

Warszawa, 24 czerwca 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Warszawska

Recenzja
osiągnięcia naukowego oraz istotnej aktywności naukowej
Pana dr inż. Wojciecha Rafajłowicza
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna
i telekomunikacja

1. Informacje ogólne

Recenzja została opracowana na zlecenie Kierownika Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Częstochowskiej prof. dr hab. inż. Roberta Nowickiego. Recenzję opracowano zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w art. 219 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

Przedmiotem recenzji jest ocena osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego doktora inżyniera Wojciecha Rafajłowicza, uzyskanego po nadaniu mu stopnia doktora nauk technicznych. Recenzja została opracowana w związku z toczącym się postępowaniem o nadanie Panu dr. Wojciechowi Rafajłowiczowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja prowadzonym przez Radę Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Częstochowskiej.

2. Sylwetka Habilitanta

Dr inż. Wojciech Rafajłowicz ukończył studia wyższe w 2011 roku na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. W 2016 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka, broniąc na Wydziale Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki Uniwersytetu Zielonogórskiego rozprawę doktorską pt. „Hybrydowe algorytmy optymalnego sterowania systemami całkowicie algebraicznymi”.

Od roku 2011 do chwili obecnej dr inż. Wojciech Rafajłowicz jest zatrudniony na Politechnice Wrocławskiej, początkowo na stanowisku asystenta, od 2019 roku na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na Wydziale Elektroniki, a od 2021 na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji.

Dr inż. Wojciech Rafajłowicz od początku swojej aktywności naukowej prowadzi badania poświęcone metodom i algorytmom obliczeniowym do wyznaczania optymalnych decyzji sterujących. Przed doktoratem jego zainteresowania naukowe koncentrowały się na zagadnieniach związanych z projektowaniem algorytmów sterowania procesami, przy założeniu w pełni określonych modeli konkretnej klasy, tj. opisanych równaniami całkowicie-algebraicznymi. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora Habilitant rozszerzył zakres prowadzonych badań dotyczących systemów sterowania. Skoncentrował się na systemach

charakteryzujących się powtarzalnością zjawisk oraz algorytmach obliczeniowych, w których decyzje są podejmowane nie tylko na podstawie wiedzy o modelu, która może być niepełna, ale również zakładają uczenie się całych sekwencji decyzji na podstawie obserwacji, zakładając powtarzalność sekwencji. Dr inż. W. Rafajłowicz prowadzi badania naukowe w obszarach teorii sterowania, modelowania matematycznego, metod optymalizacji wypukłej i niewypukłej, metod numerycznych i uczenia maszynowego oraz komputerowych systemów wspomaganego decyzyjnego.

Habilitant jest autorem i współautorem 48 publikacji, w tym 12 indeksowanych w bazie JCR (ang. *Journal Citation Report*). Cytowalność prac Kandydata wynosi odpowiednio: baza WoS 90 (61 bez autocytowań), baza Scopus 160 (95 bez autocytowań). Indeks-h: 6 (WoS), 8 (Scopus).

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, zatytułowane „*Metody i algorytmy uczenia powtarzalnych sekwencji decyzji – z małą informacją o modelach*”, dr inż. Wojciech Rafajłowicz przedstawił:

- monografię naukową pt. “Learning decision sequences for repetitive processes – selected algorithms” wydaną przez Springer Cham w ramach serii „Studies in Systems, Decision and Control” w roku 2021,
- trzy publikacje w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR (oznaczenia zgodne z autoreferatem):

[ON2] W. Rafajłowicz, Learning novelty detection outside a class of random curves with application to COVID-19 growth, *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 11(3), 195-215, 2021 (IF: 2.5, 140 pkt.)

[ON4] W. Rafajłowicz (30%), P. Jurewicz, J. Reiner, E. Rafajłowicz, Iterative learning of optimal control for nonlinear processes with applications to laser adaptive manufacturing, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(6), 2647-2654, 2019 (IF: 5.312, 140 pkt.)

[ON5] E. Rafajłowicz, W. Rafajłowicz (75%), Iterative learning in optimal control of linear dynamic processes, 91(7), 1522-1540, 2018, *International Journal of Control* (IF: 2.930, 100 pkt.)

