

## RECENZJA

osiągnięć dra inż. Pawła GILA w postępowaniu o nadanie stopnia doktora  
habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

Podstawa opracowania recenzji: Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 z późniejszymi zmianami (art. 219 ust. 1 pkt 1, 2 i 3) oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej (pismo RM/531-03-07/2023 z dnia 30.10.2023 r.) a także Uchwała Nr 03/10/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej z dnia 25.10.2023 r. Recenzja uwzględnia elementy oceny wymienione w § 2 pkt 5 Umowy o dzieło nr NN/531/60/2023 z dnia 12.12.2023 r.

### 1. Informacje podstawowe

Pan dr inż. Paweł Gil w roku 2012 ukończył studia inżynierskie I stopnia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej na specjalności: Alternatywne Źródła i Przetwarzanie Energii. Tematem pracy dyplomowej był: *Projekt techniczny małego układu kogeneracyjnego*, natomiast promotorem dr inż. Robert Smusz.

Kontynuując studia II stopnia na tym samym wydziale i specjalności w 2013 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera broniąc pracę dyplomową pt.: *Projekt i wykonanie stanowiska dydaktycznego do badania obiegów absorpcyjnych* pod opieką naukową dr inż. Mariusza Szewczyka.

**Decyzją Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 14 czerwca 2017 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.** Podstawą nadania stopnia doktora była rozprawa doktorska zatytułowana *Wpływ parametrów geometrycznych generatora strugi syntetycznej na efektywność chłodzenia w aspekcie zastosowań w urządzeniach technicznych*, wykonana pod kierunkiem dra hab. inż. Piotra Strzelczyka, prof. PRz. Promotorem pomocniczym był dr inż. Zygmunt Szczerba. Recenzentami w przewodzie doktorskim byli: prof. dr hab. inż. Krzysztof Józwiak i prof. dr hab. inż. Dawid Taler.

Habilitant w roku 2015 uczestniczył w 41 kursie Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (International Welding Engineer) w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach. Uprawnienia PL/IWE/1834/2015.

Akademicką pracą zawodową dr inż. Paweł Gil rozpoczął na Politechnice Rzeszowskiej już w roku 2013 i kontynuuje ją do dziś. W latach 2013-2018 był asystentem w Katedrze Termodynamiki i Mechaniki Płynów Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, natomiast od 2018 jest adiunktem w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych Zakładu Termodynamiki Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

Z otrzymanych dokumentów sprawy wynika, iż Pan dr inż. Paweł Gil nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

## 2. Ocena dorobku naukowego jako podstawy do uzyskania habilitacji

Osiągnięcia naukowo-badawcze dra inż. Pawła Gila, będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych, przedstawione zostały w postaci spójnego tematycznie cyklu publikacji pod wspólnym tytułem *Badania eksperymentalne generatorów strugi syntetycznej*.

Cykl publikacji obejmuje w sumie piętnaście pozycji ([A1]-[A15] przedstawionych w Załącznik 3. Autoreferat) z listy JCR z okresu 2016-2023, w tym: jednaście współautorskich i cztery autorskie publikacje. Ich łączna liczba punktów wynosi 1545 pkt, a sumaryczny IF zgodny z rokiem opublikowania wynosi 50,093. Po trzy publikacje, w których Habilitant jest autorem lub współautorem, ukazały się w czasopiśmie *International Journal of Thermal Sciences* [A2], [A6], [A7] - współczynnik IF=4,3 (5-letni IF w 2023) oraz *Applied Sciences* [A11], [A12], [A13] o współczynniku IF=2,9 (5-letni IF w 2022). Kolejne po dwie publikacje opublikowane zostały w *International Journal of Heat and Mass Transfer* [A1], [A5] - współczynnik IF=5,3 (5-letni IF w 2023) oraz *Actuators* [A14], [A15] o współczynniku IF=2,6 (5-letni IF w 2022). Po jednej publikacji w czasopismach: *Journal of Fluids and Structures* [A3] - IF=3,4 (5-letni IF w 2023), *Energies* [A8] - IF=3,3 (5-letni IF w 2022), *Experimental Thermal and Fluid Science* [A9] - IF=3,8 (5-letni IF w 2020), *Sensors and Actuators A: Physical* [A10] - IF=3,6 (5-letni IF w 2020), *Journal of Applied Fluid Mechanics* [A4] - IF=1,4 (4-letni IF w 2022).

Na uwagę zasługuje fakt, że dr inż. Paweł Gil swoje osiągnięcia naukowe publikuje w różnych czasopismach i w ten sposób trafia też do szerszego grona odbiorców. Warto również zwrócić uwagę na to, że prace współautorskie są o znaczącym udziale merytorycznym Habilitanta. Praca [A1], [A2], [A3], [A4] - 1 autor 100% udziału Kandydata, [A5] - 4 autorów 50% udziału Kandydata, [A6] 2 autorów 50% udziału Kandydata, [A7] - 4 autorów 40% udziału Kandydata, [A8] - 6 autorów 30% udziału Kandydata, [A9], [A10], [A14] - 2 autorów 50% udziału Kandydata, [A11] - 4 autorów 40% udziału Kandydata, [A12] - 4 autorów 25% udziału Kandydata, [A13] - 3 autorów 33.34% udziału Kandydata, [A15] - 4 autorów 35% udziału Kandydata.

Zagadnieniami związanymi ze strugą syntetyczną, teorią jej powstawania, urządzeniami umożliwiającymi jej wytworzenie, właściwościami strugi syntetycznej czy też możliwościami aplikacyjnymi naukowcy zaczęli zajmować się intensywnie na przełomie XX i XXI wieku. Sam mechanizm powstawania ciągu struktur wirowych bez zewnętrznego doprowadzenia płynu od lat był obserwowany w przyrodzie. Przykładem mogą tu być głowonogi, które stosują tę metodę do przemieszczania się. Tak więc kolejny raz podpatrywanie natury przyczynia się do rozwoju nowego obszaru badawczego.

