

Gliwice, 17.04.2026 r.

**Recenzja**  
**w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego**  
**dr. inż. Bogdanowi Dziadakowi**

**1. Podstawa sporządzenia opracowania**

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała nr 301/III/2026 Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 20.01.2026 r. powołująca komisję habilitacyjną w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Bogdanowi Dziadakowi oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny prof. dr. hab. inż. Pawła Szczepańskiego.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Autonomizacja i integracja sprzętowa rozproszonych systemów pomiarowych w aplikacjach WSN i IoT

Podstawa wniosku:

Opracowanie sporządzono na podstawie otrzymanej dokumentacji, zawierającej wykaz oraz opis osiągnięć Kandydata w zakresie pracy naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Przedkładaną przez Kandydata podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest osiągnięcie naukowe w postaci cyklu powiązanych tematycznie artykułów, opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych w większości z bazy Journal Citation Reports (JCR). Osiągnięcie naukowe obejmuje jedenaście artykułów naukowych. Trzy spośród wykazanych artykułów są autorskie, zaś osiem współautorskich, ze średnim udziałem procentowym Kandydata w ich opracowaniu równym 45,25%.

Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny



Recenzję sporządzono mając na uwadze przepisy prawa obowiązujące na dzień wszczęcia postępowania habilitacyjnego, zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571), zgodnie z którymi stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

- 1) posiada stopień doktora;
  - 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:
    - a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 *kryteria ewaluacji jakości działalności naukowej* ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
    - b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach 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 *kryteria ewaluacji jakości działalności naukowej* ust. 2 pkt 2 lit. b, lub
    - c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
  - 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.
2. Osiągnięcie, o którym mowa w ust. 1 pkt 2, może stanowić część pracy zbiorowej, jeżeli opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego.
3. Obowiązek publikacji nie dotyczy osiągnięć, których przedmiot jest objęty ochroną informacji niejawnych.

## 2. Charakterystyka ogólna Kandydata

Dr inż. Bogdan Dziadak ukończył studia wyższe na Politechnice Białostockiej w 2003 roku na kierunku Elektronika i Telekomunikacja. Stopień doktora nauk technicznych w marcu 2010 roku nadała Kandydatowi Rada Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „Mobilne stacje pomiarowe – wybrane problemy projektowania”. Promotorem przewodu doktorskiego był Prof. dr hab. inż. Andrzej Michalski. W roku 2008 Kandydat został zatrudniony na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej na stanowisku asystenta, gdzie od roku 2010 do dnia dzisiejszego pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych.



Na podstawie przekazanej dokumentacji oraz dostępnych informacji należy stwierdzić, że Habilitant nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

### 3. Ocena dorobku naukowego Kandydata

Podstawą ubiegania się przez Kandydata o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571) jest zawarty w przedłożonej dokumentacji postępowania habilitacyjnego cykl jedenastu publikacji naukowych o wspólnym tytule: *Autonomizacja i integracja sprzętowa rozproszonych systemów pomiarowych w aplikacjach WSN i IoT*. Przedłożone osiągnięcie mieści się w zakresie merytorycznym dziedziny oraz dyscypliny i obejmuje zagadnienia związane ze strukturalnymi i funkcjonalnymi aspektami rozproszonych systemów pomiarowych, integracją systemów i przetwarzaniem danych pomiarowych oraz autonomicznym zasilaniem węzłów pomiarowych z zastosowaniem technik odzysku energii elektrycznej ze środowiska, w którym dany węzeł jest zainstalowany (Energy Harvesting).

Dziesięć spośród przedstawionych w ramach osiągnięcia artykułów naukowych opublikowano w czasopismach z listy JCR, posiadających wyznaczony współczynnik wpływu Impact Factor, którego sumaryczna wartość w odniesieniu do ujętych w osiągnięciu prac wynosi 25,91. Ujęty we wniosku Kandydata cykl monotematycznych publikacji obejmuje następujące pozycje:

1. B. Dziadak i A. Michalski, „Evaluation of the Hardware for a Mobile Measurement Station”, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics*, t. 58, s. 2627–2635, sie. 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2093478. (H1)
2. B. Dziadak, L. Makowski, i A. Michalski, „Some Practical Problems of Communications Reliability in Enviromental Monitoring Systems”, *Metrology and Measurement Systems*, t. 20, s. 337–350, wrz. 2013, doi: 10.2478/mms-2013-0029. (H2)
3. L. Makowski, B. Dziadak, i M. Suproniuk, „Design and development of original WSN sensor for suspended particulate matter measurements”, *Opto-Electronics Review*, t. 27, s. 363–368, grudz. 2019, doi: 10.1016/j.opelre.2019.11.005. (H3)
4. B. Dziadak, „Structural Health Monitoring System for Snow and Wind Load Measurement”, *Electronics*, t. 9, nr 4, Art. nr 4, kwi. 2020, doi: 10.3390/electronics9040609. (H4)
5. B. Dziadak, „Short and Long-term Data Prediction for Water Quality Estimation”, *Przegląd Elektrotechniczny*, t. R89, s. 278–290, cze. 2013. (H5)
6. B. Dziadak, A. Jósko, i Ł. Makowski, „On nonlinear methods in environmental and biological measurements”, *IEEE Instrumentation Measurement Magazine*, t. 23, nr 4, s.

- 87–93, cze. 2020, doi: 10.1109/MIM.2020.9126077. (H6)
7. A. Jo s ko, B. Dziadak, J. Starzyński, i J. Sroka, „Derivative Probes Signal Integration Techniques for High Energy Pulses Measurements”, *Energies*, t. 15, nr 6, Art. nr 6, sty. 2022, doi: 10.3390/en15062244. (H7)
  8. B. Dziadak, Ł. Makowski, i A. Michalski, „Survey of Energy Harvesting Systems for Wireless Sensor Networks in Environmental Monitoring”, *Metrology and Measurement Systems*; 2016; vol. 23; No 4; 495-512, 2016. (H8)
  9. B. Dziadak, M. Kucharek, i J. Starzyński, „Powering the WSN Node for Monitoring Rail Car Parameters, Using a Piezoelectric Energy Harvester”, *Energies*, t. 15, nr 5, Art. nr 5, sty. 2022, doi: 10.3390/en15051641. (H9)
  10. M. Kucharek, B. Dziadak, J. Starzyński, i L. Książek, „Energy Harvesting from AC Magnetic Field Using PZT Piezoelectric Cantilever Beams”, *Energies*, t. 18, nr 11, Art. nr 11, sty. 2025, doi: 10.3390/en18112830. (H10)
  11. B. Dziadak, „Hybrid Optical and Thermal Energy Conversion System to Power Internet of Things Nodes”, *Energies*, t. 16, nr 20, Art. nr 20, sty. 2023, doi: 10.3390/en16207076. (H11)

W celu zapewnienia przejrzystości dane na temat lat publikacji, liczby autorów, udziału Habilitanta w powstaniu opracowania oraz wartości współczynnika wpływu IF, jak i liczb punktów w wykazie czasopism punktowanych zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie publikacji ujętych w ramach osiągnięcia Habilitanta

| Pozycja osiągnięcia | Rok publikacji | Liczba autorów pracy | Udział procentowy Habilitanta | Wartość współczynnika IF | Liczba punktów MNiSW/M EiN |
|---------------------|----------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| H1                  | 2011           | 2                    | 70%                           | 5,16                     | 45                         |
| H2                  | 2013           | 3                    | 40%                           | 0,60                     | 20                         |
| H3                  | 2019           | 3                    | 40%                           | 2,04                     | 100                        |
| H4                  | 2020           | 1                    | 100%                          | 2,40                     | 100                        |
| H5                  | 2013           | 1                    | 100%                          | -                        | 14                         |
| H6                  | 2020           | 3                    | 32%                           | 1,51                     | 70                         |
| H7                  | 2022           | 4                    | 30%                           | 3,20                     | 140                        |
| H8                  | 2016           | 3                    | 60%                           | 1,60                     | 20                         |
| H9                  | 2022           | 3                    | 45%                           | 3,20                     | 140                        |
| H10                 | 2025           | 4                    | 45%                           | 3,20                     | 140                        |
| H11                 | 2020           | 1                    | 100%                          | 3,00                     | 140                        |

