedzi skokowej obiektu oscylacyjnego o transmitancji operatorowej (4.11) wynosi on „0”. Można zatem domyślać się, że niezerowy uchyb został wprowadzony tendencyjnie, a stosowanie kolejnych metod redukcji (tab. 4.3) skutkując „zerowaniem” tego uchybu, pokazuje skuteczność postępowania.
- 2.3.1.2.11. 57: Jakie wnioski praktyczne wynikają z zestawienia wskaźników jakości regulacji (tab. 4.3).
- 2.3.1.2.12. 68: Schemat na rys. 4.39 ilustruje przykład akademicki, w dodatku – niedoprecyzowany. Nie wiadomo, co jest sygnałem sterującym. Ponadto, transmitancja operatorowa (4.18) opisuje obiekt abstrakcyjny (wzmocnienie ok. 100x).
- 2.3.1.2.13. 77-90: Opis implementacji algorytmu sterowania w procesorze RT (p. 4.5.2) jest enigmatyczny, a jedyną ilustracją podanej treści są schematy na rys.4.51-4.45, w dodatku – pozbawione komentarza.
- 2.3.1.2.14. 85₃₋₂: Co stanowiło podstawę doświadczalnego ustawienia parametrów regulatora? Uwaga dotyczy także i innych fragmentów pracy, w których wielokrotnie pojawia się ten wątek.

- 2.3.1.2.15. 99: Charakterystyka statyczna obiektu lewitacji powietrznej (rys. 5.25), z uwagi na ustaloną wartość odpowiedzi, nie potwierdza silnie całkującego charakteru obiektu (98_s). We wzorze (5.3) powinna być operacja sumowania, ale bez aktualnej próbki uchybu nr i .
- 2.3.1.2.16. 110¹⁻²: Regulator TSK typu 2 wykazuje zalety (tab. 5.3) jedynie przy mniejszych wartościach zadanych przemieszczeń ($SV = 300$ mm). Przy większych wartościach, zdecydowanie lepszym w sensie wartości przeregulowania, opóźnienia oraz wskaźnika IAE, jest regulator PID.
- 2.3.1.2.17. 115¹²⁻¹³: Linearyzacja modelu wahadła odwróconego w założeniu niestabilnym punkcie pracy wymaga szczególnej staranności. Może ona bowiem prowadzić do skutecznego rozwiązania problemu jedynie w przypadku małych wychyleń z położenia równowagi.
- 2.3.1.2.18. 121₂₀: Powołanie się na wykorzystanie 4-punktowej metody różnic centralnych powinno zawierać stosowne cytowanie.
- 2.3.1.2.19. 122-123: Z rys. 5.46 i 5.47 nie wynika poprawna realizacja sterownia ani z wykorzystaniem regulatora rozmytego typu 1, ani typu 2. Wszak w myśl przyjętego założenia, baza wahadła powinna być nieruchoma, gdy tymczasem wartość bezwzględna kąta wychYLENIA ramienia bazy permanentnie rośnie.
- 2.3.1.2.20. 124: Jaki jest kierunek przyspieszenia liniowego osi obrotu wahadła, zdefiniowanego we wzorze (5.24) jako sygnał sterujący u ?
- 2.3.1.2.21. 125: Wzór (5.26) jest błędny.
- 2.3.1.2.22. 133-139: Na rys. 5.51-5.53 oraz 5.55-5.57 nie widać osiągnięcia w układzie stanu ustalonego, pomimo istnienia procesu sterowania.
- 2.3.1.2.23. 138: Ze wzoru (5.52) wynika, że λ powinna mieć wymiar [1/s]. Tymczasem, w innym miejscu (np. 138^s) λ jest liczbą bezwymiarową. Czy istnieje dowód analityczny na to, że $\lambda=15$ jest wartością najlepszą?
- 2.3.1.2.24. 153: Wyniki przedstawione w tab. 5.11 pokazują, że autor nie zdefiniował wyraźnego planu badań zmierzających do sformułowania jednoznacznej konkluzji. W szczególności brakuje odpowiedzi na pytanie, jaka liczba alfa-płaszczyzn regulatora jest najlepsza z punktu widzenia obliczonych wartości wskaźników jakości.
- 2.3.1.2.25. 160: Podpis pod rys. 5.77 jest nieprawidłowy. Na wykresie jest przedstawiona odpowiedź siłownika na sygnał prostokątny, a nie – jego charakterystyka statyczna.
- 2.3.1.2.26. 162: Obecność na dolnym schemacie przedstawionym na rys. 5.79 członu całkującego o działaniu dyskretnym może powodować utratę stabilności układu sterowania.
- 2.3.1.2.27. 172₂₋₁: Na czym polegała „wstępna weryfikacja konstrukcji w programach CAD i MES”?
- 2.3.1.2.28. 186¹⁻³: Kryterium doboru stopnia rozmycia w postaci „*jak najmniejszego niepożądanego sfaldowania powierzchni*” jest niejasne i wymaga doprecyzowania.
- 2.3.1.2.29. 192₅₋₄: Na rys. 5.120 przedstawiono nie układ wykorzystany w budowie regulatora rozmytego, lecz jego charakterystykę.
- 2.3.1.2.30. 195₇₋₆: Pominięcie przy budowie pierwszego regulatora rozmytego typu PI akcji różniczkowania wymaga uzasadnienia.