Struga syntetyczna powstaje na skutek cyklicznego ruchu membrany lub tłoka wewnątrz komory, która ma jedną lub wiele dysz w ścianie. Struga syntetyczna jest rodzajem przepływu, który ze względu na swoją strukturę wirową, jest zmienny w czasie i przestrzeni. W pobliżu dyszy wektory prędkości okresowo zmieniają kierunek i wartość od maksymalnej do minimalnej przechodząc przez zero w każdym punkcie. Zmienność wartości i kierunku

wektorów prędkości nastrocza dużych problemów w pomiarach eksperymentalnych pól prędkości.

Zjawiska towarzyszące powstawaniu strugi syntetycznej, procesy zachodzące w generatorach strugi, a w konsekwencji również same zastosowania techniczne kwalifikują rozważany obszar badawczy Kandydata do dyscypliny inżynieria mechaniczna. Struga syntetyczna może być wykorzystywana do intensyfikacji wymiany ciepła, redukcji oporów aerodynamicznych, kontroli warstwy przyściennej lub napędu małych podwodnych robotów. Najbardziej perspektywicznym zastosowaniem strugi syntetycznej jest rozpraszanie ciepła, zarówno przy chłodzeniu uderzeniowym jak i w połączeniu z przepływem.

Tematyka zaprezentowana w przedstawionym do oceny osiągnięciu naukowym stanowi rozwinięcie prowadzonych dotychczas w świecie prac badawczych, a także pokazuje oryginalne rozwiązania Kandydata dotyczące konstrukcji, metod badawczych, możliwości aplikacyjnych, optymalizacji, zakresów stosowalności różnych typów generatorów strugi syntetycznej.

Obszar badawczy zawarty w tematycznym cyklu publikacji zatytułowanym: „*Badania eksperymentalne generatorów strugi syntetycznej*” został podzielony na dwa główne podtematy:

- Intensyfikacja wymiany ciepła w systemach chłodzenia strugą syntetyczną. Publikacje: [A1], [A2], [A5], [A6], [A7], [A8], [A9], [A12];

- Innowacyjne metody badawcze charakterystyk przepływowych strugi syntetycznej. Publikacje: [A3], [A4], [A7], [A9], [A10], [A11], [A13], [A14], [A15].

W ramach realizowanych przez Kandydata prac dotyczących **intensyfikacji wymiany ciepła** przeprowadzono badania eksperymentalne mających na celu zbadanie wpływu określonych parametrów, zarówno geometrycznych, jak i elektrycznych oraz akustycznych, charakteryzujących generatory strugi syntetycznej, na intensyfikację procesów wymiany ciepła. Wyniki badań chłodzenia uderzeniowego strugą syntetyczną w gorącą płytę są zamieszczone w publikacjach [A1], [A5] oraz [A6], natomiast rezultaty badań chłodzenia radiatora zintegrowanego w komorze generatora strugi syntetycznej zaprezentowano w [A2], [A7] oraz [A12]. W pracy [A1] Kandydat porównał charakterystyki cieplne i przepływowe generatora strugi syntetycznej z jedną dyszą w stosunku do generatorów z wieloma dyszami. Celem tych badań było sprawdzenie czy generatory z większą liczbą dysz cechują się lepszymi charakterystykami cieplnymi w stosunku do generatorów z jedną dyszą co wskazywały niektóre wyniki badań innych autorów. Badania Kandydata nie potwierdziły jednoznacznie takich wyników. W ramach pracy opisanej w [A2] wykonano pomiary chwilowych prędkości w osi dyszy, oraz chwilowych temperatur powietrza podczas cyklu zasysania i wytłaczania płynu. Określono liczby Reynoldsa oraz bezwymiarową długość skoku  $L_0$ , jak również wyznaczono rezystancję termiczną radiatora  $R$ . W publikacji [A5] zaprezentowano wyniki badań wielkości cieplnych oraz przepływowych przy chłodzeniu uderzeniowym strugą syntetyczną dla różnych liczb Reynoldsa, Strouhala, Stokesa oraz bezwymiarowej odległości osiowej. W pracy [A6] zamieszczono wyniki badań eksperymentalnych współczynników przejmowania ciepła przy chłodzeniu uderzeniowym strugą syntetyczną z pojedynczej osiowosymetrycznej dyszy dla różnych średnic dyszy, długości dyszy, objętości komory oraz zmiennych częstotliwości i napięcia zasilania generatora strugi syntetycznej. Zmieniane również były odległości pomiędzy dyszą a powierzchnią chłodzoną. Badania przepływowe, cieplne oraz akustyczne jedenastu różnych konfiguracji dysz generatora strugi syntetycznej z wbudowanym radiatorem zostały opisane w publikacji [A7]. Zbadano wpływ liczby dysz oraz ich średnic, przy zasilaniu generatora strugi syntetycznej stałą mocą czynną, na sprawność energetyczną generatora, poziom ciśnienia akustycznego (SPL), oraz rezystancję termiczną radiatora  $R$ . Badania nad prototypem przemysłowej oprawy oświetleniowej LED o mocy nominalnej 150 W chłodzonej generatorem strugi syntetycznej ze zintegrowanym radiatorem zostały opisane w publikacji [A8]. Zaprezentowano tam wyniki pomiarów wielkości elektrycznych oraz cieplnych oprawy oświetleniowej LED wraz z pełnym bilansem energetycznym. Oszacowano temperaturę złącza

