



Łódź, 27 października 2021

dr hab. inż. Adam Wojciechowski, prof. uczelni  
Instytut Informatyki  
Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej  
Politechnika Łódzka  
Al. Politechniki 8  
93-590 Łódź

#### RECENZJA

#### wniosku o nadanie stopnia DOKTORA HABILITOWANEGO

w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
Panu doktorowi inżynierowi Krzysztofowi Wiktorowiczowi

Niniejsza recenzja została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, która na posiedzeniu z dnia 21 maja 2021 roku uchwałą nr BA3-0005-3/21 zdecydowała o powołaniu mnie na recenzenta w sprawie wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Panu doktorowi inżynierowi Krzysztofowi Wiktorowiczowi.

#### Informacje wstępne

Pan dr inż. Krzysztof Wiktorowicz ukończył studia magisterskie w roku 1993 na Wydziale Elektrotechniki, Politechniki Rzeszowskiej, na kierunku elektrotechnika, specjalność: automatyka i metrologia – tytuł pracy magisterskiej „*Automatyczne generowanie reguł sterowania zmodyfikowanego regulatora rozmytego*”. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Instytucie Cybernetyki Technicznej, Politechniki Wrocławskiej w 2001 roku na podstawie rozprawy zatytułowanej „*Jakość regulacji rozmytej*”. Habilitant zatrudniony jest obecnie na stanowisku profesora uczelni na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki, Politechniki Rzeszowskiej.

Dr inż. Krzysztof Wiktorowicz zwrócił się w dniu 23 listopada 2020 roku z wnioskiem o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Wniosek dra inż. Krzysztofa Wiktorowicza skierowany za pośrednictwem Rady Doskonałości Naukowej określa jako podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja osiągnięcie określane jako cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. „*Wybrane metody uczenia systemów rozmytych*”.

#### Ocena osiągnięcia naukowego

W skład cyklu publikacji przedstawionych przez Habilitanta wchodzi sześć artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie z listy *Journal Citation Report*. Oceniając zasadność wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego, na podstawie wspomnianego cyklu publikacji, należy

uwzględnić wagę osiągnięć naukowych opisanych w publikacjach i ich znaczenie w reprezentowanej dziedzinie.

Dwie publikacje z 2016 i 2017 roku w czasopiśmie *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* to prace, w których Pan dr inż. Krzysztof Wiktorowicz jest jedynym autorem. Pozostałe publikacje mają wielu autorów, z czego w trzech pracach udział Habilitanta był większościowy (od 50% do 60%), zaś w jednej z prac wynosił 30%. Podane w powiązonym tematycznie cyklu prace to artykuły w bardzo dobrych czasopismach, o wysokich wskaźnikach wpływu, głównie z pierwszego kwartyła czasopism sygnowanych dyscypliną Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Fakt, że Kandydat jest w większości przypadków głównym lub jedynym autorem świadczy o dobrej pozycji naukowej i rozpoznawalności na arenie międzynarodowej, chociaż wśród autorów nie ma autorów z zagranicznych uczelni, co rzuca cień na międzynarodową współpracę naukową Habilitanta.

Pod względem merytorycznym dorobek naukowy Habilitanta dotyczy szeroko pojętych metod uczenia systemów rozmytych, które zamknął w jednotematycznym cyklu publikacyjnym pt. *Wybrane metody uczenia systemów rozmytych*. Prace dotyczą głównie dwóch podejść nauki systemów rozmytych, tzw. *on-line* i *off-line*. W pierwszym podejściu uczenie realizuje się poprzez syntezy systemów rozmytych, posiadających tzw. model odniesienia, pracujących w układzie zamkniętym z tzw. sprzężeniem zwrotnym. W podejściu *off-line* celem jest synteza modelu rozmytego, który aproksymuje zależność pomiędzy wyjściem i wejściem systemu, na podstawie obserwacji par danych typu wejście-wyjście. Analiza tych układów może odbywać się za pomocą metod częstotliwościowych, opierających się na analizie charakterystyk widmowych obiektów, które z kolei można weryfikować graficznie. Daje to niezależność od rzędu modelowanego układu i przydatność dla obiektów działających z opóźnieniem czasowym. Główne prace z cyklu bazują na dwóch spostrzeżeniach. Pierwsze polega na spostrzeżeniu, że wybrane twierdzenia o stabilności absolutnej można stosować do analizy i syntezy rozmytych układów uczących się. Drugie zauważa, że funkcja systemu rozmytego może być tzw. nieliniowością sektorową.