Wskazany przez Habilitanta dorobek publikacyjny obejmuje prace opublikowane w czasopiśmie o dosyć zróżnicowanej randze i charakterze. Na szczególne wyróżnienie zasługuje pierwsza spośród publikacji (H1) wydana w *IEEE Transactions on Industrial*



Electronics, należącym do czasopism wiodących w obszarze elektroniki przemysłowej i posiadającym wysoki współczynnik wpływu Impact Factor. Znaczną część dorobku stanowią artykuły opublikowane w czasopismach indeksowanych w międzynarodowych bazach takich, takie jak Metrology and Measurement Systems (H2, H8), Opto-Electronics Review (H3), Electronics (H4) oraz Energies (H7, H9–H11) o umiarkowanej pozycji (Q2–Q3), często o charakterze otwartego dostępu. Habilitant wskazał jednak także w swoim osiągnięciu publikacje w czasopismach o bardziej lokalnym lub specjalistycznym znaczeniu, jak Przegląd Elektrotechniczny (H5), czy też IEEE Instrumentation & Measurement Magazine (H6) należące do czasopism o charakterze przeglądowym i popularyzatorskim. Celem takiego działania było nadanie logicznej spójności przedstawionego w wybranych opracowaniach osiągnięcia naukowego. Należy więc uznać, że Kandydat wykazuje się aktywnością publikacyjną w uznanych kanałach komunikacji naukowej, w tym także (choć z ograniczoną reprezentacją) w najwyżej notowanych czasopismach dyscypliny.

Wątpliwość może budzić użycie skrótów WSN (Wireless Sensor Networks) oraz IoT (Internet of Things) w tytule osiągnięcia naukowego. W oficjalnych tytułach dokumentów o wysokiej randze (jakim jest z pewnością tytuł postępowania habilitacyjnego) rekomenduje się rozwijanie skrótów w celu zachowania najwyższego stopnia formalizmu. Skróty WSN i IoT są jednak standardowymi i powszechnie uznanymi terminami w dziedzinie mechatroniki, elektroniki, informatyki i telekomunikacji, zaś ich użycie sprawia, że tytuł jest bardziej zwięzły i bezpośrednio wskazuje na obszar badań Habilitanta, który częściowo stosuje takie podejście również w publikacjach naukowych wchodzących w skład jego osiągnięcia naukowego (tytuły prac H3 i H9). W niektórych jednak przypadkach Kandydat (lub zespół autorów) zdecydował się na pełną nazwę w tytule, definiując skrót w streszczeniu, co jest klasyczną praktyką akademicką, zwiększającą dostępność tekstu (prace H8 i H11). Pomimo tej niekonsekwencji, należy uznać, że ponieważ w naukach technicznych stosowanie akronimów w odniesieniu do powszechnie znanych technologii jest standardem, który pozwala na precyzyjne i profesjonalne określenie przedmiotu badań, ich użycie przez Habilitanta w tytule swojego osiągnięcia jest uzasadnione i właściwe. Są to terminy bazowe całego dorobku, a ich obecność w tytule pozwala na natychmiastową i jednoznaczną identyfikację nowoczesnego profilu prowadzonych badań.

Ponadto w zakresie staranności przygotowania dostarczonej dokumentacji należy zwrócić uwagę na pewne niedoskonałości, a mianowicie:

- w pierwszej spośród publikacji wskazanych jako osiągnięcie Habilitanta (H1) występuje niepoprawny zapis nazwy czasopisma jako „Industrial Electronics, IEEE Transactions on”;
- w dostarczonym wydruku autoreferatu po stronie 28-mej zamieszczono ponownie strony z zakresu 9 do 28;

- w tekście dokumentów występują uchybienia typograficzne (tzw. sieroty i wdowy), polegające na pozostawianiu pojedynczych liter na końcu wierszy.

Przedstawiony przez Kandydata zbiór publikacji naukowych wraz ze wskazanym w wykazie osiągnięć naukowych udziale Habilitanta w ich powstaniu stanowi osiągnięcie spójne i zgodne merytorycznie z nadanym mu tytułem, zaś treści zawarte w poszczególnych opracowaniach należy uznać za istotny wkład Kandydata w rozwój coraz powszechniej stosowanych rozproszonych systemów pomiarowych projektowanych z uwzględnieniem zapewnienia ich wysokiej dokładności, niezawodności i autonomicznej pracy, poprzez integrację podzespołów, efektywne przetwarzanie i transmisję danych oraz zastosowanie energooszczędnych źródeł zasilania, w tym zasilania z użyciem technik odzysku energii elektrycznej ze środowiska pracy projektowanego systemu (Energy Harvesting). Biorąc pod uwagę zawartość merytoryczną całości przedstawionego dorobku Habilitanta zauważa się logiczną spójność prezentowanych treści.

Przyjęty tytuł osiągnięcia naukowego „Autonomizacja i integracja sprzętowa rozproszonych systemów pomiarowych w aplikacjach WSN i IoT” sugeruje, że całość omawianych zagadnień odnosi się do holistycznego podejścia do projektowania nowoczesnych sieci czujnikowych, które mają być niezależne energetycznie, sprawne decyzyjnie oraz optymalnie skonfigurowane pod względem sprzętowym.

W kontekście autonomizacji, Habilitant koncentruje się na dwóch kluczowych aspektach. Pierwszym jest autonomia energetyczna systemów obejmująca przejście od zasilania bateryjnego, które ogranicza czas życia węzłów i generuje koszty serwisowe, w stronę systemów samo zasilających się, w których stosowane są techniki pozyskiwania energii (energy harvesting) z drgań, pól magnetycznych czy hybrydowych źródeł optyczno-termicznych, a które umożliwiają wieloletnią, bezobsługową pracę urządzeń w trudnodostępnych lokalizacjach. Drugim jest autonomia operacyjna i decyzyjna, która przejawia się w implementacji algorytmów sztucznej inteligencji (sieci neuronowych MLP) bezpośrednio w strukturach rozproszonych, co umożliwia lokalną predykcję zagrożeń i znaczące skrócenie czasu reakcji na zanieczyszczenia. Zastosowanie metod nieliniowych pozwala jednocześnie na kompensację niedoskonałości czujników.

W obszarze integracji sprzętowej, Habilitant kładzie nacisk na metodologię projektowania warstwy sprzętowej systemów poprzez zastosowanie narzędzi inżynierii jakości (QFD i AHP), co pozwala na matematyczne zoptymalizowanie doboru komponentów stacji pomiarowych, zapewniając wysoką niezawodność w trudnych warunkach środowiskowych. Podejmuje także zagadnienia budowy dedykowanych sensorów i modułów, w zakresie których integracja obejmuje projektowanie autorskich rozwiązań, takich jak optoelektroniczne czujniki pyłów zawieszonych o laminarnym przepływie powietrza, czy niskomocowe węzły



tensometryczne do monitoringu konstrukcji budowlanych. Dorobek Habilitanta w zakresie integracji sprzętowej obejmuje także synergię podzespołów, podając przykłady integracji hybrydowych jednostek zasilających z mikrokontrolerami STM32 czy układami nRF oraz dowodząc zdolność do budowy zwartych, zintegrowanych urządzeń IoT, które efektywnie zarządzają energią i pasmem transmisyjnym. Całość zagadnień tworzy spójny obraz badań z zakresu rozwoju rozproszonych systemów pomiarowych, które dzięki integracji zaawansowanej metrologii z technologiami WSN i EH stają się niezbędnym elementem współczesnego przemysłu, infrastruktury Smart City, bezpieczeństwa budowlanego oraz ochrony środowiska.