diody LED, a następnie dobrano moc systemu chłodzącego, który zapewniał pracę złącz diod LED w temperaturach  $< 51^{\circ}\text{C}$ . Z pomiarów eksperymentalnych opraw oświetleniowych LED o efektywności  $166\text{ lm/W}$  wynika, że w przybliżeniu 60% energii elektrycznej jest zamieniane na ciepło, natomiast 40% jest zamieniane na światło. Wpływ częstotliwości rezonansowych oraz częstotliwości Helmholtza na wartość współczynnika przejmowania ciepła przedstawiono w pracy [A9]. W publikacji [A12] zaprezentowano porównanie dwóch systemów chłodzenia radiatorów. Pierwszy system wykorzystywał komercyjny wentylator osiowy, natomiast w drugim systemie zastosowano generator strugi syntetycznej. Obydwa urządzenia były zasilane taką samą mocą elektryczną i chłodziły ten sam radiator, który był zainstalowany na grzałce elektrycznej.

Główne wnioski jakie Kandydat przytacza, wynikające z analizy wyników badań charakterystyk cieplnych cechujących systemy chłodzenia z wykorzystaniem strugi syntetycznej, są następujące:

- najwyższe wartości współczynników przejmowania ciepła występują przy częstotliwościach: rezonansowej głośnika oraz rezonansowej Helmholtza, które to częstotliwości odpowiadają najwyższym wartościom liczb Reynoldsa charakterystycznym dla przepływów wywołanych przez generator strugi syntetycznej,
- proces zasysania przez generator strugi syntetycznej ciepłego powietrza z obszaru chłodzonego strugą powoduje obniżenie wartości współczynników przejmowania ciepła w pobliżu dyszy,
- liczba Nusselta charakterystyczna dla procesów chłodzenia strugą syntetyczną jest funkcją skorelowanych ze sobą następujących liczb bezwymiarowych: liczby Reynoldsa, Prandtla, Strouhala, Stokesa oraz bezwymiarowej odległości dyszy od powierzchni chłodzonej,
- dla zachowania warunków podobieństwa koniecznych przy badaniach modelowych systemów chłodzenia strugą syntetyczną, istotnym jest odpowiednie zdefiniowanie liczb bezwymiarowych poprzez wprowadzenie ekwiwalentnego wymiaru oraz prędkości charakterystycznej,
- konstrukcja generatora strugi syntetycznej, jego geometria, ilość zastosowanych dysz i ich konfiguracje, a także parametry elektryczne oraz akustyczne generatora stanowią zestaw czynników mających istotny wpływ na intensyfikację procesów chłodzenia z wykorzystaniem strugi syntetycznej.

W ramach realizowanych przez Kandydata prac dotyczących **innowacyjnych metod badawczych charakterystyk przepływowych strugi syntetycznej** przeprowadzono badania eksperymentalne mających na celu lepsze rozpoznanie zjawisk fizycznych towarzyszących tworzeniu się strugi, a także określenie charakterystyk przydatnych w zastosowaniach technicznych. W publikacji [A9] zaprezentowano charakterystyki przepływowe generatora strugi syntetycznej dla różnych konfiguracji geometrycznych oraz różnych częstotliwości i mocy doprowadzanych do generatora. Ze względu na fakt, że średni wydatek masowy w przekroju dyszy generatora strugi jest równy zero, nie wykorzystano definicji sprawności energetycznej stosowanej np. dla wentylatorów. W pracy zaproponowano definicję sprawności energetycznej opartej na prędkości charakterystycznej płynu w trzeciej potędze, mocy dostarczanej do generatora strugi syntetycznej, gęstości i powierzchni dyszy. Prędkości zostały zmierzone za pomocą anemometru stałotemperaturowego. W artykule zaprezentowano charakterystyki określające zależność liczb Reynoldsa oraz sprawności energetycznej w funkcji częstotliwości dla różnych średnic dysz, długości dysz oraz objętości komory generatora. Skomplikowany i czasochłonny charakter pomiarów prędkości charakterystycznej anemometrem stałotemperaturowym skłonił Autorów do poszukiwania innych metod badawczych. W publikacji [A3] Kandydat zaprezentował nową metodę pomiaru prędkości charakterystycznej strugi syntetycznej, na podstawie której określa się liczbę Reynoldsa i Strouhala. Zauważono związek pomiędzy siłą odrzutu generatora strugi syntetycznej, a jej prędkością charakterystyczną. Uśrednioną w czasie siłę odrzutu wyznaczono z pomiarów masy

