

Łódź, 5 sierpnia 2023 r.

**R E C E N Z J A**  
**w postępowaniu o nadanie dr. inż. Grzegorzowi Bieszczadowi**  
**stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,**  
**w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika**  
**i technologie kosmiczne**

Recenzję opracowałem na podstawie dokumentów dołączonych do pisma-zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEiTK) Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) w Warszawie z 26 czerwca 2023 roku. Kryteria oceny osiągnięć naukowych w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego zawarto w art. 219 ustawy z 4 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742).

Pan Grzegorz Bieszczad uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych nadany uchwałą Rady Instytutu Optoelektroniki (IO) WAT w 2012 roku, po obronie rozprawy pt. „Metoda korekcji wpływu temperatury na jakość zobrazowania obserwacyjnych kamer termowizyjnych”. Promotorem pracy doktorskiej był dr hab. Henryk Madura, a recenzentami prof. Mieczysław Szustakowski i prof. Bogusław Więcek. Praca doktorska kandydata została wyróżniona. Nie ubiegał się on w przeszłości o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Od 2008 r. wnioskodawca pracuje w IO WAT, obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta.

Podlegające ocenie w postępowaniu habilitacyjnym osiągnięcia naukowe, wskazane we wniosku dr. Bieszczada, noszą tytuł „Metody syntezy informacji z mikrobolometrycznych kamer podczerwieni do zastosowań specjalnych”. Są one opisane w cyklu sześciu powiązanych ze sobą tematycznie współautorskich artykułów [H1–H6] opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych: indeksowanych w Web of Science (WoS) [H3, H6] i w periodykach krajowych z list MNiSW [H1, H2, H4, H5]. Sumaryczny wskaźnik cytowań tych czasopism  $IF=5,621$ , suma punktów MNiSW jest równa 365, a liczba cytowań artykułów cyklu, z wyłączeniem autocytowań, wynosi 5 (Scopus) i 3 (WS).

W pracy [H1], finansowanej częściowo z funduszy NCBiR, zastosowano sieć WiFi miniaturowych kamer bolometrycznych CMOS do wykrywania, lokalizacji i śledzenia obiektów emitujących promieniowanie podczerwone. Sygnały elektryczne poszczególnych detektorów matrycy są filtrowane za pomocą filtru dolnoprzepustowego celem estymacji tła sceny i napięcia niezrównoważenia detektorów. Sygnał z wyjścia filtru jest odejmowany od sygnału detektora, co odpowiada filtracji górnoprzepustowej prowadzącej do korekcji nierównomiernego tła obrazu i resztkowego wzoru niejednakowej czułości detektorów. W skonstruowanych kamerach filtracja została zrealizowana za pomocą równolegle działających układów FPGA (6400 filtrów dla matrycy 80x80 pikseli). Kamery przekazują obrazy obserwowanej sceny do wspólnego serwera obliczeniowego, w którym realizowane są algorytmy detekcji obiektów, segmentacji i szacowania położenia środków ich masy. Skonstruowano poszczególne elementy i uruchomiono system złożony z czterech kamer umieszczonych w rogach kwadratu o boku 10 m, wewnątrz którego, po zadanej ścieżce poruszał się człowiek. Oceniono dokładność estymacji położenia obiektu na ścieżce. Kolejne

*AM*

badania przeprowadzono w systemie z dwunastoma kamerami, rozlokowanymi w pomieszczeniach budynku. Zidentyfikowano zalety proponowanego rozwiązania i obszary dalszych badań oraz możliwych usprawnień. Potwierdzono przydatność sieci kamer mikrobolometrycznych do detekcji i śledzenia obiektów. Choć zastosowane metody przetwarzania i analizy obrazów są znane, praca jako całość jest oryginalna i przyczynia się do rozwoju zastosowań elementów i układów optoelektronicznych. Według złożonego oświadczenia wnioskodawca jest autorem metody wyznaczania trajektorii ruchu obiektów na podstawie obrazów z wielu czujników i projektu architektury układów przetwarzania obrazów. Napisał i korygował manuskrypt artykułu. Szacuje swój wkład do tej pracy na 35%.