W poszczególnych pracach, stanowiących osiągnięcie Kandydata, przedstawił on rezultaty swoich badań, odpowiednio:

- W pierwszej publikacji autorzy, wśród których Kandydat jest pierwszym autorem opracowania, opisali specyficzne podejście do projektowania mobilnej stacji pomiarowej (MMS) przeznaczonej do pracy w trudnych warunkach środowiskowych na wodach jeziora. Autorzy skupili się na procesie doboru komponentów sprzętowych, proponując zastosowanie w tym celu metody inżynierii jakości QFD (Quality Function Deployment) oraz narzędzia wspomagania decyzji AHP (Analytic Hierarchy Process). Jako słuszne należy uznać założenie autorów, że projektowanie systemu pomiarowego powinno wynikać nie tylko z możliwości inżynierskich, ale także z priorytetów odbiorcy i konkretnych warunków środowiskowych, w których system będzie pracował, gdyż to one determinują skuteczność i niezawodność systemu. Z tego punktu widzenia, zaproponowany aparat matematyczny i zobiektywizowanie procesu wyboru kontrolera projektowanego systemu pomiarowego (praca opiera się na metodzie inżynierii jakości zwanej wdrożeniem funkcji jakości oraz na narzędziu badań operacyjnych zwanym procesem hierarchii analitycznej), umożliwiające redukcję subiektywizmu inżyniera i optymalizację konstrukcji pod kątem konkretnych wymagań klienta oraz przewidywanych, trudnych warunków pracy należy uznać za słuszne i innowacyjne. Jak podkreśla Kandydat, zaproponowane metody zostały po raz pierwszy zastosowane i połączone w tej dziedzinie w celu poprawy jakości projektu oraz trafności wyborów komponentów do określonego zadania. Należy także podkreślić, że efekt przeprowadzonych prac w postaci prototypu z dwiema sondami (podwodną i powierzchniową) zainstalowano na pływającej platformie i testowano w rzeczywistych warunkach środowiskowych na jeziorze, zaś wyniki testów jednoznacznie potwierdziły, że dobór elementów systemu pomiarowego był właściwy.
- W kolejnym opracowaniu autorzy analizują problemy związane z budową rozproszonego systemu monitoringu jakości wody w zbiorniku Dobczyckim, skupiając się na modelowaniu łącza radiowego przy użyciu modelu Okumura-Hata oraz na pomiarach

rzeczywistej siły sygnału nad taflą wody. Zastosowanie modelu Okamaura-Hatta umożliwiło wyznaczenie gęstości mocy sygnału w danej lokalizacji na jeziorze i w danych warunkach propagacyjnych. Autorzy potwierdzili zgodność modelowania teoretycznego poprzez pomiar poziomu sygnału odbieranego przez modem RSSI w wybranych punktach instalacji stacji na jeziorze. Umożliwiło to wyznaczenie stref jeziora Dobczyckiego, w których stacja pomiarowa może korzystać z komunikacji w standardzie GSM-GPRS, zaś w odniesieniu do obszarów poza zasięgiem tej technologii opracowano bilans łącza radiowego, oparty na równaniu Friisa. Ponadto opracowano algorytm dynamicznego ustalania priorytetu danego komunikatu, uwzględniając opóźnienie transmisji, oraz na ważność informacji danej próbki pomiarowej, umożliwiając podejście do transmisji danych, jak do procesu miękkiego czasu rzeczywistego (soft real-time), dostosowując harmonogram i priorytety przesyłu danych w sposób adaptacyjny. Takie podejście umożliwiło zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego stacji pomiarowej bez wpływu na wysokie kryteria systemowego alarmowania o zagrożeniach. Jako najważniejszy efekt przeprowadzonych prac autorzy wskazują opracowanie procedury wczesnej oceny sytuacji pomiarowej oraz algorytmu nadawania priorytetów (współczynnik ważności wiadomości), co pozwoliło na efektywne zarządzanie transmisją danych przy ograniczonych zasobach energetycznych boi pomiarowej.

- W trzeciej spośród przedstawionych we wniosku pozycji przedstawiono projekt autorskiego urządzenia optoelektronicznego do pomiaru pyłów zawieszonych (PM10, PM2.5, PM1) w strukturach bezprzewodowych sieci czujnikowych, wskazując jako najbardziej istotne osiągnięcie naukowe budowę niskokosztowego czujnika pyłu o zoptymalizowanej konstrukcji toru powietrznego, która dzięki minimalizacji liczby Reynoldsa zapewnia przepływ laminarny, co znacząco poprawia wiarygodność pomiarów rozproszenia światła laserowego. Opracowanie jest efektem współpracy z naukowcami z Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, zajmującymi się problematyką zanieczyszczenia powietrza w aglomeracjach miejskich. W zaproponowanym urządzeniu autorzy bazują na zastosowaniu teorii rozpraszania Mie (Mie scattering), która opisuje oddziaływanie fali elektromagnetycznej z cząstkami o rozmiarach porównywalnych z długością fali światła. Teorię tę zastosowano do powiązania natężenia światła rozproszonego z koncentracją masową pyłu w powietrzu. Kluczowym osiągnięciem opisanym w pracy jest optymalizacja mechaniczna urządzenia poprzez zastosowanie innowacyjnej konstrukcji toru przepływu powietrza, zaprojektowanej przez autorów i wykonanej z zastosowaniem druku 3D. System pomiarowy charakteryzuje się wysoką czułością dzięki zastosowaniu specyficznych rozwiązań elektronicznych, jak detekcja z trzech kątów poprzez zastosowanie trzech fotodetektorów rozmieszczonych pod różnymi kątami, czy zastosowanie układu OPT101, w którym zintegrowano układy fotodiody ze wzmacniaczem transimpedancyjnym, minimalizując szумы i zakłócenia. Zastosowanie



analogowego multipleksera sterowanego przez mikrokontroler umożliwiło ponadto wybór przez system jednego z czterech rezystorów sprzężenia zwrotnego i dopasowanie czułości urządzenia do panujących warunków (począwszy od czystych pomieszczeń biurowych po zapyłone hale przemysłowe). Całość nadzorowana jest przez mikrokontroler STM32 (rdzeń ARM Cortex-M4), który dzięki jednostce zmiennoprzecinkowej (FPU) sprawnie realizuje algorytmy obliczeniowe bezpośrednio w węźle. Należy podkreślić, że Autorzy przeprowadzili dwuetapową walidację systemu, prowadząc testy laboratoryjne i generując ekstremalne stężenia pyłu miki, symulujące warunki przemysłowe oraz porównując wyniki pomiarów z profesjonalnym miernikiem Trotec PC220, a także badania terenowe, poddając urządzenie trzymiesięcznym testom zewnętrznym w warunkach zimowych, porównując odczyty z danymi z państwowej stacji monitoringu powietrza oddalonej o 300 m od punktu pomiarowego. Autorzy wykazali, że trend zmian rejestrowany przez autorski czujnik jest w pełni zgodny z aparaturą referencyjną. Przeprowadzając opisane w pracy badania, autorzy wykazali, że możliwe jest zbudowanie niskokosztowego czujnika pyłu, który mimo prostej budowy oferuje wysoką rozdzielczość czasową i czułość, stanowiąc cenne uzupełnienie sieci profesjonalnych stacji monitoringu.

- W kolejnej pozycji Kandydat przedstawił system monitoringu obciążeń dachów budynków powodowanych przez śnieg i wiatr. System bazuje na bezprzewodowej sieci sensorów (WSN) i czujnikach tensometrycznych (metalowe i polimerowe) montowanych na dźwigarach dachowych i dedykowany jest do dachów płaskich, gdzie ocena obciążenia odbywa się poprzez pomiar odkształceń głównych dźwigarów dachowych i został zaprojektowany w strukturze bezprzewodowej sieci czujnikowej (WSN), minimalizując koszty instalacji i okablowania. Składa się on z trzech głównych poziomów: węzłów pomiarowych rozmieszczonych w krytycznych punktach konstrukcji i zbierających dane o naprężeniach; punktu dostępowego (Access Point) zbierającego dane z węzłów i przesyłającego je do serwera przy użyciu protokołów TCP/UDP oraz serwera i bazy danych opartych odpowiednio na systemie Linux (Ubuntu Server) i serwerze Apache, który archiwizuje wyniki i udostępnia je użytkownikowi poprzez dynamiczny interfejs webowy. Umożliwia to obserwowanie przez użytkownika rozkładu naprężeń w czasie rzeczywistym na schemacie budynku. Kandydat przeprowadził badania porównawcze dwóch rodzajów czujników: tensometrów metalowych (standardowe czujniki foliowe o stałej tensometrycznej i rezystancji bazowej 120) oraz czujników polimerowych, wykonanych z przewodzącego polimeru węglowego, charakteryzujących się wyższą czułością, które jednak odrzucono w finalnej implementacji ze względu na zbyt wąski zakres pomiarowy. W układzie pomiarowym autor zastosował półmostek Wheatstone'a, który pozwolił na dwukrotne zwiększenie czułości pomiaru oraz autokompensację błędu temperaturowego. Węzeł pomiarowy jest zarządzany przez