Praca [A1] zatytułowana „*Output feedback direct adaptive fuzzy controller based on frequency domain methods*” stanowi pierwszą z wskazanych i jednocześnie znaczącą pracę w dorobku przedłożonym do oceny przez Habilitanta w ramach jednotematycznego cyklu publikacji. Praca opisuje autorską metodę projektowania sektorowo ograniczonego, adaptacyjnego rozmytego kontrolera w układzie ze sprzężeniem od wyjścia. Metoda uwzględnia procedurę adaptacyjności rozmytego kontrolera typu SISO (ang. *Single-Input/Single-Output*) w oparciu o metody częstotliwościowe. Oryginalność pracy bazuje na dwóch spostrzeżeniach. Pierwsze dotyczy zastosowania kryterium okręgu, jako kryterium stabilności nieliniowego, zmiennego w czasie układu, zaś drugie spostrzeżenie dotyczy sektorowo ograniczonej nieliniowości w przypadku rozważanego kontrolera rozmytego Takagi-Sugeno (T-S). Chociaż rozważania były prowadzone dla konkretnego typu kontrolera i wybranych kryteriów stabilności to zaproponowaną metodę adaptacji można zastosować dla dowolnego nieliniowego rozmytego kontrolera. Praca jest bardzo dobrze napisana i dokumentuje zarówno samą metodę jak i dowód spełnienia podstawowych własności funkcji kontrolera rozmytego. Demonstruje również teoretyczny choć cenny przykład związany z niestabilnym obiektem z nieznanym biegunem w lewej półpłaszczyźnie. Warta podkreślenia jest wprowadzona metodologia uczenia rozmytego kontrolera, która dzięki bardzo systematycznemu, niemalże inżynierskiemu, nie wymagającemu zaawansowanej matematyki podejściu, wydaje się prosta w adaptacji przez inżynierów projektujących układy regulacji. Niestety brakuje w autoreferacie informacji, czy opracowana metoda rzeczywiście doczekała się zastosowań praktycznych.

Kolejna praca [A2] zatytułowana „*Design of state feedback adaptive fuzzy controllers for second-order systems using a frequency stability criterion*” jest rozszerzeniem pracy [A1] w zakresie uczenia on-line rozmytych systemów drugiego rzędu o dwóch wejściach i jednym wyjściu typu MISO (ang. *Multiple-Input/Single-Output*) w układzie ze sprzężeniem od stanu. Metoda bazuje na kryteriach stabilności absolutnej układu, których użycie zostało zainicjowane właśnie przez Habilitanta (zmodyfikowanym kryterium koła). Mechanizm uczenia oparto na przybliżonej metodzie gradientowej opartej na funkcji kosztu. Dzięki zastosowaniu metod częstotliwościowych do syntezy i analizy systemów uczących się, możliwa jest graficzna interpretacja charakterystyk widmowych obiektów na płaszczyźnie Nyquista. Zademonstrowano na przykładach, że w trakcie uczenia funkcja systemu rozmytego pozostaje w bezpiecznym sektorze.

Kolejna praca z cyklu [A3] zatytułowana „*Training High-Order Takagi-Sugeno (T-S) Fuzzy Systems using Batch List Squares and Particle Swarm Optimisation*” poświęcona jest hybrydowemu uczeniu systemów rozmytych Takagi-Sugeno (T-S) wysokiego rzędu w podejściu *off-line*. Innowacje Habilitanta polegały na zastosowaniu wsadowej regresji grzbietowej do uczenia następników reguł, zaproponowaniu metody budowy regresji segmentowej za pomocą systemu T-S zerowego rzędu oraz współpracy przy opracowywaniu funkcji celu dla uczenia poprzedników reguł, stosując optymalizację rojem cząstek. Zaproponowane usprawnienia podniosły ważną kwestię elastyczności systemów rozmytych. Wprowadzenie wielomianów wyższych rzędów w następnikach reguł daje większą elastyczność w uczeniu systemów rozmytych pod warunkiem dopilnowania ich stabilności, o co zadbał Habilitant. Dla wybranych funkcji nieliniowych jednej zmiennej udowodniono, że dla gaussowskich funkcji przynależności metoda hybrydowego uczenia systemu T-S ma mniejszy błąd dopasowania.