Celem projektu opisanego w artykule [H2] była ocena skuteczności wspomaganie nawigacji bezałogowych statków powietrznych za pomocą kamery mikrobolometrycznej. Korekcję i kondycjonowanie obrazów z czujników kamery zrealizowano podobnie jak w projekcie [H1]. Kamerę zainstalowano pod podwoziem pojazdu wielowirnikowego, z obiektywem skierowanym w kierunku Ziemi. Parametry ruchu pojazdu szacowano na podstawie analizy przepływu optycznego w obrazach. Oszacowane parametry były uzupełnieniem danych z czujników nawigacji inercyjnej drona, integrowanych z pomocą rozszerzonego filtra Kalmana. Zmierzone błędy oceny położenia drona na testowej ścieżce lotu były rzędu 1,5%. Podobną dokładność uzyskano w badaniach zespołu *Defence Science and Technology Group, University of South Australia, Edinburgh, South Australia*, w których kamerę bolometryczną zainstalowano na płatowcu [Rosser i in., *J Field Robotics* 2021;38:882–897]. Stwierdzono, że użycie kamery mikrobolometrycznej pozwala na wspomaganie nawigacji statku w warunkach ograniczonego dostępu do sygnału GPS, w warunkach ograniczonej widoczności i oświetlenia, a ponadto dostarcza obraz w podczerwieni, wzbogacający dane obserwacyjne. Habilitant był kierownikiem projektu finansowanego z funduszy NCBiR, jest współautorem koncepcji rozwiązania, opracował algorytm analizy przepływu optycznego, metodykę badań i część wyników, napisał manuskrypt artykułu [H2]. Swój udział w tej pracy oszacował na 45%.

W artykule [H3] scharakteryzowano innowacyjną metodę realizacji ukrytego kanału komunikacji cyfrowej z wykorzystaniem zjawiska samonagrzewania detektorów w kamerze mikrobolometrycznej. Pomysł polega na modulacji czasu trwania pomiaru rezystancji czujników i jest przedmiotem złożonego wniosku patentowego. Badania stanowiska testowego zawierającego dwie kamery – "nadawczą", która nie traci swojej funkcjonalności oraz odbiorczą do analizy temperatury czujników kamery nadawczej – potwierdziły postulowaną możliwość ukrytej transmisji z szybkością bitową, choć niewielką, to znacząco większą od znanego rozwiązania wykorzystującego "śląd termiczny" komputera PC [M. Guri i in., *IEEE 28th Computer Security Foundations Symposium* (2015);276–289]. Wykorzystanie kamer mikrobolometrycznych może być alternatywą dla radiokomunikacji w pewnych sytuacjach. Habilitant badał zjawisko samonagrzewania czujników bolometrycznych i jest współautorem koncepcji metody. Jego udział w pracy [H3] wynosi 40%.

Praca [H4] przedstawia weryfikację koncepcji urządzenia do wykrywania substancji chemicznych z wykorzystaniem kamer mikrobolometrycznych z dwupasmowym (dolno- i górnoprzepustowym) filtrem optycznym. Skalibrowane stanowisko testowe pozwoliło na rozróżnienie próbek nasączonych izopropanolem i etanolem – pozorna różnica ich temperatury wyniosła 2,5°C. Komercyjne detektory gazów są budowane z użyciem chłodzonych detektorów fotonowych. Doktor Bieszczad jest autorem koncepcji i struktury urządzenia do wykrywania gazów w dwóch przedziałach pasma 7µm-14µm, oprogramowania i planu badań. Napisał manuskrypt artykułu [H4], swój udział oszacował na 45%.