- jedną publikację w czasopiśmie indeksowanym w bazie WoS:

[ON3] W. Rafajłowicz, Nonparametric estimation of continuously parametrized families of probability density functions – computational aspects, 13(7), art. 164, 1-20 *Algorithms* (40 pkt.)

- jedną pracę opublikowaną w materiałach międzynarodowej konferencji indeksowanej w bazie CORE:

[ON6] E. Skubalska-Rafajłowicz, W. Rafajłowicz (50%), An exact algorithm for finite matrix space embedding into a Euclidean space when the dimension of the space is not known, 21st, *International Conference on Computational Science (ICCS 2021)*, LNCS, Springer, 514-524, 2021 (140 pkt.)

Monografia oraz dwie publikacje w złożonym do recenzji osiągnięciu to prace jednoautorskie. W pozostałych trzech pracach, średni udział Habilitanta wynosi ponad 50%, poszczególne wartości udziału są w zakresie od 30% do 75%. W przedłożonym cyklu znajdują się trzy pozycje opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie JCR (100-140 pkt. na liście MNIe) oraz publikacja w materiałach konferencji indeksowanej w bazie CORE (140 pkt. na liście MNIe). Do trzech publikacji zostały załączone deklaracje współautorów o procentowym udziale w powstaniu wymienionych prac oraz o zakresie prac wykonanych przez poszczególnych autorów. Współautorzy potwierdzili również zakres prac wykonanych przez Habilitanta. Każda z prac zawartych w cyklu została omówiona w autoreferacie, ze zwróceniem szczególnej uwagi na autorski wkład Habilitanta.

Sumaryczna punktacja publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe wynosi 640, a sumaryczny *Impact Factor* 10,242. Ranga bibliograficzna podstawowego cyklu jest wysoka i spełnia wymagania stawiane wnioskowi habilitacyjnemu.

Przedstawiony cykl publikacji jest skoncentrowany na tematyce sterowania, a konkretnie metodach i algorytmach uczenia i wyznaczania optymalnych decyzji przy założeniu niepełnej wiedzy o modelu procesów przebiegających w sterowanym systemie oraz powtarzalności zjawisk. Biorąc pod uwagę zakres tematyczny czasopism i konferencji, w których były publikowane prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego dra inż. W. Rafajłowicza, to jego kwalifikacja w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja jest właściwa.

Szczegółowa analiza osiągnięcia naukowego

Przedstawione do recenzji osiągnięcie naukowe zawiera propozycje autorskich algorytmów wyznaczania optymalnych decyzji dla procesów charakteryzujących się powtarzalnością zjawisk, konstruowanych przy założeniu, że decyzje są podejmowane nie tylko na podstawie modelu, ale również iteracyjnego uczenia się systemu decyzyjnego. Habilitant słusznie zauważa, że wykraczając poza klasyczną, przyjętą w teorii sterowania, definicję powtarzalności, jest ona typowa dla wielu procesów zachodzących w świecie fizycznym. Wykorzystując tę charakterystykę stwierdza, że możliwe jest opracowanie metod prowadzących do konstrukcji algorytmów uczenia ciągów decyzji, przy ograniczonej informacji o charakterystykach modeli.

Monografia naukowa jest główną pozycją przedstawionego dorobku naukowego i stanowi syntetyczny opis rezultatów badań, które są szczegółowo dyskutowane w publikacjach z recenzowanego cyklu. Habilitant dokonał przeglądu stanu wiedzy, zaprezentował autorskie metody i algorytmy, które mogą być zastosowane do rozwiązania różnych problemów decyzyjnych, w tym obliczania sekwencji decyzji dla procesów powtarzalnych. Algorytmy są odpowiednio sklasyfikowane. Kryterium klasyfikacji to złożoność obliczeniowa reprezentowana w tym przypadku przez długość sekwencji decyzji, czyli sekwencje krótkie, średnie, długie. Autor zaproponował również udoskonalenia rozwiązań opracowanych przez innych badaczy skutkujące zwiększeniem ich efektywności i wydajności. Istotnym osiągnięciem, podsumowanym w monografii, jest opracowanie ujednoliconego sposobu opisu szerokiej klasy problemów uczenia sekwencji decyzji. Szczegółową analizę osiągnięcia naukowego oprę na monografii. Omawiając jej kolejne rozdziały będą równocześnie odnoszą się do pozostałych publikacji wykazanych w osiągnięciu.