na wadze laboratoryjnej, natomiast prędkość charakterystyczną strugi mierzono za pomocą anemometru stałotemperaturowego zainstalowanego na manipulatorze, który przemieszczał sondę po współrzędnej promieniowej dyszy. Kandydat zaproponował zależność wiążącą siłę odrzutu generatora strugi syntetycznej z jej prędkością charakterystyczną. Kandydat wykonał pomiary w prawie trzystu punktach, dla różnych konfiguracji geometrycznych generatora strugi oraz w szerokim zakresie liczb Reynoldsa i Strouhala. Uzyskał dużą zbieżność wyników pomiarów z zaproponowanym modelem. Nowa metoda badawcza umożliwiła około 10-krotne skrócenie czasu pomiaru prędkości charakterystycznej w stosunku do pomiarów anemometrem. W publikacji [A10] rozwinięto metodę opracowaną w [A3] umożliwiającą szybki pomiar sprawności energetycznej generatora strugi syntetycznej na podstawie badań siły odrzutu dzięki nowej metodzie. Autorzy dokonali pomiarów dla szerokiego zakresu konfiguracji geometrycznych, w stosunku do pomiarów prowadzonych za pomocą anemometru stałotemperaturowego. Została też zaproponowana nowa zależność na określenie sprawności energetycznej generatora strugi syntetycznej. W publikacji [A11] zaprezentowano wyniki pomiarów pól prędkości strugi syntetycznej dla liczby Reynoldsa wynoszącej 5000 oraz bezwymiarowej długości skoku  $L_0 = 2$  oraz 10 dla trzech dysz o różnym kształcie tj. dyszy okrągłej, kwadratowej oraz prostokątnej, o takim samym polu powierzchni dyszy. Wykorzystano system anemometrii obrazowej PIV 2D w celu zarejestrowania pól prędkości w powietrzu. W pracy zaprezentowano wpływ kształtu dyszy oraz bezwymiarowej długości skoku na pola prędkości średniej w czasie, wirowość oraz energię kinetyczną turbulencji. Wyniki badań zawarte w pracy [A9] wykazują, że generatory strugi syntetycznej osiągają najwyższe wartości liczby Reynoldsa oraz sprawności dla częstotliwości rezonansowych. Autorzy zwracają uwagę, że częstotliwość rezonansowa jest bardzo ważna. Ponieważ częstotliwość rezonansowa głośnika jest podawana przez producenta, natomiast częstotliwość rezonansowa Helmholtza jest określana z objętości komory oraz średnicy i długości dyszy a dostępne modele umożliwiające określenie częstotliwości rezonansowej Helmholtza nie zgadzały się z wynikami pomiarów eksperymentalnych dla generatorów strugi syntetycznej (błędy sięgały 50%) to w publikacji [A13] Autorzy zaprezentowali ulepszony model matematyczny umożliwiający określenie wartości częstotliwości rezonansowej Helmholtza dla generatorów strugi syntetycznej. Zmodyfikowany model został opracowany na podstawie badań eksperymentalnych 108 różnych konfiguracji generatorów strugi syntetycznej. Autorzy uzyskali zgodność wyników pomiarów dla 95% punktów pomiarowych z błędem  $\pm 6\%$ . Zaproponowany model umożliwia precyzyjniejsze projektowanie nowych generatorów strugi syntetycznej. W publikacji [A7] Autorzy zaprezentowali metody redukcji poziomu ciśnienia akustycznego generatorów strugi syntetycznej. Zaobserwowano, że wraz z dwukrotnym zwiększaniem mocy elektrycznej dostarczanej do generatora następuje przyrost poziomu ciśnienia akustycznego (SPL) o +3 dB. Zaobserwowano również, że dla tych samych mocy elektrycznych dostarczanych do generatora, dla małych średnic dyszy, prędkości strugi są bardzo wysokie i wraz z tym zostaje osiągnięty wysoki poziom SPL. Zwiększając średnicę dyszy, prędkości maleją, co skutkuje zmniejszeniem wartości SPL. W publikacji [A15] Autorzy badali wpływ ożebrowania komory generatora strugi syntetycznej oraz wpływ dwóch głośników o różnych parametrach i różnych częstotliwościach rezonansowych na poziom ciśnienia akustycznego (SPL) generatora. Głośniki miały częstotliwości rezonansowe wynoszące odpowiednio 28 Hz oraz 64 Hz. Generator strugi syntetycznej wykorzystujący głośnik o niższej częstotliwości rezonansowej, w zależności od doprowadzanej mocy elektrycznej, generował SPL o 10-14 dB niższy niż generator z głośnikiem o wyższej częstotliwości rezonansowej. W publikacji [A14] zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych generatorów strugi syntetycznej napędzanych głośnikami o różnych parametrach: różna impedancja znamionowa, częstotliwość rezonansowa, masa membrany. W trakcie eksperymentu założono, że każdy z głośników będzie pracował przy takiej samej mocy elektrycznej oraz przy swojej częstotliwości rezonansowej.

Dokonano pomiarów prędkości skutecznej anemometrem, poziomu ciśnienia akustycznego (SPL), rezystancji termicznej chłodzonego radiatora. Z pomiarów wynika, że różne głośniki, w zależności od jakości wykonania, generują różne poziomy ciśnienia akustycznego oraz różne charakterystyki cieplno-przepływowe dla tych samych mocy elektrycznych. W pracy [A4] Kandydat przedstawia wyniki badań eksperymentalnych wpływu strugi syntetycznej na możliwość sterowania oporem aerodynamicznym bryły nie-opływowej. W ramach pracy został zbudowany model pocisku z ostro ściętym tyłem, w którym zainstalowano generator strugi syntetycznej. Badania eksperymentalne były prowadzone w tunelu aerodynamicznym o średnicy roboczej wynoszącej 1000 mm i prędkości przepływu do 45 m/s. Przeprowadzone badania doprowadziły do wniosku, że struga syntetyczna umożliwia redukcję współczynnika oporu aerodynamicznego o 6%, jak również umożliwia zwiększenie oporu aerodynamicznego o 22% w stosunku do przypadku, gdy generator strugi jest wyłączony. Dla pojedynczego otworu uzyskano największą redukcję oporu, natomiast dla szczeliny największy wzrost oporu.

Na bazie wyników badań eksperymentalnych charakterystyk przepływowych strugi syntetycznej Kandydat wysuwa zasadnicze wnioski:

- najwyższe wartości liczb Reynoldsa oraz sprawności energetycznej generatora strugi syntetycznej są osiągnięte przy częstotliwości rezonansowej głośnika oraz częstotliwości rezonansowej Helmholtza zależnej od objętości komory oraz średnicy i długości dyszy,
- związek pomiędzy siłą odrzutu generatora strugi, a jej prędkością charakterystyczną daje możliwość wyznaczenia w szybki i prosty sposób liczby bezwymiarowe charakteryzujące przepływ oraz sprawność energetyczną,
- zastosowana metoda PIV umożliwiła wyznaczenie pól parametrów przepływowych niemożliwych do rejestracji metodami punktowymi,
- ze względu na dużą dynamikę zmian prędkości i wysoką wirowość podczas generacji strugi, badania przy użyciu metody PIV stanowią duże wyzwanie eksperymentalne wymagające walidacji, na przykład poprzez specjalne zastosowanie anemometrii stałotemperaturowej.