mikrokontroler Atmega8A, współpracujący z 22-bitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym MCP3551. Choć przetwornik oferuje wyższą rozdzielczość, w systemie ograniczono ją programowo do 20 bitów, co pozwoliło na uzyskanie rozdzielczości pomiarowej na poziomie 5,5  $\mu$ strain. Pomiary napięcia na mostku odbywają się co 10 sekund, a po sformatowaniu i nadaniu identyfikatorów dane są wysyłane do serwera. Komunikacja bezprzewodowa odbywa się w paśmie ISM 433 MHz przy użyciu układu RFM12B. System oferuje zasięg do 200 metrów w terenie otwartym i około 50 metrów wewnątrz budynków, co umożliwia monitoring obiektów o powierzchni do 2500 metrów kwadratowych. Istotną funkcją systemu jest tryb alarmowy, który aktywuje się jeśli zmierzone naprężenie przekroczy zaprogramowany próg bezpieczeństwa, zaś informacja o tym fakcie jest natychmiastowo wysyłana do użytkowników systemu, poza standardowym harmonogramem transmisji (raz na minutę). Autor dużą uwagę poświęcił także efektywności energetycznej systemu. Węzeł zasilany jest baterią o pojemności 1200 mAh (3,6 V). Dzięki optymalizacji oprogramowania i zastosowaniu trybów oszczędzania energii (pobór prądu 5,6 mA przez jedynie 0,5 s podczas pomiaru), system jest w stanie wykonać do 1,55 miliona pomiarów. Pozwala to na 6 miesięcy nieprzerwanej pracy na jednym pakiecie zasilającym przy standardowej częstotliwości raportowania. W przedstawionej pracy zaproponowano więc gotowe rozwiązanie inżynierskie, które łączy precyzyjną metrologię naprężeń z rozproszoną architekturą IT, znacząco podnosząc bezpieczeństwo eksploatacji budynków wielkopowierzchniowych w trudnych warunkach zimowych. Najważniejszymi osiągnięciami autora opisanymi w opracowaniu jest uzyskanie wysokiej rozdzielczości pomiarowej oraz zapewnienie długiego czasu pracy węzła (6 miesięcy) na zasilaniu bateryjnym dzięki zastosowaniu zaawansowanych trybów oszczędzania energii.

- W pozycji H5 wykazu osiągnięć Kandydata prezentuje on dwa algorytmy predykcyjne oparte na wielowarstwowej sieci perceptronowej MLP, służące do oceny jakości wody w sytuacjach kryzysowych (zanieczyszczenie węglowodorami) oraz w procesach naturalnych (poziom chlorofilu). Kandydat podjął się zagadnień dotyczących zastosowania algorytmów predykcyjnych w systemach monitorowania jakości wody surowej w zbiorniku Dobczyckim, podejmując dwa podejścia do prognozowania danych, oparte na sztucznych sieciach neuronowych typu MLP (Multi-Layer Perceptron), które adresują różne scenariusze operacyjne. Autor wyselekcjonował 8 kluczowych (spośród 134 wymagających monitorowania) wskaźników, które mają największe znaczenie w procesie uzdatniania i bezpieczeństwa, m.in. temperaturę, odczyn pH, przewodność, zawiesinę, chlorofil oraz węglowodory. Jak wskazuje Kandydat, głównym wyzwaniem w sytuacjach kryzysowych (np. wyciek ropy) jest bezwładność sond pomiarowych, gdyż sonda pomiarowa stężenia węglowodorów potrzebuje od 12 do 15 minut, aby podać stabilny wynik. W tym czasie skażona



woda może przedostać się do filtrów biologicznych stacji uzdatniania, co grozi ich nieodwracalnym zniszczeniem. Autor zaproponował predyktor neuronowy, który na podstawie początkowego trendu krzywej wykładniczej estymuje wartość ustaloną stężenia. Zastosowanie tego algorytmu pozwoliło na znaczące skrócenie czasu uzyskania informacji o skażeniu (redukcja czasu z kilkunastu minut do około 1–2 minut). Umożliwia to niemal natychmiastowe zamknięcie ujęć wody i skuteczną ochronę infrastruktury oczyszczalni. Drugi z zaproponowanych algorytmów służy do modelowania naturalnych zmian parametrów biologicznych wody w dłuższym horyzoncie czasowym, w przypadku których bezpośredni pomiar chlorofilu (wskaźnika obecności sinic) wymaga bardzo drogich sond. Autor opracował model predykcyjny, który estymuje poziom chlorofilu na podstawie innych, tańszych w pomiarze parametrów (temperatura, mętność, pH, zawiesina, przewodność). Do uczenia sieci Kandydat zastosował dane z dwuletniego monitoringu Jeziora Dobczyckiego i wykazał wysoką korelację (0,865 w przypadku modelu MLP 6-3-1) między prognozą a rzeczywistymi pomiarami w horyzoncie tygodniowym. Rozwiązanie to ma duży potencjał ekonomiczny, pozwalając na redukcję kosztów aparatury pomiarowej przy zachowaniu wysokiej jakości monitoringu. W swojej pracy Habilitant udowadnia, że zaawansowane przetwarzanie danych z zastosowaniem sieci neuronowych może nie tylko znacząco przyspieszyć działanie systemów wczesnego ostrzegania, ale również zoptymalizować koszty eksploatacji rozproszonych sieci czujnikowych. Najważniejszym osiągnięciem opisanym w opracowaniu jest skrócenie czasu uzyskania informacji o skażeniu węglowodorami, co ma kluczowe znaczenie w odniesieniu do ochrony filtrów biologicznych w stacjach uzdatniania wody.

- Kolejna pozycja wykazanego do oceny osiągnięcia to współautorskie opracowanie, w którym autorzy analizują nieliniowy charakter zjawisk rzeczywistych w pomiarach medycznych i środowiskowych, wskazując, że uproszczenia liniowe są często niewystarczające w odniesieniu do precyzyjnej metrologii. Praca ta jest teoretycznym i praktycznym studium nad nieliniowością zjawisk rzeczywistych oraz metodami ich kompensacji w systemach pomiarowych. Najważniejszym osiągnięciem jest wykazanie skuteczności metod nieliniowych (sieci neuronowe, fuzja danych, wnioskowanie bayesowskie) w kompensacji nieliniowości samych czujników oraz procesów przyrodniczych, co pozwala na budowę systemów o wymaganej charakterystyce liniowej na poziomie przetwarzania danych.

Autorzy argumentują, że powszechnie wymagane w metrologii liniowe charakterystyki systemów pomiarowych można uzyskać dzięki zastosowaniu nieliniowych metod przetwarzania sygnałów i danych. Dążenie do liniowości sprzętowej, które jest trudne i kosztowne, można w ocenie autorów zastąpić poprzez zaawansowane algorytmy programowe jako środek do uzyskania precyzyjnych wyników. W artykule szczegółowo omówiono zastosowanie nieliniowych klasyfikatorów w diagnostyce zdrowia człowieka, w tym

rozpoznawania emocji na podstawie modeli 3D twarzy, analizie kardiologicznej z zastosowaniem dyskretnej transformaty falkowej, czy też systemów ekspertowych utworzonych przez połączenie kilku narzędzi przetwarzania. W obszarze monitoringu jakości wody i powietrza autorzy wskazali, że metody nieliniowe są niezbędne do modelowania trendów i fuzji danych z wielu czujników. Przykładem jest estymacja poziomów sinic (chlorofilu) przy użyciu wnioskowania bayesowskiego oraz sieci neuronowych (omawiana także w opracowaniu H5), której zastosowanie umożliwia pracę z nieliniowymi zależnościami między parametrami fizykochemicznymi wody. Autorzy opisali strukturę typowych sztucznych sieci neuronowych, w których kluczową rolę odgrywają nieliniowe funkcje aktywacji (sigmoidalne, wykładnicze lub tangensowe), pozwalając systemom pomiarowym na odwzorowanie skomplikowanych, rzeczywistych procesów biologicznych i środowiskowych. Autorzy wskazują, że w nowoczesnej metrologii należy odejść od prostych modeli liniowych na rzecz zaawansowanej fuzji danych i uczenia maszynowego, co pozwala na budowę systemów diagnostycznych o niemal doskonałej precyzji.