Monografia jest napisana w języku angielskim, zawiera 126 stron, osiem rozdziałów, wykaz literatury obejmujący 187 pozycji indeks przedmiotowy, listy tabel i rysunków.

Rozdziały pierwszy i drugi stanowią wprowadzenie w tematykę badań. Zgodnie z tytułem oraz informacją zawartą w pierwszej sekcji monografia koncentruje się na

wybranych podejściach stosowanych do komputerowego wspomaganie decyzji. Autor krótko przedstawia charakterystykę systemów, które stanowią obszar zainteresowań, klasyfikacje problemów optymalizacji i uczenia oraz dokonuje wstępnego przeglądu metod i algorytmów. W większości powszechnie znanych rozwiązań, np. stosujących programowanie dynamiczne, wynikiem są pojedyncze decyzje podejmowane na podstawie aktualnej wartości stanu, przyszyłych sterowań i modeli zakłóceń. Autor zwraca uwagę, iż w przypadku procesów powtarzalnych, takich jak m.in. procesy wsadowe, operacje wykonywane przez stanowiska montażowe, sterowanie repetycyjne i inne, do wyznaczania decyzji sterujących, a wręcz sekwencji takich decyzji można z powodzeniem stosować metody zakładające uczenie się ciągu decyzji. Inspiracją było sterowanie w trybie R2R (*run-to-run control*) oraz sterowanie z uczeniem iteracyjnym ILC (*Iterative Learning Control*), którym poświęcone są dalsze rozdziały pracy. Rozdział 2 prezentuje podstawowe pojęcia i definicje z teorii sterowania systemów, w tym definicje jedno- i wielowariantowych sekwencji decyzyjnych. Omawiane są statyczne, dynamiczne, ciągłe i dyskretne modele procesów, wskaźniki oceny jakości decyzji sterujących dla problemów deterministycznych i losowych, statycznych i dynamicznych.

Rozdział 3 koncentruje się na metodach i algorytmach uczenia decyzji oraz sekwencji decyzji. Omawiane są algorytmy uczenia w przypadku procesów statycznych, przy założeniu dokładnych pomiarów oraz losowo zakłóconych. Dyskutowane jest podejście do uczenia bez wykorzystania modelu (ang. *model-free learning*) oraz różne sposoby wykorzystania modelu w algorytmach wyznaczania decyzji sterujących.

Kolejne cztery rozdziały obejmują rezultaty Habilitanta osiągnięte w zakresie projektowania efektywnych algorytmów uczenia sekwencji decyzji. Łącznie z towarzyszącymi publikacjami z cyklu są one najbardziej wartościowe w kontekście recenzowanego osiągnięcia. Rozdział 4 jest poświęcony konstrukcji algorytmów optymalizacji do wyznaczania krótkich sekwencji decyzji. Proponowane jest zastosowanie algorytmu ewolucyjnego, konkretnie ewolucji różnicowej (ang. *differentia evolution*). W oryginalnej wersji jest to algorytm dla zadań bez ograniczeń. Autor proponuje uogólnienie tego algorytmu na zadania z ograniczeniami funkcyjnymi. W sekcji 4.1 przypomina klasyczne podejście z zewnętrzną funkcją kary, sprowadzające zadanie jednokryterialne optymalizacji do zadania dwukryterialnego i zastosowania skalaryzacji. Metoda ta jest powszechnie stosowana w zadaniach programowania wypukłego i niewypukłego z ograniczeniami. Autor modyfikuje oryginalną metodę ewolucji różnicowej i uogólnia ją na zadania z ograniczeniami funkcyjnymi. Kara za niespełnienie ograniczeń, wyznaczana zgodnie z formułą zaproponowaną przez Fletcher i Leyffer, jest uwzględniana w procesie generacji nowych osobników. Zaproponowana metoda oraz testy potwierdzające jej skuteczność są również omawiane w innych publikacjach autora, wymienionych w pkt. II autoreferatu. Przykład pokazujący zastosowanie metody do rozwiązania rzeczywistego problemu, jakim było wspomaganie decyzji podejmowanych w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się wirusa SARS Cov-2 w Polsce, zawiera następny rozdział monografii. Testy wykazały skuteczność metody i odporność na niedokładności modelu. Inne podejście do rozwiązania zadań optymalizacji w przypadku krótkich sekwencji decyzji jest opisane w pracy [ON3], gdzie autorzy prezentują i weryfikują specjalizowany algorytm uczenia wykorzystujący dwuwymiarową transformatę Fouriera.

