

Prof. hab. inż. Krzysztof Zieliński

Kraków 10 luty 2025

Instytut Informatyki

Wydział Informatyki

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Al. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

**Recenzja w postępowaniu w sprawie
nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Piotrowi Przemysławowi Arabasowi**

1. Podstawowe dane o kandydacie

Dr inż. Piotr Arabas uzyskał w roku 1996 tytuł magistra inżyniera w specjalności systemy sterowania i wspomagania decyzji, w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej za pracę pt. *Rozproszona implementacja algorytmu wyznaczania optymalnych sterowań w przypadku prognoz wielowariantowych*.

W roku 2004 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w specjalności automatyka uzyskany na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej za rozprawę pt. *Hierarchiczna struktura w systemie obrony przeciwrakietowej; mechanizmy decyzyjne i badania symulacyjne*.

Dr inż. Piotr Arabas pracuje od roku 2002 do chwili obecnej w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej najpierw na stanowisku asystenta do roku 2004 a następnie do chwili obecnej na stanowisku adiunkta.

Jednocześnie w tym samym okresie pracuje w Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej Państwowym Instytucie Badawczym najpierw do roku 2004 jako asystent w Pionie Naukowym a następnie jako adiunkt w Centrum Badań i Transferu Technologii.

2. informacji o obowiązujących przepisach prawa (na dzień wszczęcia postępowania)

Niniejsza opinia w zakresie oceny osiągnięcia naukowego odpowiada wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2. Uwzględnia także odpowiednie wytyczne Rady Doskonałości Naukowej.

Została przygotowana w wyniku wyznaczenia mnie na recenzenta uchwałą nr 813/2024 Rady Dyscypliny Informatyka techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej z dnia 10 grudnia 2004.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe dr inż. Piotra Arabasa pt. *Sterowanie przydziałem zasobów w energooszczędnych sieciach i rozproszonych systemach przetwarzania danych* stanowi cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b.

Odnosząc się do obszaru naukowego, jakiego dotyczy oceniane osiągnięcie naukowe, należy stwierdzić, że jest on bardzo aktualny i znajduje się w centrum intensywnie prowadzonych badań. Efektywność energetyczna chmurowych centrów przetwarzania danych jest bowiem kluczowym problemem zwłaszcza w dobie intensywnego rozwoju AI. Dlatego obserwuje się dużą liczbę prac naukowych i analiz zwłaszcza w okresie ostatnich kilku lat. Uwzględniają one zmiany technologiczne zarówno w budowie i zarządzaniu sieciami oraz systemami komputerowymi jak i w sposobie budowy aplikacji obliczeniowych. Ostatnie kilka lat jest zdominowane przez budowę „natywnych aplikacji chmurowych” oferujący dużą elastyczność skalowania i zarządzania na poziomie systemowym i aplikacyjnym. Dobrym przykładem tego podejścia jest cała gama projektów realizowanych pod auspicjami CNCF (Cloud Native Computing Foundation). Przykładem projektu wpisującego się tematykę osiągnięcia naukowego habilitanta jest projekt Kepler <https://www.cncf.io/projects/kepler/>. Zmienia on w pewnym stopniu modele optymalizacji, sposób zbierania danych jak również ich wykorzystania.

Ten stan rzeczy sprawia, że ocena osiągnięcia naukowego zawierającego w zdecydowanej większości prace z przed kilku lat jest trudna.

Analizując przedstawiony cykl publikacji bardziej szczegółowo można stwierdzić, że obejmuje on 13 artykułów z czego tylko 4 artykuły **H1**, **H6**, **H12** i **H13** zostały opublikowane po roku 2020. W pięciu publikacjach współautorskich **H4**, **H5**, **H7**, **H11** i **H12** udział kandydata wynosi 20%.