- W kolejnym artykule autorzy podjęli istotny problem metrologiczny związany z przetwarzaniem sygnałów z różniczkowych sond pola elektrycznego  $E$  i magnetycznego  $H$  podczas pomiarów impulsów wysokoenergetycznych. Podczas pomiaru szybkozmiennych pól elektromagnetycznych, takich jak np. wyładowania atmosferyczne, stosowane są sondy różniczkowe, których sygnał wyjściowy musi zostać scałkowany, aby odtworzyć rzeczywisty kształt mierzonego pola. Głównym wyzwaniem zidentyfikowanym przez autorów jest obecność składowych stałych lub wolnozmiennych w surowym sygnale, które podczas operacji całkowania numerycznego prowadzą do dryftu linii bazowej, uniemożliwiając poprawną interpretację wyniku. Autorzy zaproponowali autorskie podejście polegające na segmentacji sygnału zamiast stosowania standardowego, jednolitego całkowania całego przebiegu. Zaproponowana metoda polega na wyznaczaniu lokalnych wartości średnich niezależnie w odniesieniu do różnych sub-regionów okna pomiarowego (przed wyzwoleniem, w trakcie trwania impulsu oraz po jego zakończeniu). Zidentyfikowane składowe są następnie odejmowane od surowego sygnału przed procesem integracji, co zapobiega nasyceniu całki. Zastosowanie tej techniki pozwoliło na ponad 400-krotne stłumienie dryftu w scałkowanym sygnale. Skuteczność zaproponowanej metody autorzy potwierdzili w dwóch niezależnych konfiguracjach pomiarowych: impulsów nanosekundowych w warunkach laboratoryjnych oraz mikrofal dużej mocy w warunkach terenowych. W pierwszym przypadku rejestrowano impulsy napięciowe o czasie trwania ok. 50 ns i czasach narostu rzędu pojedynczych nanosekund, generowane przez wysokonapięciowy generator impulsów. Autorzy wykazali, że segmentacja zapewnia wysoką powtarzalność serii pomiarowych oraz brak trendów wzrostowych i spadkowych w sygnale. W drugim przypadku autorzy badali sygnały z generatora HPM



w postaci pakietów sinusoidalnych o częstotliwości 3 GHz i czasie trwania pakietu 5 s, zaś całkowanie numeryczne uzupełniono o filtrację górnoprzepustową, przez co wyeliminowali wolnozmiennne zakłócenia i poprawnie odtworzyli kształt pola. Autorzy wskazują, że choć cyfrowe przetwarzanie sygnałów po pomiarze (*post-processing*) wprowadza opóźnienie w uzyskaniu wyników, daje ono unikalną możliwość zastosowania m.in. analizy falkowej oraz precyzyjnego doboru parametrów filtracji dolno- i górnoprzepustowej w celu zachowania kluczowych cech impulsu. Praca stanowi istotny wkład w rozwój technik pomiarowych szybkozmiennych pól elektromagnetycznych, a autorzy udowodnili, że poprzez zmianę paradygmatu z globalnego na lokalne przetwarzanie średnich wartości sygnału (segmentacja) możliwe jest podniesienie precyzji odtwarzania impulsów o skrajnie krótkich czasach narastania.

- Kolejna z pozycji przedstawionego do oceny cyklu publikacji jest kompleksowym przeglądem technologii pozyskiwania energii (energy harvesting – EH) z otoczenia, w którym eksploatowany jest dany system, dedykowanych zasilaniu bezprzewodowych sieci czujnikowych stosowanych w monitoringu środowiska. Autorzy podkreślają w niej, że głównym ograniczeniem rozwoju sieci WSN jest czas życia węzłów zasilanych bateryjnie oraz wysokie koszty ich serwisowania. Dodatkowo, eksploatacja baterii zawierających lit czy kadm ma negatywny wpływ na monitorowane środowisko naturalne. Zaproponowanym w pracy rozwiązaniem jest przejście na systemy samozasilające się, które przetwarzają energię dostępną w miejscu instalacji czujnika na energię elektryczną. W pracy sklasyfikowano i szczegółowo opisano zjawiska fizyczne umożliwiające odzysk energii elektrycznej. Jedną z omawianych możliwości jest zastosowanie energii kinetycznej, w której zakresie znajduje się zastosowanie przetworników piezoelektrycznych, elektrostatycznych oraz elektromagnetycznych. Autorzy rozpatrują także zastosowanie energii optycznej (ogniw fotowoltaicznych), porównując sprawności różnych materiałów oraz ich przydatność w zależności od warunków oświetleniowych. Ponadto rozpatrywane jest zastosowanie energii termicznej poprzez zastosowanie zjawiska Seebecka w generatorach termoelektrycznych, które pozwalają na migrację nośników ładunku pod wpływem gradientu temperatury. Autorzy przedstawili uniwersalną strukturę jednostki zasilającej, obejmującą konwerter, układ prostowniczy, stabilizator oraz bufor energii. Wskazali na wyższość superkondensatorów nad standardowymi akumulatorami elektrochemicznymi w określonych zastosowaniach. Oferują one bowiem znacznie większą liczbę cykli ładowania/rozładowania, co radykalnie wydłuża bezobsługowy czas pracy węzła. W publikacji usystematyzowano wiedzę na temat fizycznie istniejących systemów WSN w trzech obszarach: monitoringu powietrza, wody oraz zastosowań w rolnictwie i leśnictwie. Konkluzją pracy jest stwierdzenie, że nie istnieje jedna, optymalna metoda odzysku energii elektrycznej ze środowiska pracy układu, zaś wybór zależy

od specyfiki środowiska, lokalizacji węzła pomiarowego oraz wymaganej częstotliwości pomiarów, zaś sukces w projektowaniu autonomicznych sieci WSN wymaga interdyscyplinarnej wiedzy łączącej elektronikę, energetykę i algorytmy sieciowe.

- Kolejna praca stanowi logiczną kontynuację zagadnienia odzysku energii i opisano w niej projekt i wdrożenie autonomicznego systemu zasilania węzłów bezprzewodowych sieci czujnikowych pracujących na wagonach kolejowych. Głównym wyzwaniem zidentyfikowanym przez autorów jest konieczność monitorowania stanu technicznego wagonów towarowych (szczególnie temperatury łożysk i maziownic w wózkach wagonowych) w warunkach braku dostępu do tradycyjnej sieci zasilającej. Przegrzanie łożysk jest krytycznym parametrem bezpieczeństwa. Autorzy opracowali więc innowacyjny przetwornik energii kinetycznej (drgań) na elektryczną w postaci wahadła dwuramiennego, w którym na końcach ramion umieszczono asymetryczne masy (10 g i 15 g), co pozwoliło na uzyskanie dwóch różnych częstotliwości rezonansowych (w symulacjach 15 Hz i 22 Hz). W układzie zastosowano trzy przetworniki piezoelektryczne PZT-5A. Autorzy zamodelowali układ w środowisku COMSOL Multiphysics, analizując rozkład naprężeń i napięcie generowane przy wzbudzeniu w zakresie 1–30 Hz. Jak wykazali autorzy, W testach laboratoryjnych układ osiągnął zbieżność z modelem oraz ładował kondensator 220  $\mu\text{F}$  do napięcia 18 V w czasie 10 sekund. Kluczowym elementem pracy był test w warunkach rzeczywistej eksploatacji na trasie Warszawa – Katowice, trwający 8,5 godziny, w ramach którego system zamontowano na wózku wagonu intermodalnego obciążonego 20-tonowym kontenerem, którego średnia prędkość wynosiła 58 km/h. Przy typowych wibracjach wagonu o niskiej częstotliwości (4–10 Hz) system generował średnią moc na poziomie 60,5  $\mu\text{W}$ , zaś chwilowo do 179  $\mu\text{W}$ . Autorzy przeprowadzili obliczenia wykazujące, że generowana moc, w połączeniu z buforem energii o pojemności 1000 mAh, pozwala na zasilanie niskoenergetycznego węzła WSN (np. opartego na układzie nRF5340) przez 13 lat ciągłej pracy. Istotnym aspektem jest fakt, że proponowany układ pracuje poniżej swojej częstotliwości rezonansowej, co gwarantuje jego długowieczność i bezawaryjność poprzez unikanie ekstremalnych naprężeń strukturalnych. W pracy przedstawiono więc kompletne rozwiązanie inżynierskie, które jest propozycją rozwiązania problemu zasilania systemów bezpieczeństwa w taborze kolejowym, promując pełną autonomię energetyczną urządzeń IoT w transporcie.
- W kolejnej pracy autorzy przedstawili badania nad pozyskiwaniem energii elektrycznej z przemiennej pola magnetycznego otaczającego przewody, przez które przepływa przemienne prąd elektryczny. Rozwiązanie to jest dedykowane zasilaniu autonomicznych czujników w przemysłowych systemach monitoringu o niskim poborze mocy. Autorzy zaproponowali zastosowanie w urządzeniu zjawiska magneto-mechaniczno-elektryczne, w którym zmienne pole magnetyczne wokół szyny prądowej oddziałuje na magnes trwały