Kolejna praca [A4] zatytułowana „*Sparse Regression and Particle Swarm Optimisation in training High Order Takagi-Sugeno Fuzzy Systems*” poświęcona była dalszym wariantom usprawniającym hybrydowe uczenie systemów rozmytych Takagi-Sugeno wysokiego rzędu, w tym zastosowania regresji rzadkiej do uczenia następników reguł, czy opracowywania funkcji celu dla uczenia poprzedników reguł. Habilitant zaproponował również nowe kryterium jakości modeli oparte o kompromis pomiędzy dokładnością modelu i jego rzadkością. Przeprowadzone eksperymenty pokazały, że zastosowanie regresji rzadkich i optymalizacji rojem cząstek może zredukować błąd walidacyjny i może uprościć model poprzez wyzerowanie określonych współczynników. Z kolei praca [A5] zatytułowana „*Approximation of two-variable functions using high-order Takagi-Sugeno fuzzy systems, sparse regressions and metaheuristic optimisation*” rozszerza poprzednie podejście z artykułu [A4] w zakresie uczenia następników reguł o rozwiązania dedykowane systemom T-S wysokiego rzędu o dwóch wejściach – odnosi się do problemu aproksymacji funkcji dwóch zmiennych. Proponuje zastosowanie algorytmów metaheurystycznych (algorytm genetyczny, symulowane wyżarzanie) do opracowywania funkcji celu dla uczenia poprzedników reguł.

Ostatnia z prac w cyklu [A6] zatytułowana „*A web-oriented expert system for planning hurdles race training programmes*” stanowi ciekawe uzupełnienie poprzednich badań gdyż poświęcona jest programowaniu modeli rozmytych oraz sporządzaniu liniowych i nieliniowych modeli matematycznych (regresyjnych) w systemie eksperckim służącym do trenowania biegu przez płotki. Habilitant w ramach badań, przeprowadzonych w interdyscyplinarnym zespole, opracował metodę korekcji błędów walidacyjnego dla klasycznej regresji najmniejszych kwadratów za pomocą systemu rozmytego, co znalazło zastosowanie w lepszej predykcji rezultatu treningu i generowaniu obciążeń treningowych.

Reasumując, w ramach przedłożonego do oceny cyklu publikacji najważniejsze rezultaty badań moim zdaniem obejmują:

- nowatorskie zastosowanie metod częstotliwościowych do syntezy i analizy uczących się systemów rozmytych typu SISO i MISO;
- opracowanie metody uczenia systemów rozmytych przy zachowaniu warunków stabilności układu;
- wykorzystanie różnych rodzajów regresji i optymalizacji rojem cząstek do uczenia systemów rozmytych Takagi-Sugeno;
- wykorzystanie systemu rozmytego do korekcji błędu walidacyjnego dla klasycznej regresji najmniejszych kwadratów.

Szczególnie pierwsze dwa osiągnięcia mają znaczący potencjał teoretyczny, zaś ostatnie osiągnięcie uzyskało największy wymiar praktyczny w badaniach interdyscyplinarnych z pogranicza informatyki i sportu.

### Ocena aktywności naukowej kandydata

Wymagania dla kandydatów do stopnia doktora habilitowanego wymieniają jako istotny element aktywność w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej czy instytucji kultury, w szczególności zagranicznej. Jako element dorobku Habilitanta w tym zakresie należy wymienić jego współpracę badawczą w latach 2011-2019 z pracownikami Uniwersytetu Rzeszowskiego i Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Szczególnie podczas współpracy z AWF w Katowicach, Habilitant uczestnicząc we wspólnym projekcie badawczym MNiSW nr N RSA4 00554, poświęconym „Wspomaganiu procesu treningowego w biegach przez płotki z wykorzystaniem modelowania komputerowego” zrealizował szereg wartościowych badań, które zaowocowały wartościowymi pracami. Wśród nich należy wymienić jedną pracę z cyklu [A6], dwie prace spoza cyklu [B1] i [B2], ale w czasopiśmie ze współczynnikiem wpływu oraz jedną podsumowującą prace badawcze monografię [B3], których Habilitant jest współautorem. Chociaż we wniosku brakuje informacji odnośnie staży naukowych to współpraca krajowa spełnia moim zdaniem wymagania RDN i Ustawy w stopniu dostatecznym.

We wniosku brakuje informacji odnośnie współpracy międzynarodowej, odbytych stażach międzynarodowych, czy innych zamierzeniach badawczych. Biorąc pod uwagę okres 20 lat, jakie upłynęły od obrony doktoratu, nie jest to dobry wskaźnik. Trudno jest wywnioskować na podstawie złożonego wniosku, czy oprócz uczestnictwa w kilku wybranych konferencjach międzynarodowych Habilitant aktywnie angażuje się jako recenzent dla redakcji czasopism i komitetów konferencji międzynarodowych.