BM

Artykuł [H5] opisuje pierwsze w Polsce badania możliwości analizy stanu polaryzacji promieniowania rejestrowanego za pomocą kamer mikrobolometrycznych. Polarymetria w długofalowym zakresie podczerwieni pozwoliłaby na charakteryzację i wykrywanie obiektów niewykrywalnych znanymi metodami, np. z pomocą światła widzialnego. W celu sprawdzenia hipotezy o użyteczności tego podejścia zaprojektowano i skonstruowano polarymetr z obrotowym polaryzatorem pozwalający na zobrazowanie wybranych składowych wektora Stokesa różnych obiektów w przestrzeni barw umownych. Osiągnięto obiecującą dla praktyki rozdzielczość temperatury w odniesieniu do poziomu szumów. Stwierdzono, że dla wybranej klasy obiektów (m.in. o gładkiej powierzchni, ale też chropowatych na gładkim tle) polarymetry z kamerami bolometrycznymi mogłyby dawać znaczne zwiększenie zasięgu detekcji w porównaniu do detektorów wykorzystujących sygnatury przestrzennego rozkładu intensywności obrazu. Wyniki te były uzasadnieniem rozwoju tego kierunku badań, m.in. w ramach projektu NCBiR Lider, którego kierownikiem był dr Bieszczad, czy obronionej pracy doktorskiej, w której pełnił rolę promotora pomocniczego. Autorski artykuł przeglądowy [H6] podsumowuje wiedzę na temat znanych rozwiązań polarymetrów obrazowych i określa obszary dalszych badań.

Do połowy sierpnia 2023 r. praca [H6] była cytowana 3 razy (WoS, Scopus) w artykułach naukowych opublikowanych przez periodyki reprezentujące specjalności mieszczące się w dyscyplinie AEEiTK, jak *SENSORS* (IF5=4,1), *INFRARED PHYSICS & TECHNOLOGY* (IF5=1,696), *MEASUREMENT* (IF5=3,2), a także w materiałach konferencji *SPIE Conference on Polarization Science and Remote Sensing X 2021* indeksowanej w WoS. Prace dr. Bieszczada i współpracowników są odniesieniem dla międzynarodowej społeczności badaczy, ale wskaźniki cytowań nie są imponujące i nie odpowiadają rzeczywistej wartości tych osiągnięć dla rozwoju dyscypliny AEEiTK, szczególnie w aspekcie aplikacyjnym. W pewnym stopniu może to wynikać z opublikowania cyklu habilitacyjnego w ostatnich latach (4 artykuły w roku 2021), ale też z faktu, że inne 4 artykuły zostały opublikowane w krajowych periodykach naukowo-technicznych. Upowszechnienie rezultatów tych prac w czasopiśmie o światowym zasięgu, umożliwiłoby ich szerszą dyskusję i mogłoby przynieść wartościowe wnioski oraz uwagi, choćby ze strony recenzentów.

Projekty opisane w artykułach cyklu pt. „Metody syntezy informacji z mikrobolometrycznych kamer podczerwieni do zastosowań specjalnych” były realizowane w zespole pracowników IO WAT. Dokumentacja wniosku zawiera oświadczenia habilitanta o jego wkładzie merytorycznym i procentowym. Z tych deklaracji wynika, że udział dra Bieszczada w opisanych badaniach naukowych obejmuje koncepcje nowych zastosowań kamer mikrobolometrycznych, hipotezy dotyczące własności odpowiednich systemów, oraz metodykę i plany badań, jest znaczny oraz kluczowy dla przeprowadzenia analiz, symulacji i eksperymentów potrzebnych do udowodnienia postawionych hipotez. Udział procentowy jest znaczący i przekracza udział średni wynikający z liczby współautorów w przypadku każdej publikacji [H1-H6], szczególnie w odniesieniu do [H5, H6]. (Tu należy odnotować niezgodność wartości szacowanego wkładu procentowego wnioskodawcy do pracy [H5] podanych w dokumentacji wniosku: według "Wykazu osiągnięć naukowych ..." wynosi ona 60%, a w Tab. 1 na str. 3 "Autoreferatu" – 70%. Podobnie, wiersze Tab. 1 odnoszące się do liczby cytowań [H5] i [H6] wg Scopus są zamienione miejscami. Pomyłki te nie mają wpływu na ocenę znaczenia dorobku naukowego kandydata.)