umieszczony na swobodnym końcu belki wspornikowej. Powoduje to powstawanie drgań mechanicznych belki, które są następnie przetwarzane na energię elektryczną przez przetwornik piezoelektryczny (cyrkonian-tytanian ołowiu, PZT). Kluczową zaletą tego rozwiązania jest brak konieczności bezpośredniego kontaktu z monitorowanym obiektem. Autorzy przetestowali dwa typy układów odzysku energii w celu optymalizacji wydajności obejmujące konfigurację monolityczną w postaci belki z jedną warstwą piezoelektryczną oraz konfigurację bimorficzną zawierającą dwie warstwy piezoelektryczne połączone szeregowo i rozdzielone mosiężną podkładką. Warstwy te są ułożone tak, aby odkształcały się w przeciwnych kierunkach (jedna rozciąga się, gdy druga kurczy), co skutkuje wyższą energią odkształcenia w porównaniu do pojedynczej warstwy. Badania laboratoryjne przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym przy użyciu miedzianej szyny prądowej o wymiarach odpowiadających standardom stosowanym w rozdzielnicach średniego napięcia, zaś testy obejmowały prądy o natężeniu od 10 A do 130 A przy częstotliwości 50 Hz. Wykazano, że największa gęstość strumienia magnetycznego występuje w pobliżu krawędzi przewodnika, co jest kluczowe w celu optymalnego umieszczenia magnesów. Badania potwierdziły znaczącą przewagę układu bimorficznego pod względem efektywności pozyskiwania energii, który przy prądzie wzbudzenia 130 A generował szczytowe napięcie 4,26 V i prąd 127,16  $\mu$ A, co umożliwia uzyskanie mocy wyjściowej RMS na poziomie 272,48  $\mu$ W. Układ monolityczny w tych samych warunkach wygenerował napięcie 1,75 V i prąd jedynie 1,03  $\mu$ A pod obciążeniem. Autorzy podjęli także zagadnienie dopasowania impedancji obciążenia układu, wskazując, że w przypadku belki jednowarstwowej optymalna rezystancja obciążenia wyniosła ok. 1,768 M $\Omega$ , podczas gdy w przypadku układu bimorficznego ze względu na znacznie wyższą pojemność efektywną było to tylko 33,5 k $\Omega$ . Autorzy wykazali, że systemy bazujące na belkach bimorficznych PZT są obiecującym źródłem zasilania bezobsługowych czujników IoT w infrastrukturze elektroenergetycznej, oferując moc wystarczającą do zasilania nowoczesnych modułów komunikacji bezprzewodowej.

- W ostatniej z pozycji wskazanych przez Kandydata jako osiągnięcie naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne przedstawia On wyniki badań nad hybrydowym systemem zasilania, łączącym technologie pozyskiwania energii z gradientu temperatury oraz ze światła. Głównym celem pracy było zapewnienie autonomii energetycznej węzłom Internetu Rzeczy oraz eliminacja ich zależności od baterii. Autor wskazuje, że systemy hybrydowe są bardziej niezawodne, ponieważ potrafią generować energię nawet wtedy, gdy jedno ze źródeł środowiskowych (np. światło słoneczne po zmroku) jest niedostępne. W przedstawionym w pracy projekcie Kandydat zastosował ogniwo Peltiera o wymiarach 40 × 40 mm, pracujące jako generator termoelektryczny oraz układ optyczny, w ramach którego Autor testował trzy

rodzaje ogniw słonecznych: monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz amorficzne, ostatecznie wybierając ogniwo polikrystaliczne o wymiarach 65 × 65 mm. W tworzonym systemie odzysku energii zastosował układ konwersji energii LTC3108 oraz bufor energii w postaci superkondensatora o pojemności 1 mF. W ramach przeprowadzonych testów Autor wykonał pomiary mocy generowanej przez poszczególne moduły oraz przez cały system hybrydowy. Zintegrowany układ łączący oba sposoby odzysku energii wykazał najwyższą stabilność i wydajność, generując moc w zakresie od 205 W do 450 W (przy oświetleniu 2000 luksów i różnicy temperatur od 8 do 20°C). W pracy ustalono ponadto zależność generowanej mocy od rezystancji obciążenia, przez co Autor określił, jak zmienia się rezystancja wewnętrzna badanych układów w różnych warunkach pracy. Udowodnił także, że połączenie dwóch źródeł energii pozwala na uzyskanie ciągłości zasilania węzła IoT, niwelując okresowe niedobory energii typowe w przypadku układów pojedynczych. Kandydat opracował i opisał w przedstawionej publikacji kompletną jednostkę zasilającą, z pomocą której możliwe jest zasilanie nowoczesnych układów komunikacji bezprzewodowej, dostarczył także podstaw teoretycznych i eksperymentalnych budowy zaawansowanych, hybrydowych jednostek zasilających, które łączą zalety konwersji termicznej i optycznej w celu osiągnięcia trwałej autonomii urządzeń IoT

W przedstawionym dorobku naukowym Kandydat koncentruje się na rozwiązywaniu aktualnych, użytkowych i kluczowych problemów współczesnej metrologii i systemów IoT, w tym niezwykle istotnych zagadnień autonomii energetycznej, precyzji pomiarów w środowiskach nieliniowych oraz niezawodności transmisji danych w zmiennych warunkach środowiskowych. Jako najważniejsze osiągnięcia naukowe, istotne dla rozwoju nauki w obszarze dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne należy wskazać:

- Opracowanie rozwiązań zapewnienia długofalowej autonomii energetycznej systemów bezprzewodowych sieci czujników, w ramach których Kandydat (częściowo wraz z zespołami badawczymi) opracował innowacyjne metody pozyskiwania energii z drgań o niskiej częstotliwości z użyciem przetworników piezoelektrycznych, jak i z użyciem hybrydowych systemów optyczno-termicznych o mocy wystarczającej do zapewnienia stabilnego zasilania tego typu systemów.
- Zastosowanie sieci neuronowych i zaproponowanie predyktora neuronowego, który na podstawie początkowego trendu krzywej wykładniczej estymuje wartość ustaloną stężenia zanieczyszczeń wody, w wyniku czego możliwe było istotne skrócenie czasu alarmowania o skażeniu środowiska wodnego. Dodatkowo wykazano możliwość estymacji drogich w pomiarze parametrów (chlorofil) za pomocą tańszych czujników pomocniczych.
- Opracowanie techniki segmentacji sygnału w pomiarach szybkozmiennych sygnałów



wysokoenergetycznych, która umożliwia stłumienie dryftu linii bazowej przy integracji sygnałów z sond różniczkowych pola elektrycznego i pola magnetycznego, co stanowi istotne osiągnięcie w odniesieniu do precyzyjnego odtwarzania impulsów o nanosekundowych czasach narastania.

- Budowa niskokosztowych systemów pomiarowych o wysokiej rozdzielczości, w ramach których zaprojektowano, wykonano i testowano w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych warunkach środowiskowych autorski sensor pyłu zawieszonego o zoptymalizowanym, laminarnym przepływie powietrza oraz system monitoringu konstrukcji dachowych.