Dr inż. Krzysztof Wiktorowicz był w latach 2001-2003 wykonawcą w grantie KBN nr 7 T11A 018 21 poświęconym projektowaniu i analizie wybranych układów sterowania rozmytego oraz był wykonawcą we wcześniej wspomnianym grantie MNiSW. Brakuje we wniosku informacji odnośnie działalności Habilitanta w zakresie udziału w projektach międzynarodowych oraz przede wszystkim składania i pozyskiwania ewentualnych grantów. To bardzo istotny obszar kompetencji, który powinien charakteryzować samodzielnych pracowników nauki.

Całkowity dorobek naukowy dra inż. Krzysztofa Wiktorowicza, po uzyskaniu stopnia doktora, obejmuje 34 prace, w tym jedną monografię, 9 prac ze współczynnikiem wpływu oraz publikacje konferencyjne i rozdziały w monografiach. Baza *Web of Science* podaje na dzień sporządzania recenzji 19 publikacji, których Habilitant jest autorem lub współautorem, liczba cytowań wynosi 54 (37 bez auto-cytowań; IH=4). Baza *Scopus* natomiast podaje na dzień sporządzania recenzji 25 prac z udziałem Habilitanta

o łącznym współczynniku Hirsha 6 przy 87 cytowaniach (63 bez auto-cytowań;  $IH=4$ ). Łączny współczynnik *Impact Factor* dla publikacji, które ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora, wynosi 36.603, zaś łączne punkty MNiSW wynoszą 664. Wymienione wskaźniki bibliometryczne należy uznać za wystarczające.

Habilitant w czasie pracy na Politechnice Rzeszowskiej prowadził szeroką gamę zajęć dydaktycznych, między innymi z przedmiotów: logika i teoria mnogości, logiczne układy sterowania, automatyka i sterowanie, roboty mobilne, programowanie systemów ekspertowych. Do przedmiotu logika i teoria mnogości opublikował materiały dydaktyczne, które dwukrotnie doczekały się wznowienia wydawniczego. W omawianym okresie był promotorem 77 prac dyplomowych na kierunkach: informatyka, automatyka i robotyka oraz elektrotechnika.

Dr inż. Krzysztof Wiktorowicz nie zadeklarował członkostwa w żadnej organizacji naukowej, ani udziału w przewodach doktorskich jako promotor pomocniczy. Brak też informacji o działalności organizacyjnej na Politechnice Rzeszowskiej. W tym zakresie działalność Habilitanta jest nieznana.

### Podsumowanie

Oceniając całokształt prezentowanych osiągnięć i aktywności należy podkreślić, że Pan dr inż. Krzysztof Wiktorowski jest aktywnym i kreatywnym pracownikiem naukowym. Po uzyskaniu stopnia doktora, w 2001 roku, może poszczycić się zauważalnymi osiągnięciami naukowymi, mierzonymi znaczącą liczbą opublikowanych prac w dobrych czasopismach o międzynarodowym zasięgu – łącznie po doktoracie opublikował 34 prace, w tym 9 w czasopismach z współczynnikiem wpływu. Wyniki prac były prezentowane również na kilku konferencjach międzynarodowych.

Sześć publikacji stanowiących cykl w prezentowanym wniosku należy ocenić jako prezentujące oryginalne i ciekawe koncepcje oraz rozwiązania świadczące o dojrzałości i samodzielności Habilitanta. Dr inż. Krzysztof Wiktorowski jest jedynym lub głównym autorem najważniejszych publikacji z cyklu. Skumulowany współczynnik wpływu publikacji, które ukazały się po doktoracie wynosi 36.603, zaś indeks Hirsha, nie uwzględniający auto-cytowań, zarówno według bazy *Web of Science* oraz bazy *Scopus* wynosi 4. Dla Kandydata do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych te wskaźniki liczbowe można uznać za spełniające wymagania. W zakresie cytowania prac, które powszechnie uznaje się za realny symptom rangi osiągnięć i ich uznania w środowisku dziedzinowym, należy wierzyć, że ich liczba cechuje się dynamiką wzrostową, głównie ze względu na fakt, że duża część przedłożonego do oceny dorobku pochodziła a ostatniego okresu, sprzed złożenia wniosku.

Wniosek o nadanie Panu doktorowi inż. Krzysztofowi Wiktorowiczowi stopnia Doktora Habilitowanego w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja spełnia moim zdaniem wymagania określone w przepisach, w szczególności Ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - oraz art. 2019 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – i należy uznać go za dostatecznie uzasadniony. Kilka słabszych elementów wniosku związanych z oceną aktywności naukowej, zwłaszcza dotyczących naukowej współpracy międzynarodowej i pozyskiwania grantów badawczych, nie wpływa na pozytywną ocenę całości. Wniosek końcowy i konkluzja przeprowadzonej oceny jest jednoznacznie pozytywna.

Adam Wojciechowski