

Prof. dr hab. inż. Stanisław Duer
Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki
Katedra Energetyki
ul. Raclawicka 15-17
75-620 Koszalin

Koszalin, 14.03.2024 r.

Recenzja

wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr inż. Arkadiuszowi Szczęśniakowi na podstawie jednotematycznego cyklu prac, składającego się z siedmiu publikacji naukowych, określonego jako osiągnięcie nr 1: Jednotematyczny cykl siedmiu publikacji pod wspólnym tytułem „Wybrane aspekty modelowania ceramicznych ogniw paliwowych z przewodnictwem protonowym” oraz trzech grantów badawczych przyjętych jako osiągnięcie nr 2 pod tytułem “Osiągnięcia z zakresu opracowania i badań ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem”.

oraz opinia o dorobku naukowo-badawczym, dydaktycznym i organizacyjnym Kandydata, wykonana na podstawie zlecenia przewodniczącego dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego z Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa, Politechniki Warszawskiej. Pismo nr RND.IŚGiE.25.2024, z dnia 02.02.2024 r.

1. Wstęp

Dr inż. Arkadiusz Szczęśniak uzyskał Dyplom stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie energetyka nadany uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa z dnia 26 lutego 2019 roku na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pt. „Research on Dynamic Processes of Molten Carbonate Fuel Cells”. Promotorem był prof. dr hab. inż. Jarosław Milewski z Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej.

Kandydat od roku 2015 i nadal pracuje jako **edytor /layout edytor** dla czasopisma Journal of Power Technologies (czasopismo z IF = 0.6). W latach 2017 – 2019 pracował jako **asystent** na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W roku 2019 pracował jako **stażysta** w National Cheng Kung University, Taiwan w ramach „Participation in the bilateral exchange of researchers between the Ministry of Science and Technology, Taiwan and the Polish Academy of Science”. Od roku 2019 i nadal pracuje jako **adiunkt** na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się dr inż. Arkadiusz Szczęśniaka o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska,

Górnictwo i Energetyka jest jednotematyczny cykl prac składający się z 7 publikacji naukowych oraz 3 oryginalnych tematów badań naukowych. Jednotematyczny cykl publikacji przyjęto pod wspólnym tytułem: „Wybrane aspekty modelowania ceramicznych ogniw paliwowych z przewodnictwem protonowym” do kolejnych osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny Kandydat wskazuje: “Osiągnięcia z zakresu opracowania i badań ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem”.

Zasadniczym osiągnięciem naukowym Kandydata jest zbiór Jego prac naukowych wykonanych w latach 2019-2022, w postaci 7 artykułów opublikowanych w uznanych czasopiśmie o zasięgu światowym do, których należą:

1. Jarosław Milewski, **Arkadiusz Szczęśniak***. “Off-design operation of a proton conducting solid oxide fuel cell” *Applied Thermal Engineering* 212 (2022): 118599, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118599>, IF: 6.465, MEiN 140 pkt.
2. Jarosław Milewski, **Arkadiusz Szczęśniak***. “A reduced order model of proton conducting Solid Oxide Fuel Cell: A proposal.” *Energy Conversion and Management* 236 (2021): 114050, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114050>, IF: 11.533, MEiN 200 pkt
3. Jarosław Milewski, **Arkadiusz Szczęśniak***, and Łukasz Szablowski. “A proton conducting solid oxide fuel cell---implementation of the reduced order model in available software and verification based on experimental data.” *Journal of Power Sources* 502 (2021): 229948, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229948>, IF: 9.794, MEiN 140 pkt
4. Jarosław Milewski, **Arkadiusz Szczęśniak**, Łukasz Szablowski, Rafał Bernat. “Key Parameters of Proton-conducting Solid Oxide Fuel Cells from the Perspective of Coherence with Models.” *Fuel Cells* 20.3 (2020): 323-331, <https://doi.org/10.1002/fuce.201900077>, IF: 2.948, MEiN 70 pkt
5. Jarosław Milewski, **Arkadiusz Szczęśniak**, Łukasz Szablowski. “A discussion on mathematical models of proton conducting solid oxide fuel cells.” *International Journal of Hydrogen Energy* 44.21 (2019): 10925-10932, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.082>, IF: 7.139, MEiN 140 pkt
6. **Arkadiusz Szczęśniak**. “Numerical study on a control strategies of a single cell proton conducting solid oxide fuel cell”, *Journal of Power Technologies*, 102 (4) 2022, 174–181, IF: 0.7, MEiN 40 pkt.
7. Jarosław Milewski, Jakub Kupecki, **Arkadiusz Szczęśniak**, Nikolaï Uzunow, „Hydrogen production in solid oxide electrolyzers coupled with nuclear reactors.” *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 72 (2021): 35765-35776, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.217>, IF: 7.139, MEiN 140 pkt