Jako główne artykuły zaliczone do osiągnięcia naukowego kandydata należy, moim zdaniem, uznać artykuł **H1** *Modeling and simulation of hierarchical task allocation system for energy-aware HPC clouds*, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 107, 2021 w którym udział kandydata wynosi 100% a także **H2** *Energy-Efficient Workload Allocation in Distributed HPC System*, w: The 2019 International Conference on High Performance Computing & Simulation HPCS 2019, i **H13** *Energy-Aware Activity Control for Wireless Sensing Infrastructure Using Periodic Communication and Mixed-Integer Programming*, Energies, 2021, t.14, w których udział kandydata wynosi 70%. Są to publikacje z dobrą punktacją oraz IP. Jednakże pomimo upływu już ponad 4 lat od ich opublikowania liczba cytowani tych prac nie jest wysoka i wynosi **H1** - WoS=3, SC=5, GS=6, **H2** - WoS=2, SC=2, GS=3 oraz **H13** - WoS=2, SC=2, GS=2.

Z punktu widzenia tych danych trudno jest uznać osiągnięcie naukowe kandydata jako znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej informatyka i telekomunikacja. Dlatego skupiłem się nad analizą treści merytorycznej rozważanych publikacji. Pozytywną cechą

przedstawionego cyklu publikacji stanowi fakt, że kandydat od ponad 10 lat konsekwentnie zajmuje się przydziałem zasobów w energooszczędnych sieciach i rozproszonych systemach przetwarzania danych. Wykorzystuje przy tym umiejętnie gruntowną wiedzę z zakresu systemów sterowania wyniesioną z okresu studiów i pracy doktorskiej. Dr inż. Piotr Arabas wytycza w ten sposób własne podejście do tego ważnego zagadnienia.

Kandydat słusznie stawia tezę, że efektywne, tak w sensie energetycznym jak i jakości usług działanie systemu wymaga koordynacji wszystkich jego elementów pozostawiając jednocześnie poszczególnym jego składowym na autonomię podejmowania bezpośrednich decyzji sterowania w celu realizacji wyznaczonego zadania. Podejście to jest zbieżne ze znanej z literatury przedmiotu koncepcji „intend based networking” oraz deklaratywnym podejściu do zarządzania systemami chmurowymi i telekomunikacyjnymi. Nawiązuje także do koncepcji systemów SDN oraz SDA, które stanowią podstawę nowoczesnych sieci komputerowych. Jednocześnie modelowanie tych systemów prowadzi do zagadnień bardzo dobrze wpisujących się w obszar hierarchicznych systemów sterowania.

W pracy **H1**, którą uważam za jedną z kluczowych dla oceny osiągnięcia naukowego dr inż. Piotra Arabasa zostało zdefiniowane zadanie sterowania rozdziałem zasobów chmury obliczeniowej, przy założeniu, że wszystkie decyzje są podejmowane przez jednostkę centralnego zarządcy chmury. Istotnym aspektem odróżniającym zaproponowane podejście od wariantów znanych z literatury jest uwzględnienie, przy alokacji zadań, przepustowości i poboru mocy przez sieć łączącą klastry. Wprowadza to dodatkowe ograniczenia z jednej strony zbliżając zaproponowany model do rzeczywistości a z drugiej powodując jego komplikacje. Sformułowanie zadania programowania matematycznego może być rozwiązywane z użyciem standardowych metod optymalizacji dla zadań mieszanych z liniowymi ograniczeniami i liniową funkcją celu. Współczesne systemy chmurowe są zbudowane z tysięcy komputerów i przetwarzają tysiące zadań zatem czas potrzebny do rozwiązania postawionego zadania staje się nieakceptowalny. Zatem sformułowany model należy uznać jako teoretyczny model odniesienia. Uwzględniając ten fakt dr inż. Piotr Arabas zaproponował w pracy **H2** dekompozycję zadania sterowania na podsystemy i jednostkę nadzorującą pracę wyodrębnionych komponentów. Zarządzanie jest realizowane w strukturze hierarchicznej, gdzie decyzje dotyczące podsystemów są podejmowane przez lokalnych decydentów, a ich działania koordynuje jednostka centralna. Przedstawione rozwiązanie polega na konstrukcji zadań optymalnego rozdziału zasobów w poszczególnych klastrach obliczeniowych i sformułowaniu zadania nadrzędnego rozwiązywanego przez zarządcę całej chmury. Analizowana praca ma charakter kompleksowy i zawiera sformułowanie zadania programowania matematycznego koordynatora (GCRM), zadania lokalnego (LRCM) a także schemat iteracyjnego algorytmu alokacji, czyli sposobu, w jaki GCRM koordynuje działania lokalnych zarządców klastrów. Dobrym pomysłem jest wskazanie, że na tym etapie wiedza GCRM na temat budowy i sposobu działania klastrów może nie być pełna i można i zastosować modele uproszczone. Szczegółowe rozważania natury obliczeniowej problemów koordynacji doprowadziły autora do sformułowania metody heurystycznej, co prawda suboptymalnej, ale pozwalającej w racjonalny sposób zorganizować współpracę zarządców klastrów i koordynatora. Proponowane podejście eliminuje potrzebę wielokrotnego rozwiązywania zadania lokalnego programowania mieszanego. Metoda heurystyczna, jest rodzajem algorytmu zachłannego, którą autor wykorzystał też w pracy **H1**. Uwzględnia ona sytuację, że