Rozdział 5 skupia się na zagadnieniach modelowania rozwoju epidemii. Na wstępie Autor prezentuje modele, które znajdują zastosowanie w tego typu problemach, tj. klasyczne i zmodyfikowane modele logistyczne (ang. *logistic models*) oraz wielomianowe, stosujące wielomiany Bersteina. Następnie koncentruje się na systemach wspomagających jednostki administracji państwa w podejmowaniu decyzji, których celem jest ograniczenie

rozprzestrzeniania się wirusa. Proponuje wybrane algorytmy do wyznaczania sekwencji decyzji. Do prognozowania rozprzestrzeniania się wirusa proponuje zastosowanie metod bazujących na modelu (ang. *model-based prediction*) oraz algorytm Newtona. Rozważa obliczenia symboliczne i hybrydowe (symboliczno-numeryczne). Do wyznaczania sekwencji decyzji dotyczących redukcji kontaktów społecznych proponuje zastosowanie ewolucji różnicowej z omówioną wcześniej autorską modyfikacją.

Sekcje 5.2, 5.3 i 5.4 prezentują wyniki analiz teoretycznych i eksperymentalnych na przykładzie epidemii COVID 19, która zgodnie z przewidywaniem okazała się być procesem powtarzalnym. Problem weryfikowalności powtarzalności procesu jest szeroko dyskutowany w pracy [ON2]. Opisana jest w niej autorska metodyka, która może być m.in. wykorzystana do rozwiązania tego zagadnienia. Sformułowany jest problem klasyfikacji, dyskutowane są różne metody uczenia, zaproponowane i szczegółowo przeanalizowane algorytmy obliczeniowe.

Do wyznaczania sekwencji decyzji Habilitant zastosował prosty model rozprzestrzeniania się wirusa z autorskimi modyfikacjami. W sekcji 5.3 monografii sformułował problem uczenia sekwencji decyzji, przy ograniczeniach na szybkość zmian regulacji ograniczających kontakty społeczne oraz rozwiązał zadanie stosując metody omawiane w rozdziale 4. Analizując wyniki zwrócił uwagę na skuteczność algorytmów, wydajność oraz wymagania na moce obliczeniowe i pamięć.

W kolejnym rozdziale (rozdział 6) uwaga koncentruje się na algorytmach obliczeniowych stosowanych do rozwiązania problemów o większej złożoności, tj. o średnich i długich sekwencjach decyzji. Rozważane są algorytmy wymagające znajomości dokładnego modelu oraz takie, które bazują jedynie na obserwacjach. Uwaga koncentruje się na podejściach wykorzystujących gradient stochastyczny. Autor prezentuje systematyczny przegląd dostępnych rozwiązań, analizując je pod kątem możliwości wyznaczania średnich i długich sekwencji decyzji. Omawia algorytmy K-WSAA (Kniefner-Wolfowitz), SPADL (ang. *simultaneous perturbation algorithm for decision learning*), RSA (ang. *response surface method*). Nowym wynikiem jest zastosowanie algorytmu SPADL do wyznaczania sekwencji decyzji, przy założeniu niedostępności modelu.