2.3.1.3. Ocena rozprawy pod względem redakcyjnym

Układ treści jest logicznie prawidłowy. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów są zrozumiałe i w większości odpowiadają ich zawartości. Materiał ilustracyjny dobrano właściwie do treści poszczególnych fragmentów. Język pracy jest na ogół poprawny, czytelny i zrozumiały, aczkolwiek w treści zauważa się niezręczne sformułowania i błędy stylistyczne. Habilitant powinien dołożyć większej staranności w celu poprawnego opracowania pracy pod względem językowym i edytorskim. Natomiast wadliwości redakcyjnych i terminologicznych, które wyszczególniam i koryguję poniżej, należy unikać podczas pisania rozpraw naukowych.

- 2.3.1.3.1. 18⁸: Sformułowanie „...z gaussowską...funkcją... przynależności...” pochodzi z terminologii potocznej. Sformułowanie powyższe pojawia się w wielu miejscach pracy.
- 2.3.1.3.2. 34: Fragment „Funkcja dzwonowa” z podpisu pod rys. 4.2 pochodzi z terminologii potocznej.
- 2.3.1.3.3. 47: Co oznaczają sformułowania: „...podejścia opartego na dokładnej optymalizacji... (47¹⁰⁻¹¹) i „...modele rozmyte...” (47¹³⁻¹⁴).
- 2.3.1.3.4. 48: Powinno być: „masowy moment bezwładności wirnika” i jednostka „kg m²” (48⁴), „współczynnik tłumienia wiskotycznego” (48⁵), „współczynnik sztywności liny” (48¹³), „równanie spadków napięć” (48⁹).
- 2.3.1.3.5. 49: Powinno być: „Równanie równowagi momentów” (49¹⁰) i „moment sił bezwładności wirnika” (49¹³).
- 2.3.1.3.6. 65⁶: Powinno być: „Estymatę sygnału...”.
- 2.3.1.3.7. 75₅: Fraza „Utworzony projekt” jest wyjęta z kontekstu. Nie bardzo wiadomo, jaki projekt ma tutaj Habilitant na myśli.
- 2.3.1.3.8. 114₆: Czy są to współczynniki tłumienia translacyjnego, czy rotacyjnego?
- 2.3.1.3.9. 117₈: Co oznacza „...zamodelowanie stanowiska laboratoryjnego...”.
- 2.3.1.3.10. 119⁷:⁹: Powinno być „współczynnik tłumienia wiskotycznego w ruchu obrotowym”.
- 2.3.1.3.11. 130: powinno być: „przemieszczenie kątowe ramienia bazy (130³)/wahadła (130⁴)”.
- 2.3.1.3.12. 141¹²: Termin „obciążenie 7 kg” jest niepoprawny. Identyczna uwaga dotyczy terminu „obciążenie 7,5 kg” (158₁₃).
- 2.3.1.3.13. 161: W podpisie pod rys. 5.78 powinni być „...w środowisku Matlab/Simulink”.
- 2.3.1.3.14. 170: W podpisie pod rys. 5.94 powinno być „Schemat symulacji...”
- 2.3.1.3.15. 170⁹: Powinno być „W tabeli 5.13...”.
- 2.3.1.3.16. 175¹: Powinno być „...pierwszą pochodną względem czasu...”.
- 2.3.1.3.17. 178₃: Sformułowanie „Charakterystyka siłowa” pochodzi z terminologii potocznej.
- 2.3.1.3.18. 191₅: Nie wiadomo, co oznacza termin „nie jest idealnie liniowy”.