z punktu widzenia zarządcy klastra problem występuje wtedy, gdy zasoby przeznaczone do wykonania zleconych przez koordynatora zadań są niewystarczające.

Zaproponowany algorytm jest suboptymalny, jednakże jego złożoność obliczeniowa jest znacznie mniejsza niż rozwiązanie zadania programowania mieszanego. Zostało to potwierdzone w badaniach eksperymentalnych algorytmów zaprezentowanych w pracach **H1** i **H2**. Wykazały one jednak, że stosowalność proponowanego podejścia jest ograniczona do prostych topologii lub też niezbyt dużej liczby alokowanych zadań.

Nie umniejsza to moim zdaniem aspektu naukowego zaproponowanego rozwiązania oraz wartości zaproponowanych modeli i algorytmów. Autor przebadał bowiem w sposób ogólny i elegancki jedno z możliwych podejść do sterowania hierarchicznym przydziałem zasobów w energooszczędnych sieciach i rozproszonych systemach przetwarzania danych. Uwzględnił przy tym zarówno zagadnienie rozwiązywania zadania realizowanego przez koordynatora jak i systemy lokalne.

Drugą istotną w moim przekonaniu częścią osiągnięcia naukowego habilitanta stanowią algorytmy dla energooszczędnych sieci bezprzewodowych czujników opisane w pracy **H13**. Opisane w tej pracy rozwiązanie należy do grupy technik określanych jako PSN (ang. Periodic Sensor Network), i zakłada, że podzielone na grupy czujniki, są uruchamiane okresowo, tak aby mogły wysłać zebrane dane wykorzystując trasy wyznaczone w ramach swojej grupy. Do każdej z grup przypisana jest podzielona na szczeliny ramka. Czujniki należące do grupy transmitują dane w przyporządkowanych im szczelinach. Takie podejście pozwala ograniczyć interferencję między czujnikami, a także rozwiązywać zadanie alokacji szczelin czasowych dla każdej ramki oddzielnie, co skutkuje redukcją jego wymiarowości i czasu obliczeń. W rozważanej pracy autor zdefiniował dwa warianty wskaźnika jakości. W pierwszym z nich minimalizowany jest pobór mocy przez wszystkie czujniki natomiast drugie sformułowanie ma postać mini-maksową. Następnie dokonał analizy tych wariantów oraz sformułował odpowiednie algorytmy rozwiązania, które zostały zweryfikowane przez eksperymenty numeryczne.

Należy podkreślić, że prowadzone przez dr inż. Piotra Arabasa badania obejmowały zarówno rozwiązania formalne, prace konstrukcyjne, jak też badania eksperymentalne. Chociaż, moim zdaniem, zasadniczą część osiągnięcia naukowego habilitanta stanowią prace **H1**, **H2** i **H13** to ich realizacja i nie była by możliwa bez pozostałych prac uwzględnionych w osiągnięciu naukowym. W noszą one takie wartościowe i oryginalne elementy jak:

- Sformułowanie zadania optymalizacji energooszczędnego sterowania siecią,
- Metodologia pomiaru zużycia energii w systemach chmurowych,
- Heurystyczne algorytmy trasowania dla sieci centrów danych
- Modele poboru mocy przez urządzenia sieciowe i serwery,
- Budowa oprzyrządowania pomiarowego do identyfikacji modeli poboru mocy

W pracach tych habilitant konsekwentnie formułuje modele formalne zadań optymalizacji co stanowi punkt wyjścia prowadzonych rozważań i główną wartość ocenianego osiągnięcia naukowego.