Analizując cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem *Badania eksperymentalne generatorów strugi syntetycznej* nie zauważyłem błędów merytorycznych, metodologicznych czy też pomiarowych w realizowanych badaniach naukowych. Obszar i zakres parametrów geometrycznych, przepływowych i elektrycznych generatora strugi syntetycznej zastosowany w badaniach naukowych Kandydata wydaje się wystarczający do dokonania poprawnej analizy jego efektywności funkcjonowania i optymalizacji parametrów pracy. Tak jak sam Kandydat napisał w Autoreferacie jego badania dotyczyły głównie dwóch zagadnień: intensyfikacji wymiany ciepła i innowacyjnych metod badawczych charakterystyk przepływowych strugi syntetycznej. Można również znaleźć badania związane z wpływem strugi syntetycznej na sterowanie oporem aerodynamicznym bryły nie-opływowej. Do wypełnienia całości tematyki związanej z zastosowaniem generatora strugi syntetycznej brakuje badań Kandydata w temacie wykorzystania generatora strugi syntetycznej do napędu lub sterowania mini lub mikro robotów powietrznych lub podwodnych.

Podsumowując tę część recenzji można stwierdzić, że osiągnięcia naukowe zrealizowane w ramach cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem *Badania eksperymentalne generatorów strugi syntetycznej* spełniają wymagania Ustawy (Art. 219 Ust. 1 pkt 2 lit. b), stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna i są dorobkiem w pełni wystarczającym do poparcia wniosku dra inż. Pawła Gila o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

### 3. Ocena pozostałego dorobku, w tym działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Aktywność naukowa Kandydata nie ograniczała się tylko do dorobku naukowego wskazanego jako główne osiągnięcie naukowe. Przed uzyskaniem stopnia doktora Kandydat opublikował sześć współautorskich rozdziałów w monografii, 12 artykułów naukowych w tym dziewięć współautorskich (cztery z promotorem): w uznanym czasopiśmie zagranicznym *Experimental Thermal and Fluid Science* (1) (IF=2,830) - praca wliczona do cyklu publikacji oraz krajowych takich jak: *Journal of Physics: Conference Series* (1), *Rynek Energii* (2), *INSTAL* (2), *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, *Mechanika* (6). Tematyka większości artykułów była ściśle związana z badaniami strugi syntetycznej, a pozostałe z badaniami w zakresie OZE. Kandydat uczestniczył również w 4 międzynarodowych konferencjach (2 w Niemczech i 2 w Polsce) i 6 konferencjach krajowych. W okresie 13.01.2014 - 29.01.2015 odbył również staż naukowy organizowany przez Rzeszowską Agencję Rozwoju Regionalnego w ramach projektu WND-POKL.08.02.01-18-015/12 pt. „Nauka idzie w praktykę”. Staż oraz związane z nim szkolenia odbywały się w kilku zakładach produkcyjnych zlokalizowanych w Polsce, najdłużej w ramach stażu przebywał w firmie MAR-SPAW w Tryńcu. W ramach stażu nabył wiedzę i kompetencje w zakresie komercjalizacji badań naukowych, nowych technologii stosowanych w zakładach przemysłowych oraz barierach dzielących środowisko naukowe oraz przemysłowe. Był również członkiem komitetu organizacyjnego XXII Zjazdu Termodynamików, który odbył się 23-27 września 2014 r w Polańczyku. Wykonał jedną recenzję w *Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control*.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych Kandydat znacznie powiększył swój dorobek naukowy i publikacyjny. Jest autorem lub współautorem 3 rozdziałów w monografiach oraz 23 artykułów (w tym 14 zgłoszonych we wniosku jako cykl publikacji i omówionych w punkcie 3 niniejszej recenzji). Pozostałe prace naukowe były publikowane w czasopismach takich jak: *Thermal Science* (1) (IF=1,574), *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* (1) (IF=1,307), *Rynek Energii* (1), *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, *Mechanika* (6). Większość z tych prac dotyczyła badań związanych z wymianą ciepła, wykorzystaniem ciepła z niekonwencjonalnych źródeł oraz materiałami termoizolacyjnymi. Brał czynny udział w 5 konferencjach międzynarodowych (jedna w Niemczech i cztery w Polsce) oraz 3 krajowych. Był członkiem komitetu organizacyjnego III Podkarpackiej Konferencji Młodych Naukowców, (Rzeszów 12-14 październik 2017r.). Wykonał 13 recenzji prac naukowo-badawczych dla renomowanych czasopism. I tak dla *Applied Thermal Engineering* wykonał 6 recenzji, dla *Actuators 2*, dla *Journal of Energy Storage*, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *Applied Sciences*, *Heat Transfer Engineering*, *International Journal of Thermofluids* po jednej recenzji.

Uczestniczył w 2 projektach badawczych:

- **Projekt LIDER X** edycja finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, nr umowy LIDER/6/0024/L-10/18/NCBR/2019 pt. „Opracowanie innowacyjnego urządzenia do chłodzenia przemysłowych opraw LED wykorzystującego strugi syntetyczne” realizowany przez Politechnikę Rzeszowską. Pełniona funkcja – Kierownik Projektu w całym okresie trwania projektu 01.01.2020 – 31.12.2022. Projekt zrealizowany i zakończony;

- **Projekt RPPK.01.04.01-18-0138/16** Regionalny Program Operacyjny Województwa Podkarpackiego na lata 2014-2020. Oś priorytetowa I. Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka. Działanie 1.4 Wsparcie MŚP, Poddziałanie 1.4.1 Dotacje bezpośrednie, Typ projektu: Rozwój MŚP pt. „Rozwój działalności firmy MAR-SPAW Sp. z o.o. poprzez budowę

zakładu wytwarzającego innowacyjne kotły grzewcze”. Pełniona funkcja – Kierownik prac badawczo rozwojowych. Projekt zrealizowany i zakończony.