2.4. Podsumowanie

Pomimo przedstawionych uwag ogólnych i szczegółowych stwierdzam, że opiniowana monografia **dokumentuje** w dostatecznym stopniu jakość osiągnięcia naukowego, wymaganą w celu uzyskania **stopnia doktora habilitowanego**. Zamieszczone uwagi krytyczne i dyskusyjne nie pomniejszają mojej

pozytywnej oceny rozprawy. Habilitant wykazał się opanowaniem niezbyt często spotykanej w dyscyplinie *Budowa i eksploatacja maszyn*, a niezbędnej i pożytecznej umiejętności tworzenia własnych zaawansowanych aplikacji numerycznych, na użytek rozwiązywania problemów szczegółowych o charakterze naukowym i inżynierskim w zakresie sterowania rozmytego układów mechatronicznych. Powszechnie znanych jest wiele środowisk umożliwiających automatyczne generowanie kodów programów obsługujących regulatory automatyki przemysłowej, ale „kluczem” umożliwiającym skuteczne posługiwanie się nimi jest posiadanie wymaganej wiedzy i doświadczenia. Habilitant wykazał się wszechstronną znajomością różnorodnych środowisk programowania w czasie wirtualnym i w czasie rzeczywistym stosowanych w budowie i eksploatacji maszyn regulatorów.

3. Ocena pozostałego dorobku naukowo-badawczego

Habilitant, po uzyskaniu stopnia doktora, zgromadził znaczący pod względem ilościowym i jakościowym dorobek naukowy. Jak autor/współautor opublikował łącznie:

- **25** prac indeksowanych w bazie *Web of Science Core Collection*. Według bazy *Web of Science*, aktualna liczba cytowań wynosi **44**, a Indeks Hirscha – **5**;
- **10** artykułów indeksowanych w bazie *Journal Citation Report*, posiadających łączny *Impact Factor* **11,692** (obliczony dla roku wydania) oraz **13,761** (obliczony dla 5 lat wydawniczych w roku 2016). Jego udział współautorski, wg własnego oświadczenia, wynosił od 20 do 90%, a w jednym przypadku była to praca autorska (o udziale 100 %). Na szczególne podkreślenie zasługują publikacje kandydata (indywidualne oraz zespołowe z jego dominującym udziałem) w czasopismach o zauważalnej rozpoznawalności na skalę światową, np. *Mechanical Systems and Signal Processing* (5-letni IF=3,418) czy *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* (5-letni IF=2,400);
- **4** udzielone patenty;
- **5** monografii i podręczników akademickich;
- **62** recenzowane publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych.

Łączna punktacja wg MNiSW opublikowanych osiągnięć dr. I. Dominika wynosi **655**.