Należy podkreślić, że przedstawiony dorobek naukowy charakteryzuje silne nastawienie na praktyczne zastosowania inżynierskie (w tym poparte współpracą z otoczeniem gospodarczym), wsparte także zaawansowanym aparatem modelowania matematycznego rozpatrywanych systemów. Prowadzone prace badawcze mają także charakter użytkowy, czego dowodem jest uzyskanie zastrzeżenia patentowego dotyczącego pływającej platformy do kompleksowego monitorowania warunków środowiskowych, szczególnie zanieczyszczeń wód powierzchniowych, którego Habilitant jest współautorem. Dziwić może nieco brak ujęcia uzyskanego zastrzeżenia patentowego jako jednej z pozycji wśród osiągnięć naukowych Kandydata, stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Jednym z celów prowadzonych badań było dążenie do zapewnienia pełnej autonomii energetycznej systemów pomiarowych, co jest niezwykle istotnym aspektem w świetle rozwijających się systemów IoT i Przemysłu 4.0. W przedstawionych opracowaniach naukowych udowodniono, że możliwe jest skuteczne i stabilne zasilanie rozproszonych sieci czujnikowych (WSN) w trudnych i zmiennych warunkach środowiskowych bez konieczności stosowania zasilania bateryjnego lub przewodowego, z zastosowaniem różnorodnych systemów odzysku energii elektrycznej ze środowiska pracy systemu, w tym systemów hybrydowych zwiększających skuteczność i niezawodność proponowanych rozwiązań. Zastosowanie systemów hybrydowych, w których łączy się pozyskiwanie energii ze źródeł termicznych i optycznych, znacząco poprawia stabilność zasilania i niweluje braki energii, które mogą pojawić się przy korzystaniu tylko z jednego źródła (np. brak światła słonecznego w nocy). Zaproponowane rozwiązania systemów odzysku energii opisane przez Habilitanta zapewniają znaczące możliwości autonomizacji systemów osiągając kilkunastoletnie okresy stabilnego zasilania, jak ma to miejsce w przypadku opracowanego systemu zasilania czujników kolejowych bazującego na zastosowaniu energii wibracji o niskiej częstotliwości.

Mocną stroną przedstawionego dorobku naukowego jest również zastosowanie sztucznej inteligencji w metrologii środowiskowej. Innowacyjne podejście i rozwiązania

zaproponowane przez Habilitanta umożliwiły istotne skrócenie czasu reakcji systemów ostrzegania przed skażeniem wody. W przedstawionych pracach badawczych wykazano również, że stosowanie metod nieliniowych umożliwia kompensację niedoskonałości sprzętowych, co prowadzi do budowy precyzyjnych systemów diagnostycznych przy użyciu relatywnie prostych i nisko kosztowych sensorów.

W obszarze pomiarów impulsów wysokoenergetycznych Kandydat zaproponował technikę segmentacji sygnału, której zastosowanie umożliwiło rozwiązanie problemu dryftu linii bazowej, przez co możliwe jest wielokrotne stłumienie błędów całkowania i precyzyjne odtwarzanie kształtu pól elektromagnetycznych o nanosekundowych czasach narostu.

Warto również podkreślić matematyczne podejście do obiektywizacji procesu projektowania warstwy sprzętowej projektowanych systemów pomiarowych. Zastosowanie metod QFD (Quality Function Deployment) oraz narzędzia wspomagania decyzji AHP (Analytic Hierarchy Process) umożliwiło matematyczne uzasadnienie wyboru komponentów, eliminując subiektywizm inżyniera projektującego system i optymalizację konstrukcji z uwzględnieniem wymagań klienta oraz rzeczywistych warunków środowiskowych pracy projektowanego systemu.

Podsumowując, przedstawiony dorobek naukowy Habilitanta charakteryzuje się silnym nastawieniem na aplikacyjność i rozwiązywanie problemów inżynierskich tam, gdzie tradycyjne metody liniowe lub zasilanie bateryjne zawodzą. Dużą zaletą jest weryfikacja eksperymentalna modeli teoretycznych w trudnych warunkach terenowych.

Realizacja celów badawczych postawionych przez Habilitanta wymagała obszernych badań, które zostały szczegółowo zaplanowane i wykonane, zaś ich wyniki poddane starannej analizie, udokumentowane i opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych, z których większość posiada wysoką wartość współczynnika wpływu IF. Pozwala to stwierdzić, że Habilitant trafnie wybrał tematykę swoich badań naukowych, skupiając się na zagadnieniach istotnych dla rozwoju nauki w obszarze dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Uzyskane rezultaty Jego prac stanowią podstawę opracowania innowacyjnych systemów mechatronicznych i mogą być użyteczne dla innych badaczy, wpisując się w oczekiwania zarówno świata nauki, jak i współczesnego przemysłu. Habilitant nie ograniczał procesu walidacji opracowanych modeli matematycznych i koncepcji systemów jedynie do porównania otrzymywanych rezultatów analiz z rezultatami symulacji numerycznych lecz uzyskiwane wyniki odnoszone były do rezultatów badań eksperymentalnych, prowadzonych w warunkach laboratoryjnych, jak i w rzeczywistym, docelowym środowisku pracy projektowanych systemów.

Ponadto, Habilitant potrafił wykazać spójność merytoryczną opracowań stanowiących Jego osiągnięcie naukowe oraz, poprzez ich dobór, a także sposób prezentacji



w przedstawionej do oceny dokumentacji, przedstawić swoje dokonania jako logiczną całość, która stanowi potwierdzenie świadomego rozwoju obranej ścieżki rozwoju naukowego. Świadczy to o dojrzałości naukowej Habilitanta.

W odniesieniu do analizowanych modeli układów belkowych zawierających przetworniki piezoelektryczne, Habilitant założył jednak, że w płaszczyźnie połączenia komponentów (aktywnego elementu piezoelektrycznego i pasywnego podukładu mechanicznego) nie występuje żadna warstwa pośrednia i nie ma poślizgów. Takie założenia upraszczają proces modelowania układu, jednak uniemożliwiają pełne odwzorowanie obiektu rzeczywistego, w przypadku którego istnieje konieczność połączenia elementów aktywnych z pasywnymi za pomocą warstwy kleju o niezerowej grubości i określonych, odmiennych od pozostałych elementów układu właściwościach. Na fakt, że warstwa łącząca przetwornik piezoelektryczny z współpracującym podukładem mechanicznym ma znaczący wpływ na charakterystykę elektromechaniczną systemu wskazuje wielu autorów zajmujących się zagadnieniami modelowania i badania układów drgających zawierających przetworniki piezoelektryczne. W prowadzonych przez Habilitanta rozważaniach brakuje także próby ujęcia w opracowanym aparacie matematycznym badania charakterystyki tego typu układów wpływu na nie zewnętrznych parametrów, wynikających ze zmiennych warunków ich eksploatacji. W wielu pracach naukowych podejmowano zagadnienia istotnego wpływu zmian temperatury na efektywność układów drgających, w których przetworniki piezoelektryczne stosowane są zarówno jako wzbudniki drgań, elementy systemów odzysku energii elektrycznej z drgań mechanicznych, czy też układów aktywnej lub pasywnej redukcji drgań. Wartościowym byłoby określenie przez Habilitanta możliwości rozwoju dotychczasowych prac badawczych w kierunku uwzględnienia wymienionych aspektów, tym bardziej, że przeznaczone są one do eksploatacji w zmiennych warunkach środowiskowych pracy taboru kolejowego.

Należy mieć też na uwadze, że w przypadku systemów pozyskiwania energii z wibracji, urządzenia te są silnie zoptymalizowane pod konkretne, przyjęte częstotliwości rezonansowe pracy. Zmiana warunków pracy wynikająca przykładowo ze zmiany prędkości pociągu poza założony zakres może drastycznie obniżyć ich wydajność energetyczną. Analogicznie, w systemach fotowoltaicznych, okresy zimowe mogą powodować niewystarczającą wydajność systemu lub wręcz wymagać instalacji dodatkowych paneli ze względu na niewystarczające nasłonecznienie (w pracy założono wysokie natężenie oświetlenia wynoszące 2000 luksów).

Istotnym wyzwaniem aplikacyjnym zaproponowanych rozwiązań może być także złożoność obliczeniowa proponowanych algorytmów i metod przetwarzania sygnałów z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji. Sieci neuronowe mogą być z powodzeniem stosowane w zagadnieniach związanych z predykcją, wymagają one jednak znacznych zasobów do ich trenowania oraz odpowiedniej mocy procesora stosowanego w węźle

pomiarowym do pracy w czasie rzeczywistym. Ponadto skuteczność modeli predykcyjnych (np. stosowanych do określenia poziomu chlorofilu) jest ściśle uzależniona od jakości i objętości danych uczących, a przy ich niewystarczającej liczbie błędy estymacji mogą być znaczące.

Podsumowując, przedstawione do oceny prace reprezentują w mojej ocenie bardzo wysoki poziom naukowy i inżynierski, zaś ich słabsze strony wynikają głównie z obiektywnych kompromisów między kosztem rozwiązania a precyzją, zaś wskazane uwagi mogą stanowić asumpt do podjęcia dalszych badań i analiz.