Kandydat zrealizował dwa staże naukowe:

- **01.08.2019 - 31.01.2020**. Staż naukowy realizowany w Zakładzie Produkcjno-Usługowym Mirosław Pogoda w Mielcu, w ramach projektu RPPK.01.02.00-18-0009/18-00 pt. „Opracowanie i wdrożenie do produkcji innowacyjnej rozdzielaczowej modułowej pompy wtryskowej z zastosowaniem dla silników wysokoprężnych”. W ramach stażu brał udział w optymalizacji konstrukcji pompy oraz w prowadzeniu analiz i badań numerycznych a także eksperymentalnych komponentów pompy wtryskowej, pod względem przepływowym i wytrzymałościowym, w dziale badawczo-rozwojowym przedsiębiorstwa;

- **14.11.2022 - 21.11.2022**. Staż naukowy realizowany w Julius Robert Mayer - Institut für Energietechnik Hochschule Bremen w Niemczech. W ramach stażu odbyły się wizytacje i konsultacje naukowe w laboratoriach dynamiki płynów, termodynamiki oraz techniki raketowej. Zostały również wymienione doświadczenia w zakresie programowania oraz zastosowań bazy LabVIEW w badaniach naukowych charakterystyk cieplno-przepływowych systemów i urządzeń energetycznych. Podczas stażu nawiązano współpracę w zakresie tematyki badawczej związanej z chłodzeniem strugą syntetyczną. Kandydata wygłosił również referat pt. „Flow and heat transfer characteristics of synthetic jet cooling”.

Kandydat współpracował z otoczeniem społecznym i gospodarczym poprzez:

1. Zaprojektowanie, optymalizację oraz wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej oraz udział we wdrożeniu do produkcji 5 kotłów automatycznych na pellet o mocy 14 kW, 17 kW, 22 kW, 28 kW oraz 35 kW. Kotły spełniającą normę PN-EN 303-5 w zakresie 5 klasy, ( certyfikat wydany przez Instytut Technologii Paliw i Energii w Zabrze). Kotły są w ofercie sprzedaży firmy MAR-SPAW w Tryńcu.

2. Zaprojektowanie, optymalizację oraz wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej przemysłowej oprawy oświetleniowej LED o mocy nominalnej 500 W i strumieniu świetlnym 68000 lm z systemem chłodzenia, który jest przedmiotem patentu należącego do Politechniki Rzeszowskiej autorstwa Kandydata o numerze Pat.237224.

3. Współpracę z firmą MAR-SPAW sp. z o.o. przy realizacji projektu pt. „Rozwój działalności firmy MAR-SPAW Sp. z o.o. poprzez budowę zakładu wytwarzającego innowacyjne kotły grzewcze”, nr umowy RPPK.01.04.01-18-0138/16. Okres 2017-2018.

4. Współpracę z firmą LUXON sp. z o.o. przy realizacji projektu pt. „Opracowanie innowacyjnego urządzenia do chłodzenia przemysłowych opraw LED wykorzystującego strugi syntetyczne”, nr umowy LIDER/6/0024/L-10/18/NCBR/2019, okres 2020-2022.

Współpraca z otoczeniem gospodarczym to także zrealizowane przez Kandydata ekspertyzy:

1. Smusz R., Wilk J., Tychanicz M., Gil P.: „Analiza i weryfikacja koncepcji wykorzystania materiałów zmiennofazowych do akumulacji energii w układach odzysku ciepła odpadowego”, nr umowy RM-U-16565. Rok 2017. Dla SZEL-TECH Szeliga Grzegorz.

2. Szewczyk M., Kiedrzyński K., Gil P.: „Analiza właściwości gazu ziemnego w odniesieniu do procesu technologicznego w Borg Warner”, nr umowy RM-U-17266. Rok 2017. Dla Borg Warner Turbo Systems Poland Sp. z o.o.

3. Szewczyk M., Smusz R., Gil P.: „Doradztwo naukowe i walidacja stanowiska do badań charakterystyk zaworów hydraulicznych”, nr umowy RM-U-18249. Rok 2018. Dla Fabryka Armatur Jafar S.A.

4. Szewczyk M., Smusz R., Gil P.: „Doradztwo naukowe i prace badawczo rozwojowe stanowiska do osuszania i odladzania samochodów ciężarowych i maszyn rolniczych”, nr umowy RM-U-19033. Rok 2019. Dla Flor-Sped Sp. z o.o.

5. Smusz R., Szewczyk M., Gil P.: „Opracowanie i wdrożenie do produkcji innowacyjnej rozdzielaczowej modułowej pompy wtryskowej z zastosowaniem dla silników



wysokoprężnych”, nr umowy RPPK.01.02.00-18-0009/18-00. Rok 2020. Dla Zakład Produkcyjny - Usługowy Mirosław Pogoda.