Wygłosił on **24** referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych. W czasie swojej pracy w AGH w Krakowie Habilitant aktywnie uczestniczył w charakterze wykonawcy/głównego wykonawcy w realizacji **11** projektów badawczych i rozwojowych, finansowanych ze środków na naukę. Godnym podkreślenia w tym miejscu jest pozyskanie w 2016 r., jako kierownik projektu, dofinansowania w konkursie **TANGO2** – wspólnym przedsięwzięciu Narodowego Centrum Nauki oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Powyższe świadczy o umiejętności zastosowania wyników badań naukowych w praktyce gospodarczej, na bazie zrealizowanego uprzednio projektu bazowego. Tematyka prac badawczych Habilitanta jest w dużym stopniu powiązana z działalnością naukową Katedry Automatyzacji Procesów AGH, w której pracuje on nieprzerwanie od czasu ukończenia studiów.

Oceniając przedmiotowy dorobek publikacyjny należy podkreślić pokaźną liczbę prac opublikowanych w czasopismach zagranicznych (w tym z listy JCR). W ich przeważającej większości Habilitant jest współautorem o znacznym udziale własnym, co świadczy o jego umiejętności formułowania i rozwiązywania złożonych problemów naukowo-badawczych *Budowy i eksploatacji maszyn*. Bardzo wysoko należy również ocenić bogate doświadczenie we współpracy z otoczeniem przemysłowym i gospodarczym, udokumentowane **7**. oryginalnymi osiągnięciami projektowymi, konstrukcyjnymi i technologicznymi, oraz **8**. opracowaniami niepublikowanymi. Otrzymał on **8**-krotnie Nagrodę rektora AGH (indywidualną, bądź zespołową), w tym **1**-krotnie nagrodę I stopnia i **4**-krotnie nagrody II stopnia.

Dorobek naukowy Habilitanta **predestynuje** Go do uzyskania **stopnia doktora habilitowanego** .

4. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

Habilitant, jako wieloletni pracownik naukowo-dydaktyczny Katedry Automatyzacji Procesów Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, zgromadził znaczny i

udokumentowany dorobek dydaktyczny i organizacyjny. Uczestniczył w dydaktycznych programach międzynarodowych i krajowych, tj.:

- Erasmus + (2014-2020). Jest koordynatorem umów pomiędzy AGH a Norwegian University of Science and Technology Trondheim, Norwegia, Universidad de Oviedo, Oviedo, Hiszpania, oraz Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Hiszpania;
- UNESCO Chair for Science, Technology and Engineering Education at the AGH University – sprawuje opiekę nad zagranicznymi studentami programu, nadzoruje projekty inżynierskie;
- Summer school *Manufacturing integrated systems and Measuring and control of mechanical integrated systems* – prowadził zajęcia na kursie programowania sterowników przemysłowych PLC dla studentów z Meksyku, Kolumbii, Boliwii i Puerto Rico (2002-2017, łącznie 700 studentów);
- projekt „Spin – Skuteczny Przedsiębiorca i naukowiec” realizowany w ramach PO Kapitał Ludzki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.1. Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw – prowadził zajęcia na kursie doradczym (01.02-03.03.2012) z zakresu zakładania i prowadzenia działalności gospodarczej typu *spin-off*.

Dr Dominik brał udział w pracach komitetów konferencji naukowych: *10th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods* MARDIH 2011, 06-08.06.2011, Wojanów (członek Komitetu Organizacyjnego), *14th International Carpathian Control Conference ICC* 2013, 26-29 May, 2013, Rytro (członek Komitetu Organizacyjnego), oraz *Krakowskie Sympozjum Naukowo-Techniczne*, Kraków, członek Komitetu Organizacyjnego (Krasynth 2015) i Komitetu Programowego (Krasynth 2016). Od 2014 r. jest członkiem *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME). Był promotorem **50** prac inżynierskich, **66** prac magisterskich oraz **5** prac magisterskich w ramach programu Erasmus. Jedną z wypromowanych prac wyróżniono w VI Konkursie o Nagrodę Siemensa dla Absolwentów (2016). Uczestniczył także w **5** wydarzeniach krajowych związanych z popularyzacją nauki. Za osiągnięcia dydaktyczne otrzymał **2-krotnie** Nagrodę rektora AGH, w tym – **1** (zespołową) I stopnia.