Rozdział 7, kluczowy z punktu widzenia dorobku Habilitanta, jest poświęcony prezentacji autorskiej metody iteracyjnego uczenia optymalnych sekwencji decyzji ILODS (ang. *iterative learning of optimal decision sequences*). W przeciwieństwie do algorytmów przedstawionych w poprzednich rozdziałach metoda ILODS do wyznaczenia optymalnych decyzji wykorzystuje bezpośrednio model dynamiki układu. Dzięki temu możliwe jest uczenie znacznie dłuższych sekwencji. Sekcje 7.1 i 7.2 zawierają syntetyczne opisy metod, które stanowiły bazę dla ILODS. Są to sterowanie w trybie R2R (ang. *run-to-run*) oraz iteracyjne uczenie sterowań ILC (ang. *iterative learning control*). Prezentowane są również najczęściej stosowane algorytmy uczenia. Pozostałe podrozdziały są już poświęcone omówieniu metody ILODS. Obejmują one sformułowanie problemu oraz algorytmy obliczania sekwencji decyzji i uczenia. Metodzie ILODS poświęcone są również dwie inne prace z załączonego cyklu publikacji, tj. [ON4] i [ON5]. W pracy [ON5] formułowane jest i rozwiązywane zadanie iteracyjnego uczenia sterowania optymalnego dla przypadku liniowych układów dynamicznych, a w pracy [ON4] prowadzone są analogiczne rozważania, ale dla układów nieliniowych. W obu pracach proponowane są odpowiednie algorytmy obliczeniowe oraz dowody ich zbieżności. Prezentowane są również wyniki badań symulacyjnych zastosowania wspomnianych algorytmów do rozwiązania rzeczywistych problemów: sterowanie robotem suwnicowym [ON5] i napawanie laserowe [ON4].

W ostatnim rozdziale monografii Habilitant proponuje zastosowanie uczenia sekwencji decyzji na bazie obserwacji do analizy obrazów. Prezentuje i weryfikuje na rzeczywistych danych algorytm uczenia decyzji dotyczących klasyfikacji sekwencji obrazów.

Podsumowując, do najważniejszych osiągnięć Habilitanta zawartych w przedstawionym cyklu publikacji zaliczam:

- Zebranie, usystematyzowanie metod i algorytmów uczenia sterowania oraz opracowanie jednolitej metodyki opisu problemów uczenia sekwencji decyzji dla przypadku procesów powtarzalnych.
- Uogólnienie i adaptacja metody iteracyjnego uczenia sterowania do uczenia całych sekwencji decyzji dla procesów powtarzalnych. Wykazanie zbieżności uczenia do rozwiązania optymalnego.
- Opracowanie i realizacja autorskich algorytmów obliczeniowych i modyfikacje istniejących zwiększające ich efektywność i wydajność oraz zakres zastosowań:
 - algorytm symboliczno-numerycznego obliczania gradientu i hesjanu dla modeli rekurencyjnych,
 - algorytm obliczania stochastycznego gradientu dla długich ciągów decyzji, przy założeniu niedokładnych modeli,
 - rozszerzenie metod populacyjnych optymalizacji globalnej o możliwość uwzględniania ograniczeń funkcyjnych,
- Opracowanie metod analizy danych oraz algorytmów obliczeniowych wspierających proces uczenia decyzji:
 - wykrywanie odstępstw w sekwencjach danych,
 - algorytm estymacji rodziny rozkładów prawdopodobieństw zależnych od decyzji,
 - metoda zanurzania przestrzeni metrycznej w wielowymiarowej przestrzeni euklidesowej i algorytm doboru wymiaru przestrzeni euklidesowej [ON6].
- Badania symulacyjne oraz eksperymentalne potwierdzające poprawność analiz formalnych.

Proponowane metody są bardzo dobrze podparte analizą teoretyczną, dotyczącą przede wszystkim zbieżności i odporności algorytmów. Ich efektywność została zweryfikowana przez eksperymenty symulacyjne, w tym wykonane na rzeczywistych danych oraz laboratoryjne, i obejmujące różne problemy, takie jak prognozowanie rozprzestrzeniania się Covid 19, sterowanie robotem suwnicowym, napawania laserem itd. Znalazły one praktyczne zastosowanie w ramach realizowanych przez Habilitanta umów wdrożeniowych. Tym bardziej więc praca badawcza zasługuje na docenienie.

Uwagi krytyczne, które pojawiły się po przeczytaniu monografii to przede wszystkim nieco zbyt syntetyczne opisy niektórych problemów i algorytmów. Brakuje również silniejszego podkreślenia w pracy, przyjętej przez Autora, klasyfikacji algorytmów ze względu na potencjalne zastosowanie, które zależy od długości sekwencji decyzji oraz podsumowującego zestawienia metod. Nieco szkoda, że nie rozważono innych metod optymalizacji oraz możliwości zrównoleglenia obliczeń. Mam na myśli m.in. inne algorytmy heurystyczne i metaheurystyki, np. CMA-ES (*Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy*). Brakuje mi wyraźnego odniesienia się do podejścia symulacja-optymalizacja, czyli przypadku, gdy wskaźniki jakości są wyznaczone przez symulator. Tym bardziej, że taki

przypadek był rozważany w pracach nad modelowaniem rozprzestrzeniania się wirusa SARS Cov-2.