Osiągnięcia naukowe dr. Bieszczada przedstawione w [H1-H6] są rezultatem poszukiwania praktycznych możliwości obrazowania stanu i własności obiektów fizycznych w zakresie długofalowej podczerwieni, z wykorzystaniem kamer bolometrycznych. Kamery takie są

RM

z aplikacyjnego punktu widzenia bardzo atrakcyjne – nie wymagają chłodzenia, są lekkie, tanie i energooszczędne. Z drugiej strony ich parametry funkcjonalne, takie jak temperaturowa zdolność rozdzielcza, bezwładność, liniowość charakterystyki przejściowej, poziom zakłóceń szumowych i nierównomierność czułości detektorów matrycy, ustępują kamerom z detektorami fotonowymi. W tym kontekście wyzwaniem jest opracowanie metod korekcji charakterystyk kamery oraz przetwarzania obrazów z jej pomocą uzyskanych, dla osiągnięcia oczekiwanej funkcjonalności systemu obrazowania i efektywnego wykorzystania pozyskanej informacji. Opracowane przez wnioskodawcę metody pozwalają osiągnąć te cele w kilku istotnych, wymienionych wyżej zastosowaniach, a także wyznaczają obszary nowych aplikacji.

Kryterium sformułowane w art. 219 ust. 1 pkt 2) ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce jest spełnione: dr Bieszczad posiada dorobek naukowy będący znacznym wkładem w rozwój dyscypliny AEEiTK, udokumentowany cyklem publikacji.

Łącznie kandydat jest autorem lub współautorem ponad 90 publikacji. Informacje o ich liczbie w wybranych kategoriach, przed i po uzyskaniu stopnia doktora przedstawia poniższa tabela. Według WoS prace te były cytowane 120 razy, w tym 89 razy przez wnioskodawcę i współautorów jego prac. Wskaźnik odwołań do prac własnych jest umiarkowany; spora liczba cytowań w artykułach innych badaczy jest potwierdzeniem znaczenia wyników tych prac dla badań w zakresie optoelektroniki. Sumaryczny wskaźnik cytowań  $IF$  odnoszący się do dorobku naukowego dra Bieszczada jest równy 18,8, z indeksem Hirscha  $h=6$  (WoS) i  $h=11$  (Scopus). Według bazy Scopus, największą liczbę cytowań (30) ma artykuł G. Bieszczad i in., „Method of detectors offset correction in thermovision camera with uncooled microbolometric focal plane array”, *Proceedings of SPIE*, vol. 7481, 2009. Według WoS, najczęściej cytowana (15 razy) jest praca G. Bieszczad i M. Kastek, „MEASUREMENT OF THERMAL BEHAVIOR OF DETECTOR ARRAY SURFACE WITH THE USE OF MICROSCOPIC THERMAL CAMERA”, *METROLOGY AND MEASUREMENT SYSTEMS* 2011. Dziedziny wiedzy reprezentowane przez czasopisma, w których odwoływano się do tej i innych prac wnioskodawcy są klasyfikowane przez WoS jako Electrical and Electronic Engineering (30%), Optics (27%), Instruments and Instrumentation (11%), Applied Physics (11%), Imaging Science (9%), Remote Sensing (5%) i inne. Wszystkie te obszary mieszczą się w dyscyplinie AEEiTK, zatem rezultaty prac dra Bieszczada są istotne dla społeczności badaczy, którzy uprawiają deklarowaną przez niego dyscyplinę naukową.

Rodzaj publikacji	Liczba przed 2013 r.	Liczba po 2012 r.
Rozdział w monografii o zasięgu międzynarodowym	1	2
Artykuł w czasopiśmie naukowym lub naukowo-technicznym	19	20
Komunikat w materiałach konferencji krajowej lub międzynarodowej	34	11

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora tematyka prac badawczych kandydata dotyczyła zastosowania układów programowalnych i mikroprocesorów do przetwarzania sygnałów w układach kamer termowizyjnych. Aktywnie uczestniczył w pracach zespołów WAT, które opracowały i przygotowały do wdrożenia celownik termowizyjny do broni strzeleckiej oraz kamerę termowizyjną do systemów kierowania ogniem. Obie konstrukcje zostały wyróżnione nagrodami rektorskimi (2009, 2010). W latach 2008-2011 brał udział w projekcie Europejskiej Agencji Obrony ukierunkowanym na rozwój metod wykrywania i przeciwdziałania aktywności

BM

strzelców wyborowych. Raporty prac konsorcjum sześciu uczestników tego projektu nie zostały upublicznione.