Habilitanta jest autorem lub współautorem 5 patentów:

1. Patent nr Pat.237221, autorstwa Pawła Gila, pt.: „Czujnik temperatury”. Data udzielenia patentu: 02.12.2020;
2. Patent nr Pat.237225, autorstwa Pawła Gila, pt.: „Generator strugi syntetycznej z dyszą oraz sposób sterowania procesem chłodzenia poprzez dyszę generatora strugi syntetycznej”. Data udzielenia patentu: 04.12.2020;
3. Patent nr Pat.237224, autorstwa Pawła Gila, pt.: „Generator strugi syntetycznej oraz jego zastosowanie”. Data udzielenia patentu: 04.12.2020;
4. Patent nr Pat.237223, autorstwa Pawła Gila, pt.: „Dysza z przesłoną, zwłaszcza dla generatora strugi syntetycznej”. Data udzielenia patentu: 04.12.2020;
5. Patent nr Pat.237227, autorstwa Paweł Gil (16,67% udział), Robert Smusz (16,66% udział), Mariusz Szewczyk (16,66% udział) i Urszula Florek (50,00% udział) pt.: "Urządzenie do oczyszczania obiektów ruchomych, zwłaszcza do osuszania lub odładzania oraz sposób sterowania tym urządzeniem". Data udzielenia patentu: 03.12.2020;

oraz 5 zgłoszeń patentowych:

1. Gil P., Gałek R.: „Radiator lampy LED”, zgłoszenie nr P.440882;
2. Gil P.: „Generator strugi syntetycznej”, zgłoszenie nr P.440883;
3. Gil P.: „Generator strugi syntetycznej zasilany silnikiem elektrycznym”, zgłoszenie nr P.440936;
4. Gil P., Gałek R.: „Generator strugi syntetycznej”, zgłoszenie nr P.440937;
5. Gil P., Gałek R.: „Generator strugi syntetycznej oraz sposób jego wykonania”, zgłoszenie nr P.441041;

a także zgłoszenia wzoru użytkowego: Smyk E., Gil P.: „Siłownik strugi syntetyzowanej z matą wygłuszającą w komorze”, zgłoszenie nr W.129072.

Od początku zatrudnienia na Politechnice Rzeszowskiej prowadził zajęcia laboratoryjne, ćwiczeniowe oraz wykładowe z przedmiotów:

- Termodynamika,
- Termodynamika techniczna,
- Urządzenia i technologie energetyczne,
- Wymiana ciepła,
- Equipment and energy technologies (Erasmus),

na kierunkach: Mechanika i budowa maszyn, Lotnictwo i kosmonautyka, Energetyka, Transport, Mechatronika. Ponadto był promotorem 8 prac dyplomowych, w tym 7 prac inżynierskich i 1 pracy magisterskiej. Jest również promotorem pomocniczym w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Marka Markowicza. Jest współautorem materiałów dydaktycznych:

1. Gałek R., Gil P., Grosicki S., Smusz R., Szewczyk M., Tychanicz M., Wilk J., Wolańczyk F.: *Termodynamika laboratorium – materiały pomocnicze*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2017. ISBN 978-83-7934-127-6.
2. Wolańczyk F., Gałek R., Gil P., Szewczyk M.: *Urządzenia energetyczne: laboratorium – materiały pomocnicze*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2020. ISBN 978-83-7934-374-4.

Jest również autorem rozdziału i redaktorem naukowym skryptu:

Gil P.: Pomiary temperatury, s. 153-204. w Gil P.: *Termodynamika - pomiary*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2018.

Brał również udział w tworzeniu nowych oraz modernizowaniu istniejących dydaktycznych i naukowych stanowisk badawczych:

- budowa nowego stanowiska do badania wpływu ożebrowania rury na warunki wymiany ciepła przy konwekcji swobodnej w powietrzu,

- budowa systemu klimatyzacji pasywnej opartej o gruntowy wymiennik ciepła,
- uruchomienie stanowiska do jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w układzie kogeneracji,
- modernizacja laboratorium do badania zjawisk konwekcyjnej wymiany masy/ciepła techniką sublimacji naftalenu,
- budowa nowego stanowiska do badania współczynników przewodzenia ciepła otulin rur,
- modernizacja stanowiska do pomiarów rozkładu temperatur w gruncie wokół gruntowego spiralnego wymiennika ciepła pompy ciepła,
- modernizacja stanowiska do pomiaru sprawności systemu fotowoltaicznego,
- organizacja nowych laboratoriów: do pomiarów metodą PIV oraz do pomiarów właściwości promieniowania słonecznego.

Kandydat był również nagradzany:

- nagrodą naukową Komitetu Mechaniki PAN im. profesora Michała Życzkowskiego - Nagroda III stopnia za cykl publikacji w 2021 roku;
- 7 nagród Rektora Politechniki Rzeszowskiej za uzyskanie stopnia naukowego doktora, za autorstwo/współautorstwo artykułów naukowych/skryptu, oraz uzyskanych patentów.

Aktywność naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury w szczególności zagranicznej Kandydat zrealizował poprzez:

- współpracę z Politechniką Bydgoską realizując wspólny projekt badawczy **LIDER X** edycji finansowany przez NCBiR (2020-2022), którego był kierownikiem, a ze strony Politechniki badania prowadził dr inż. Emil Smyk. W przeciągu trzech lat trwania projektu wykonano prace badawcze systemu chłodzenia przemysłowej oprawy oświetleniowej z wykorzystaniem patentu nr Pat.237224 - *Generator strugi syntetycznej oraz jego zastosowanie*. Wyniki prac zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach: 1. **Gil P.**, Smyk E., Gałek R., Przeszłowski Ł.: *Thermal, flow and acoustic characteristics of the heat sink integrated inside the synthetic jet actuator cavity*. International Journal of Thermal Sciences, 170 (2021), 2. Smyk E., **Gil P.**, Dančová P., Jopek M.: *The PIV measurements of time-averaged parameters of the synthetic jet for different orifice shapes*. Applied Sciences, 13 (2023), 3. Smyk E., **Gil P.**, Gałek R., Przeszłowski Ł.: *Comparison of the Axial Fan and Synthetic Jet Cooling Systems*. Applied Sciences, 12 (2022) oraz 4. Smyk E., **Gil P.**, Gałek R., Przeszłowski Ł.: *Acoustic and Flow Aspects of Novel Synthetic Jet Actuator*. Actuators, 9(4) (2020). Współpraca naukowa z Politechniką Bydgoską trwała od 2018 roku, efektem była publikacja z roku 2019 **Gil P.**, Smyk E.: *Synthetic jet actuator efficiency based on the reaction force measurement*. Sensors and Actuators A: Physical, 295 (2019) oraz zgłoszenie wzoru użytkowego Smyk E., **Gil P.**: *Siłownik strugi syntetyzowanej z matą wygłuszającą w komorze*, nr W.129072. Podczas trwania projektu LIDER nawiązał również współpracę z naukowcami z Czech (Uniwersytet w Liberec, Uniwersytet Technologiczny w Brnie). Współpraca zakończyła się wspólną publikacją Smyk E., **Gil P.**, Dančová P., Jopek M.: *The PIV measurements of time-averaged parameters of the synthetic jet for different orifice shapes*. Applied Sciences, 13 (2023);
- współpracę z Julius Robert Mayer - Institut für Energietechnik Hochschule Bremen. W trakcie odbywania zagranicznego stażu naukowego w okresie od 14.11.2022 do 21.11.2022 odbył wizytacje i konsultacje naukowe w laboratoriach dynamiki płynów, termodynamiki oraz techniki raketowej. Wygłosił również referat pt. „Flow and heat transfer characteristics of synthetic jet cooling”. Z nawiązanej współpracy z prof. Sławomirem Smoleniem powstała wspólna publikacja **Gil P.**, Wilk J., Smolen S., Gałek R., Markowicz M., Kucharski P.: *Experimental Investigations of the LED Lamp with Heat Sink Inside the Synthetic Jet Actuator*. Energies, 15(24) (2022);
- uczestnictwo w międzynarodowych konferencjach krajowych i zagranicznych;

- współpraca w charakterze recenzenta z ośmioma międzynarodowymi czasopismami (siedem z nich posiada współczynnik wpływu IF), czego efektem było 14 recenzji.

Sumaryczny Impact Factor wszystkich publikacji Kandydata (przed i po doktoracie) wynosi 52,974 (przed doktoratem IF=2,83). Według bazy WoS liczba publikacji 20, liczba cytowań wynosi ogółem 210, w tym 154 bez autocytowań, wg bazy Scopus liczba publikacji 23, liczba cytowani 241, w tym bez autocytowań 165, wg bazy Google Scholar liczba publikacji 38, liczba cytowani 332, wg bazy ResearchGate liczba publikacji 37, liczba cytowani 316. Index Hirscha wg bazy WOS wynosi 11, wg bazy Scopus, wg bazy Google Scholar index Hirscha osiągnął wartość 12 a wg bazy ResearchGate 11. (Stan na 10.05.2023).

Liczba punktów dla habilitanta za artykuły w czasopismach z listy JCR – 920pkt, za pozostałe artykuły – 15pkt. Liczba punktów dla habilitanta za rozdział w monografiach – 41,67pkt. Liczba punktów dla habilitanta za uzyskane patenty 312,5pkt. Suma - 1289,17 pkt. (Wartość punktów zgodna z obowiązującą listą MNiSW w 2023 roku: dla publikacji opublikowanych w latach 2017-2018 zgodnie z listą z dnia 26.01.2017 (części A, B i C), dla publikacji opublikowanych w latach 2019-2023 zgodnie z aktualną listą MNiSW z dnia 01.12.2021.)

Podsumowując, można stwierdzić, że dorobek dra inż. Pawła Gila w zakresie istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, a w szczególności instytucji zagranicznej oceniam pozytywnie. Zatem warunek zapisany w Ustawie w art. 219 ust. 1 pkt 3 został spełniony.

#### **4. Wniosek końcowy**

Z przedstawionej oceny dorobku naukowego wynika, że wniosek dr inż. Pawła Gila o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego jest kompletny i został przygotowany bardzo starannie, zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Poza posiadaniem stopnia doktora zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 1 Ustawy Kandydat spełnia dwa pozostałe wymagania zapisane w art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b i art. 219 ust. 1 pkt 3. Wymaganie dotyczące posiadania w dorobku osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny, zostało w pełni spełnione (15 prac naukowych o wysokim IF z listy JCR). Dorobek przedstawiony do oceny przez Kandydata jest bardzo solidny (charakterystyka w punkcie 2 niniejszej recenzji). Tu należy zwrócić uwagę, że kariera naukowa Habilitanta jest krótka, a zgromadzony dorobek naukowy od uzyskania stopnia doktora obejmuje tylko 6 lat. Natomiast jeżeli chodzi o wykazanie się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej, to Pan dr inż. P. Gil również i w tym obszarze wykazał się istotną aktywnością (charakterystyka w punkcie 3 niniejszej recenzji). Dotyczy to udokumentowanej współpracy z ośrodkami tak krajowymi, jak i zagranicznymi oraz odbytego stażu w uczelni zagranicznej. Na uwagę zasługuje również fakt, że Pan dr inż. P. Gil posiada duże osiągnięcia w zakresie uzyskanych i zgłoszonych patentów jak również współpracy z przemysłem.

W związku z przedstawionymi w recenzji wnioskami cząstkowymi i wcześniej przedstawioną syntetyczną analizą wymagań formalnych stwierdzam, że dr inż. Paweł Gil spełnia, warunki określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami. Biorąc pod uwagę powyższe w pełni popieram wniosek o nadanie Kandydatowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Z poważaniem

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. Szczepan', is written over a light blue rectangular background.