4. Konkluzja końcowa

Uwzględniając przedstawione aspekty uznałem ostatecznie, że osiągnięcie naukowe dr inż. Piotra Arabasa pt. *Sterowanie przydziałem zasobów w energooszczędnych sieciach i rozproszonych systemach przetwarzania danych* można określić jako znaczące w dyscyplinie informatyka i telekomunikacja.

5. Ocena pozostałego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

Zgodnie z wytycznymi Rady Doskonałości Naukowej ocena osiągnięcia naukowego stanowi podstawę nadania stopnia dr habilitowanego i powinna ona przeprowadzona w oderwaniu od pozostałej działalności naukowej, organizacyjnej i dydaktycznej.

Jednakże nawiązując do pewnej tradycji i faktu, że autoreferat habilitanta uwzględnia wymienione obszary postawiłem się do nich odnieść, zwłaszcza w sytuacji gdy oceniane osiągnięcia obejmują 20 lat pracy od zrobienia doktoratu.

Zamieszczone w sekcji 5 autoreferatu publikacje P1 do P9, są w decydowanej większości stare bo częściowo z roku 2009, 2011(2), 2014 czy 2016. Tylko jedna praca P9 jest z roku 2023. Została ona opublikowana w czasopiśmie *Cybersecurity and Law*, nr 1 (9) z punktacją 70 pkt. Nie wskazuje to na intensywną pracę naukową habilitanta i kontynuowanie prac stanowiących istotę osiągnięcia naukowego. Pogarsza to mojej ocenie całokształt osiągnięć naukowych habilitanta.

Zdecydowanie lepiej wygląda aktywność w projektach naukowo badawczych prowadzonych przez NASK, takich jak ARAKIS-Enterprise, ARAKIS-GOV i FLDX. Jednakże dokonania w projektach PBZ-MNiSW-02-II/2007 – PBZ-ZR (01.01.2008 - 30.03.2011, WKP 1/1.4.1/1/2006/125/125/682/2007 mają już w moim przekonaniu charakter archiwalny gdyż są starsze niż 15 lat.

Habilitant pracując w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej prowadził i nadal prowadzi wykłady oraz zajęcia laboratoryjne, a także zajmuje się opieką naukową nad pracami inżynierskimi i magisterskimi. Na podkreślenie zasługuje fakt, że dr inż. Piotr Arabas opracował 9 autorskich wykładów akademickich dla studiów I i II stopnia. Do kilku z nich opracował także laboratoria. Jest to działalność zasługująca na wyróżnienie.

Istotnym elementem pracy dydaktycznej habilitanta jest również prowadzenie prac dyplomowych na studiach I i II stopnia. Był promotorem 15 prac inżynierskich i 19 prac magisterskich.

Dobrze oceniam działalność organizacyjną i fakt, że pracę w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej łączy habilitant z pracą w Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej Państwowym Instytucie Badawczym. Niewątpliwie wzbogaca to jego możliwości udziału w projektach oraz wykorzystania wiedzy praktycznej w dydaktyce.

Udział w dyskursie naukowym obejmuje zrobienie kilkudziesięciu recenzji dla czasopism, m.in. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IEEE Transactions on Services Computing, MDPI Sensors, oraz konferencji naukowych, co świadczy o pewnej rozpoznawalności dr inż. Piotra Arabasa w środowisku naukowym.

W spisie nagród i wyróżnień pozytywną uwagę zwracają Nagroda Lider Bezpieczeństwa Państwa 2022 za system Arakis Enterprise oraz Nagroda zespołowa I stopnia Rektora PW za osiągnięcia naukowe w roku 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Arabas', with a stylized flourish at the end.