Wymienione powyżej uwagi mają charakter subiektywny i nie obniżają mojej wysokiej oceny przedstawionej do recenzji monografii i towarzyszącego jej cyklu publikacji.

Podsumowując, przedstawiony cykl publikacji jest tematycznie spójny. Prace badawcze wpisują się w nowoczesne nurty wiedzy, a przedstawione do oceny wyniki mają wysoką wartość merytoryczną i potencjał aplikacyjny. Stanowią one istotny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Monografia oraz pozostałe prace z cyklu zostały opublikowane w renomowanym wydawnictwie oraz czasopismach i materiałach konferencji o dużej skali oddziaływania.

4. Ocena pozostałego dorobku naukowego

Na dorobek naukowy dra inż. W. Rafajłowicza opublikowany po uzyskaniu stopnia doktora, poza zgłoszonym do recenzji cyklem publikacji, składają się:

- sześć artykułów opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie JCR,
- jedna monografia współautorska w języku polskim,
- 17 prac opublikowanych w materiałach krajowych i międzynarodowych konferencji,
- redakcja jednej monografii naukowej.

Większość z nich jest związana z głównym nurtem badań, czyli uczenia decyzji. Wśród prac publikowanych w czasopismach z bazy JCR dominują artykuły w czasopismach o wysokich wskaźnikach. Ważnym elementem dorobku jest współautorska monografia naukowa na temat zastosowania przetwarzania obrazów do sterowania procesem napawania laserowego. Należy zwrócić uwagę, że w znacznej części prac stanowiących dorobek naukowy Habilitanta prezentowane są wyniki zastosowania opracowywanych metod i algorytmów do rzeczywistych problemów z różnych dziedzin. Jest to nie tylko omawiane już prognozowanie rozprzestrzeniania się wirusa SARS Cov-2 i próby ograniczania epidemii oraz sterowanie laserem, ale również algorytm tłumienia drgań kabiny operatora koparek w kopalniach odkrywkowych opisany w pracy opublikowanej w *Automation in Construction* (IF 11.45), którego prototyp został testowo wdrożony, a prace są kontynuowane w ramach współpracy z Wydziałem Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.

Drugim, aktywnie rozwijanym nurtem badawczym jest zastosowanie przetwarzania obrazów do podejmowania decyzji diagnostycznych. Prace są prowadzone we współpracy z Wydziałem Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Są to również badania o bardzo dużym potencjale wdrożeniowym. Dotyczą zagadnień wykrywania i klasyfikacji stopnia korozji w kotłach energetycznych. Danymi wejściowymi są sekwencje obrazów z kamery zainstalowanej na pokładzie drona. Wyniki badań zostały podsumowane w publikacji do czasopisma *Energies* (IF 2.072). Inne przykłady zastosowań metod opracowanych przez Habilitanta to podejmowanie decyzji na podstawie przetwarzania obrazów procesów spalania w przemysłowych palnikach gazowych, czy też wykorzystanie przetwarzania obrazów w diagnostyce zagrożonego wyginieciem gatunku szynszyli – efekt współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu.

W dorobku dra inż. W. Rafajłowicza z ostatnich lat pojawił się nowy, ważny nurt badań nad modelowaniem rozprzestrzeniania się wirusów chorobowych, konkretnie wirusa SARS Cov-2. Jest to efekt współpracy międzynarodowej. Habilitant był współzałożycielem grupy

badawczej. Udział w tym projekcie pozwolił na zdobycie m.in. nowych doświadczeń związanych z przetwarzaniem masowych danych na komputerach dużej mocy. Wyniki badań zostały podsumowane w wieloautorskiej publikacji do bardzo prestiżowego czasopisma *Nature Communications* (IF 14.919).

Ocena dorobku publikacyjnego Habilitanta jest pozytywna, zarówno biorąc pod uwagę liczbę publikacji i ich jakość. Prace są rozpoznawalne w krajowym i międzynarodowym środowisku naukowym, o czym świadczą cytowania. Należy zwrócić uwagę na wyraźny wzrost aktywności publikacyjnej po uzyskaniu przez Kandydata stopnia doktora.