Osiągnięcia Kandydata o charakterze badawczym nr 2 są trzy tematy badań przyjęte pod wspólnym tytułem “Opracowanie i badania z zakresu ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem”. Do tego osiągnięcia należą:

1. Kierowanie projektem pt.: “Opracowanie i badania elektrolizera opartego o stopione węglany” w trakcie, którego zbadano koelektrolizer w skali laboratoryjnej i zbudowano model do jego analizy.
2. Pozyskanie dofinansowania na projekt badawczy w ramach prestiżowego konkursu LIDER XIII pt.: “Opracowanie ko-elektrolizera MCE do syntezy paliw sztucznych”.
3. Uzyskanie **Stypendium Ministra dla Młodych Wybitnych Naukowców**, gdzie wykazano dotychczasowy dorobek, w szczególności dorobek z zakresu węglanowych ogniw.

Przedstawiony do oceny dorobek Habilitanta dotyczy badania oraz modelowania

wysokotemperaturowych ogniw paliwowych SOFC (ang. Solid Oxide Fuel Cell—SOFC), które są uważane za jedne z bardziej perspektywicznych źródeł energii elektrycznej. Związane jest to z potencjalnie bardzo wysoką sprawnością (do 70%) tych urządzeń wynikającą z bezpośredniości przemiany energii chemicznej paliwa w prąd elektryczny. Jednym z aspektów badań Habilitanta były prace nad opracowaniem modelu matematycznego protonowego ogniwa typu SOFC (dalej H+SOFC). Osiągnięcie to zdaniem Kandydata ma kluczowe znaczenie, ponieważ może posłużyć do doboru punktu obliczeniowego pracy ogniwa paliwowego H+SOFC oraz do analizy współpracy ogniwa z innymi urządzeniami. Z pośród różnych rodzajów ogniw, H+SOFC wskazywane są jako perspektywiczna technologia, posiadająca interesujące zalety w stosunku do klasycznych ogniw SOFC. Wynika to głównie z powodu niższej temperatury pracy (nawet poniżej 300°C), jak również teoretycznie większej sprawności w odniesieniu do O⁻SOFC. Wyższa sprawność ogniw H+SOFC wynika z możliwości wykorzystania większej ilości paliwa (nawet do 100%), co jest nieosiągalne w przypadku O⁻SOFC, które wymagają zachowania części paliwa w postaci nieutlenionej.

Habilitant wykorzystując swoje doświadczenia dotyczące ogniwa SOFC zastosował tę metodologię opisu modelu o zredukowanych parametrach ang. „reduced order model” do modelowania ogniwa H+SOFC. W efekcie tych działań opracowano model H+SOFC, który okazał się wiarygodnym narzędziem do badań numerycznych. Potwierdziły to dalsze badania. to osiągnięcie naukowe Habilitanta uznać za można znaczące. Opracowana metodologia modelowania ogniw H+SOFC wykazuje się dużą dokładnością, niezależnie od środowiska, w którym zbudowano model. Implementacja modelu w programach typu Excel nie zwiększa w sposób zauważalny niedokładności modelu. Oznacza to, że zaprezentowane osiągnięcie naukowe w postaci modelu może być powszechnie stosowane. Istotnym oryginalnym osiągnięciem naukowym Kandydata jest zoptymalizowanie punktu pracy ogniwa oraz opracowanie charakterystyk H+SOFC w zmienionych warunkach pracy. Charakterystyki ogniwa uwzględniają temperaturę pracy, napięcie, moc, sprawności w funkcji obciążenia ogniwa. Stanowi to podstawę do integracji ogniw jako jednostki mikro-CHP. Charakterystyki ogniwa wyznaczają optymalne zakresy pracy ogniwa, natomiast pomijają zagadnienia związane ze stanami dynamicznymi i układem sterowania. Na bazie tych doświadczeń Kandydat zaproponował swoje znaczące osiągnięcie, którym jest opracowana strategia sterowania pojedynczym ogniwem H+SOFC. Model ogniwa wraz z algorytmem sterowania został zaimplementowany w programie Aspen Hysys, gdzie zbadano odpowiedź ogniwa oraz układu sterowania w badanych scenariuszach, które mogą pojawić się podczas pracy ogniwa. *Na uwagę zasługuje kolejne osiągnięcie naukowe Kandydata, którym jest Autorski model ceramicznego ogniwa z przewodnictwem protonowym pracującym w odwróconym trybie (trybie elektrolizy).* Badania naukowe Habilitanta w tym zakresie wykazały, że zakres stosowalności modelu H+SOFC nie ogranicza się do pracy tylko w trybie ogniwa paliwowego, ale również może być wykorzystywany do symulacji elektrolizerów protonowych. Osiągnięcie to wymagało weryfikacji wykorzystanych parametrów oraz założeń dla pracy w „odwróconym trybie”. Model protonowego ogniwa paliwowego jest uniwersalny; wykazano, że prawidłowo opisuje pracę protonowego ogniwa w trybie elektrolizy oraz może być zintegrowany z modelem cieplnym elektrowni jądrowej

i służyć do badań numerycznych.