Przygotował **1** ekspertyzę (2015) pt. „Konstrukcja i sterowanie aktywnej protezy dłoni” na zlecenie Krakowskiego Zakładu Sprzętu Ortopedycznego, oraz **1** opracowanie (2011-2012) na zamówienie z branży automatyki dotyczące nowych produktów firm Beckhoff i Siemens. Recenzował **15** publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych, w większości posiadających wysoki *Impact Factor* (maks. 6,383). Był członkiem jury w XXIII Ogólnopolskiej Olimpiady Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej (2010).

Spśród innych osiągnięć Habilitanta należy wymienić:

- projekt i wykonanie **8**. mobilnych stanowisk laboratoryjnych w Laboratorium Przemysłowych Systemów Sterowania w Katedrze Automatyzacji Procesów AGH (2015);
- współpracę z przemysłem, a zwłaszcza z firmami Siemens, Bernecker & Rainer, Alan Bradley, Eplan i Omron;
- organizację praktyk studenckich w firmach;
- Studia podyplomowe „Przemysłowe Systemy Sterowania” (**13**. edycja, a od **12**. pełni funkcję kierownika).

Uważam, że Habilitant posiada **wystarczający** dorobek dydaktyczny i organizacyjny, niezbędny do uzyskania **stopnia doktora habilitowanego**.

5. Informacja o dotychczasowym przebiegu postępowania habilitacyjnego

Dr inż. Ireneusz Dominik ubiegał się już o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie *Automatyka i robotyka*. Jednak wówczas dwaj recenzenci uznali, że wybór dyscypliny naukowej był niewłaściwy. Stąd, na wniosek Habilitanta, Rada Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH im. Stanisława Staszica w Krakowie podjęła w dniu 29 września 2017 r. uchwałę nr 14/09/2017 w sprawie umorzenia uprzedniego postępowania habilitacyjnego.

Opinia w sprawie nadania dr. inż. Ireneuszowi Dominikowi stopnia naukowego doktora habilitowanego

Osiągnięcia naukowo-badawcze i dydaktyczne, jak również rozprawa habilitacyjna dr. inż. Ireneusza Dominika, znacznie pomnożone po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych, są wystarczające w świetle wymagań stawianych kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych. Osiągnięcia te wymagały bardzo szerokiej i wszechstronnej wiedzy z zakresu fizyki zjawisk, automatyki i sterowania oraz metod numerycznych w badaniach dynamiki i symulacji procesów, a także – umiejętności programowania i obsługi współczesnych narzędzi techniki komputerowej. Dr inż. I. Dominik prezentuje wyraźnie zarysowaną sylwetkę naukową, osobiste zaangażowanie w uprawianym kierunku badań, szerokie horyzonty i dojrzałość naukową.

Przedłożona do oceny rozprawa habilitacyjna, jako monografia autorska pt.: „Algorytmy rozmyte typu 2 w sterowaniu układami mechatronicznymi”, dokumentuje istotne osiągnięcie naukowe kandydata. Pozostały dorobek naukowy jest znamienny swoją rozpoznawalnością w skali międzynarodowej, potwierdzoną również wysokimi wartościami wskaźników bibliometrycznych.

Wyrażam opinię, że dorobek zgromadzony po uzyskaniu stopnia doktora, w tym – przedłożone do oceny osiągnięcie naukowe, wnoszą znaczny wkład do rozwoju dyscypliny *Budowa i eksploatacja maszyn*, a sam Habilitant wykazuje istotną aktywność naukową. Spełnia On zatem wszystkie wymagania, jakie kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego stawia aktualnie obowiązująca Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z uwzględnieniem późniejszych zmian). Wnoszę przeto o dopuszczenie **dr. inż. Ireneusza Dominika** do dalszych czynności postępowania habilitacyjnego, związanych z nadaniem stopnia naukowego **doktora habilitowanego** w dyscyplinie **Budowa i eksploatacja maszyn**.