Doświadczenia Kandydata, zdobyte na przestrzeni lat Jego aktywności zawodowej, stanowią podstawę do efektywnego udziału w pracach badawczo-rozwojowych, prowadzonych przez Politechnikę Warszawską, w tym prac realizowanych dla przemysłu. W ramach współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym Habilitant odbył półroczny staż przemysłowy w przedsiębiorstwie Labelland Paweł Nowacki w 2014 roku, którego wynikiem było opracowanie systemu identyfikacji elektronicznej opartego na technologii RFID. Jest także autorem jednej i współautorem trzech ekspertyz i opracowań wykonanych na zlecenie przedsiębiorstw.

Jest współautorem zastrzeżenia patentowego o numerze PL 226761, udzielonego w 2017 roku o tytule „Pływająca platforma do kompleksowego monitorowania warunków środowiskowych, szczególnie zanieczyszczeń wód powierzchniowych”.

Habilitant jednokrotnie brał udział w programie wymiany akademickiej ERASMUS+, w ramach której odbył tygodniowy indywidualny program treningowy na Wydziale Inżynierii Elektrycznej, Elektroniki i Informatyki Uniwersytetu w Katanii.

Habilitant (na dzień składania wniosku) był autorem lub współautorem trzydziestu pięciu artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych (pięć publikacji przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora), w tym w dużej mierze z bazy Journal Citation Reports (JCR) o łącznym współczynniku Impact Factor równym 34,8. Autorem jednego i współautorem dwóch rozdziałów w monografiach naukowych. Liczba cytowań Jego publikacji wg bazy Web of Science wynosiła 144 (101 bez autocytowań), zaś indeks Hirscha był równy 6 (5 przy wykluczeniu autocytowań). Współczynniki te w bazie Scopus wynosiły odpowiednio 178 cytowań (w tym 126 bez autocytowań), zaś indeks Hirscha był równy 6 (5 przy wykluczeniu autocytowań). Współczynniki w bazie Google Scholar wynosiły odpowiednio 231 cytowań (w tym 174 bez autocytowań), zaś indeks Hirscha był równy 7 (5 przy wykluczeniu autocytowań). Liczba punktów zgodnie z listą czasopism punktowanych MNiSW/MEiN wynosiła 1681. Wymienione, liczbowe wskaźniki dorobku Habilitanta należy uznać za zadowalające. Habilitant był siedmiokrotnie nagradzany za działalność naukową przez JM Rektora Politechniki Warszawskiej. We wszystkich przypadkach były to nagrody



zespołowe. Dwukrotnie (w latach 2009 i 2011) otrzymał także stypendia naukowe Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej przyznawane przez Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej. W 2013 roku odbył także szkolenie z efektywnego zarządzania projektami zakończone egzaminem i uzyskaniem certyfikatu PRINCE2 Foundation.

Na uwagę zasługuje aktywność Habilitanta w zakresie działalności naukowo-badawczej prowadzonej wspólnie z innymi niż macierzysty ośrodkami z kraju i zagranicy, której efektem są liczne publikacje naukowe, jak i zastrzeżenie patentowe. Wśród tych ośrodków znajdują się: Wojskowa Akademia Techniczna, Sieć Badawcza Łukasiewicz (Instytut Tele i Radiotechniczny, Instytut Technologii i Eksploatacji, Krakowski Instytut Technologii Elektronowych, Instytut Elektrotechniki), czy też Department of Computer Engineering, University of Al.-Nahrain z Iraku.

Podsumowując, stwierdzam, że dorobek dokumentujący działalność naukową Kandydata jest obszerny i ma charakter zarówno teoretyczny, jak i aplikacyjny, zaś wskazane uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej jego oceny. Dorobek ten spełnia wymagania, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571).

#### **4. Ocena aktywności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej Kandydata**

Dr inż. Bogdan Dziadak posiada istotny udział w realizacji procesu dydaktycznego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Warszawskiej. Prowadził zajęcia dydaktyczne (wykłady, zajęcia projektowe i laboratoryjne) na kierunkach studiów prowadzonych przy Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej z zakresu pomiarów mobilnych; przetworników i sensorów; metrologii wielkości nieelektrycznych; sensorów przemysłowych; sensorów i aktuatorów; przetworników pomiarowych; przetworników i interfejsów; systemów pomiarowych i sensoryki pojazdowej; projektowania sensorów, a także prowadzonych w języku angielskim zajęć: Electrical Measurement non Electrical Parametrs; Mobile Measurements. Ponadto był członkiem wydziałowej Komisji Kształcenia na kierunku Electrical Engineering i brał udział w opracowaniu nowego programu studiów na tym kierunku, a także uczestniczył w tworzeniu specjalności studiów o nazwie „Systemy wbudowane”. W ramach swoich działań był także współtwórcą i organizatorem praktycznych projektów naukowych realizowanych przez studentów w podmiotach zewnętrznych. Brał również udział w organizowanych przez Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej szkołach letnich w charakterze wykładowcy. Był promotorem 40 projektów inżynierskich i 62 prac dyplomowych magisterskich (dwie spośród nich zostały wyróżnione w konkursach), jest także promotorem pomocniczym w jednym przewodzie doktorskim. Jest kierownikiem Laboratorium

Przetworników Pomiarowych. Za osiągnięcia dydaktyczne Habilitant był dwukrotnie nagradzany przez JM Rektora Politechniki Warszawskiej nagrodą zespołową drugiego stopnia.

Habilitant wykonał recenzje 49 prac nadesłanych do publikacji w czasopismach naukowych, takich jak IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Przegląd Elektrotechniczny, Applied System Innovation, Micromachines, Sensors, Electronics, Journal of Marine Science and Engineering, Energies, Journal of Low Power Electronics and Applications, Nanomaterials, Measurement, Metrology and Measurement Systems, Complexity.

Habilitant wygłosił piętnaście referatów na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych (w tym trzy przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora), jest też współautorem dziesięciu referatów konferencyjnych zaprezentowanych przez współautorów. Był kierownikiem dwóch grantów Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej oraz jednego grantu w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Był także wykonawcą w trzech projektach finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (w tym jeden przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora).

Habilitant jest członkiem Wydziałowej Komisji Wyborczej od roku 2024 oraz Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej od roku 2025. Począwszy od 2012 roku jest członkiem międzynarodowych towarzystw naukowych IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Industrial Electronics Society Membership, zaś od 2025 roku IEEE Instrumentation and Measurement Society Membership. Od 2023 roku jest redaktorem tematycznym czasopisma „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania”.

Bierze czynny udział w działaniach popularyzujących naukę takich, jak międzyuczelniane konkursy na najlepszą pracę dyplomową, konkursy uczniowskich prac badawczych, czy też pokazowe zajęcia dla uczniów szkół średnich.

Za działalność organizacyjną Habilitant był jednokrotnie nagrodzony przez JM Rektora Politechniki Warszawskiej nagrodą zespołową drugiego stopnia.

Działalność dydaktyczną, organizacyjną i popularyzatorską Kandydata należy ocenić pozytywnie, choć jego aktywność w tym zakresie nie jest wyróżniająca się. W przedstawionej dokumentacji nie odnaleziono informacji na temat nagród otrzymanych przez Habilitanta przyznanych przez komitety naukowe i organizacyjne konferencji naukowych, podczas których Habilitant prezentował swoje osiągnięcia. Niedosyt budzi także brak lub niewielka aktywność Habilitanta w zakresie działalności w komitetach redakcyjnych i naukowych konferencji czy czasopism naukowych.



## 5. Ocena końcowa

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy, dydaktyczny, organizatorski i popularyzatorski Habilitanta – dra inż. Bogdana Dziadaka, jak i jego aktywność w ich zakresie należy ocenić pozytywnie. Jego działalność i osiągnięcia wskazują, że jest on dojrzałym pracownikiem naukowym, którego wiedza, kompetencje i umiejętności pozwalają na prowadzenie samodzielnej działalności naukowej i akademickiej. Uważam, że pomimo pewnych subiektywnych uwag, wskazanych w niniejszym opracowaniu, przedstawione przez Kandydata osiągnięcia są zgodne z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571) i mogą być traktowane przez komisję habilitacyjną jako dorobek upoważniający do wystąpienia o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Wnioskuje więc o dopuszczenie dra inż. Bogdana Dziadaka do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Z wyrazami szacunku