5. Ocena aktywności naukowej i współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym

Na podstawie przedłożonej dokumentacji stwierdzam, że dr inż. Wojciech Rafajłowicz jest aktywnym uczestnikiem społeczności naukowej. Habilitant prezentuje wyniki swoich badań na krajowych i międzynarodowych konferencjach, w tym indeksowanych w bazie CORE. Wykonał recenzje 18 prac naukowych zgłoszonych do międzynarodowych czasopism, w tym w większości indeksowanych w bazie JCR. Jest członkiem międzynarodowych i krajowych organizacji i towarzystw naukowych (IEEE, SEP, Polskie Towarzystwo Sieci Neuronowych).

Za działalność naukową, w tym publikacyjną, dr inż. W. Rafajłowicz otrzymał dwie nagrody naukowe Rektora (2021 r. i 2022 r.) oraz członkostwo Academia Iuvenum (konkurs wewnętrzny Politechniki Wrocławskiej).

Istotnym obszarem aktywności naukowej jest udział w krajowych i międzynarodowych projektach. Dr inż. W. Rafajłowicz jeszcze nie kierował zespołami badawczymi, ma jednak doświadczenie jako wykonawca grantów NCBiR (2017 r.) i NCN (2013-2017). Współtworzył też grupę międzynarodową MOCOS (*Modelling of Coronavirus Spread*) działającą pod kierunkiem profesora Tylla Kruegera. W projektach uczestniczył jeszcze będąc studentem (projekty MNiSW) oraz doktorantem (projekty finansowane przez Fundusz Węgla i Stali i EIT KIC).

Ważnym obszarem aktywności badawczej Habilitanta jest współpraca z otoczeniem gospodarczym. Był i jest wykonawcą zespołów realizujących umowy badawczo-rozwojowe, integrujących środowisko naukowe i firmy komercyjne z kraju i zagranicy. Są to umowy z Cemar oraz firmami energetycznymi z Niemiec. Wyniki prac badawczo-rozwojowych zostały wdrożone przez firmę Cemar. Zrealizowano również pilotażowe wdrożenie w KWB Bełchatów. Aktualnie jest negocjowana umowa na kolejne wdrożenia. Za działalność na tym polu Habilitant otrzymał nagrodę Rektora Politechniki Wrocławskiej.

Podsumowując, uważam, że aktywność Kandydata w zakresie działań na rzecz krajowej i międzynarodowej społeczności naukowej oraz współpracy z otoczeniem gospodarczym jest na wysokim poziomie.

6. Ocena dorobku dydaktycznego i działalności organizacyjnej

Habilitant bierze czynny udział w procesie dydaktycznym w macierzystej uczelni. Prowadzi wykłady z dwóch przedmiotów na kierunku Automatyka i Robotyka, specjalność Przemysł 4.0. Sprawuje również opiekę nad ogólnowidziałowym przedmiotem „Podstawy automatyki i robotyki”. Jest członkiem zespołu projektującego i rozwijającego laboratorium „Systemów wizyjnych i monitorowania jakości produkcji”. Wypromował 20 magistrów inżynierów. Obecnie pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim.

Dr inż. W. Rafajłowicz aktywnie uczestniczył w opracowaniu programu studiów na kierunku Informatyczne Systemy Automatyki. To nowy kierunek proponowany przez Wydział, afiliowany przy dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Za działalność na rzecz macierzystej uczelni Habilitant został odznaczony medalem „Zasłużony dla Wydziału Elektroniki” .

Podsumowując, uważam, że aktywność Habilitanta w zakresie dydaktyki i organizacji dydaktyki jest na dobrym poziomie.

7. Ocena końcowa wniosku habilitacyjnego

Na podstawie dokonanej oceny dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego przedstawionego w dokumentacji przewodu habilitacyjnego stwierdzam, że przedłożone osiągnięcie naukowe oraz całokształt dorobku dra inż. Wojciecha Rafajłowicza spełniają wymagania aktualnie obowiązującej Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach Naukowych w Zakresie Sztuki stawiane w przewodzie o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego. Przedstawiony do oceny dorobek wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. W związku z tym, wnioskuję o nadanie dr inż. Wojciechowi Rafajłowiczowi stopnia doktora habilitowanego nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