Po uzyskaniu stopnia doktora dr Bieszczad badał i rozwijał techniki obrazowania w zakresie podczerwieni i ich zastosowania. Był kierownikiem projektu NCBiR Lider, w ramach którego opracowano unikatową aparaturę do zobrazowania polaryzacji światła sceny obserwowanej przez kamerę. Badania te były rozwijane, m.in. w ramach obronionej rozprawy doktorskiej współnadzorowanej przez wnioskodawcę. Kamerę dwupasmową z powodzeniem zastosował do wykrywania substancji chemicznych w kierowanym przez niego projekcie NCBiR (2016-2017). Kierował też kolejnym przedsięwzięciem finansowanym przez NCBiR (2018-2021), którego rezultatem była metoda wspomagania nawigacji bezzałogowych statków latających z pomocą kamery mikrobolometrycznej. Prace naukowe i wdrożeniowe, w których uczestniczył zostały wyróżnione nagrodami rektorskimi i ministerialnymi.

Wnioskodawca współpracuje z zespołami naukowymi innych uczelni i instytucji, jak Politechnika Łódzka, Swedish Defence Research Agency, Centralna Szkoła Straży Pożarnej w Częstochowie, Uniwersytet Rzeszowski, konsorcjum w ramach zlecenia Polskiej Agencji Kosmicznej, Przemysłowe Centrum Optyki. Współpraca ta została udokumentowana publikacjami w czasopismach naukowych i naukowo-technicznych. Między innymi ostatnie wyniki tej szerokiej aktywności opublikowano w artykule M. Felczak i in., „Electrothermal analysis of a TEC-less IR microbolometer detector including self-heating and thermal drift”, *QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY JOURNAL* (IF5=2,1) który opisuje rezultaty projektu naukowego realizowanego w Politechnice Łódzkiej z udziałem dra Bieszczada. Wnioskodawca przedstawił 23 referaty i plakaty na konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym referat wyróżniony nagrodą *Outstanding Paper Award* i cztery wykłady plenarne. Był członkiem komitetu organizacyjnego konferencji krajowej, był recenzentem czterech artykułów dla zagranicznych periodyków naukowych. Kierował trzema wspomnianymi wyżej projektami finansowanymi przez NCBiR w drodze konkursów. Był wykonawcą osiemnastu krajowych projektów badawczych i badawczo-rozwojowych.

Doktor Bieszczad jest aktywny w zakresie współpracy z sektorem społecznym i gospodarczym. Przygotował i organizował trzy imprezy popularyzujące naukę w Warszawie. Jest autorem patentu obejmującego sposób korekcji wpływu temperatury na czułość kamery mikrobolometrycznej i współautorem wynalazku zgłoszonego do opatentowania. Był członkiem dwunastu zespołów badawczo-wdrożeniowych. Szacunkowa wartość produkcji celownika Rubin wdrożonego z jego dwudziestoprocentowym udziałem wyniosła 150 mln zł.

Uważam, że ustawowe kryterium „istotnej aktywności naukowej [...] realizowanej w więcej niż jednej uczelni [...]” (art. 219 ust. 1 pkt 3) jest w przypadku dra Bieszczada spełnione.

Doktor Bieszczad był promotorem trzech prac magisterskich, trzech prac inżynierskich i promotorem pomocniczym pracy doktorskiej. Jest laureatem nagród zespołowych Ministra Obrony Narodowej i Rektora WAT, a także indywidualnych nagród rektorskich.

Dorobek naukowy przedstawiony w dokumentacji wniosku dr. inż. Grzegorza Bieszczada o nadanie stopnia doktora habilitowanego i jego aktywność naukowa spełniają wymagania ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Uzasadniłem to w treści recenzji. Moja ocena tego wniosku jest pozytywna.