Należy tu wyeksponować szczególne osiągnięcia Autora, w postaci istotnego wkładu naukowego, a dotyczącego takich problemów naukowych, jak:

a) Omówienie osiągnięcia naukowego nr 1. Pt. „Wybrane aspekty modelowania ceramicznych ogniw paliwowych z przewodnictwem protonowym”

Zasadniczym osiągnięciem naukowym Habilitanta jest opracowanie modelu wysokotemperaturowego ogniwa paliwowego z przewodnictwem protonowym (H+SOFC) oraz przeprowadzenie szeregu symulacji, które zakończyły się opracowaniem pierwszych charakterystyk pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy. Na tej podstawie opracowano kryteria i algorytm strategii sterowania H+SOFC oraz możliwość współpracy ogniwa H+SOFC pracującego w trybie elektrolizy z elektrownią jądrową AP1000. Budowa modelu symulacyjnego, który zapewnia wiarygodne wyniki dla różnych zakresów parametrów i różnych ogniw H+SOFC jest skomplikowanym interdyscyplinarnym zagadnieniem, które wymaga połączenia wiedzy z takich dziedzin jak m.in. elektrochemia, zagadnienia cieplno, przepływowe, konstrukcyjne, materiałowe itp.

Budowa modelu została podparta krytyczną analizą parametrów ogniw H+SOFC, gdzie w szczególności analizowano wpływ właściwości materiałów komponentów aktywnych na osiągi ogniwa, a następnie powiązano te zależności z napięciem ogniwa. Model, który zbudowano i zaimplementowano w programach takich jak Aspen Hysys i Excel został także zweryfikowany względem dostępnych danych doświadczalnych. Na uwagę zasługuje dość dokładana weryfikacja danych z symulacji z 213 punktami pomiarowymi wynikającymi z dwóch różnych doświadczeń (różne ogniwa H+SOFC) oraz dla różnych przepływów, temperatur i składów gazów przy zmieniającym się obciążeniu prądowym. Kandydat przedstawia, że model uzyskał satysfakcjonującą dokładność – *średni błąd był na poziomie 3%*. Model został zbudowany w oparciu o alternatywny sposób modelowania, gdzie zamiast odejmować straty od maksymalnego napięcia, powiązuje się także parametry fizykalne do obliczenia wielkości napięcia. W przeciwieństwie do klasycznego podejścia do modelowania ogniw, model ten nie wymaga „dokalibrowania” do nowych danych doświadczalnych. W efekcie takiego podejścia uzyskano, że jego narzędzie badawcze jest uniwersalne i wiarygodne. Zaproponowany model symulacyjny oraz metodyka jego implementacji zostały dobrze przyjęte w środowisku naukowym za publikacjami w dwóch renomowanych czasopismach: *Energy Conversion and Management (IF 11.533, 200 pkt)* oraz *Journal of Power Sources (IF 9.794, 140 pkt)*.

Kolejnym osiągnięciem Habilitanta wpisującym się w tematykę badań nad H+SOFC było opracowanie pierwszych charakterystyk pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy. Oznacza to, że w chwili gdy zaproponowano i opracowano charakterystyki pracy ogniwa w zmienionych warunkach nie były dostępne w literaturze tego typu charakterystyki, nie tylko dla ogniw H+SOFC, ale również dla innych rodzajów ogniw. Opracowane zatem posiadanych charakterystyk pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy pokazują sytuację praktycznego zastosowania urządzenia w rzeczywistym środowisku. Kandydat na podstawie dysponowanych charakterystyk wyznacza osiągi ogniwa nawet wtedy, gdy zostanie zmieniony prąd pobierany z ogniwa lub gdy zmieni się przepływy. Charakterystyki ogniwa opracowano na podstawie uzyskanych danych symulacyjnych ze zbudowanego przez niego

modelu. Osiągnięcie naukowego Kandydata w tym zakresie zostało opublikowane w czasopiśmie *Applied Thermal Engineering* (IF 6.465, MEiN 140 pkt).

Wdrożenie protonowych ogniw paliwowych H+SOFC wymagało opracowania strategii sterowania. W dostępnej literaturze znajduje się opis szeregu strategii sterowania ogniwami paliwowymi, ale żadna z nich nie została zweryfikowana dla ogniw typu H+SOFC. W związku z tym Habilitant podjął się zadania zweryfikowania tego problemu. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdził, że do kontroli pracy ogniw H+SOFC wystarczy pojedynczy regulator PID, który zapewnia bezpieczną i stabilną pracę ogniwa H+SOFC. Doświadczenie i wiedza Habilitanta z zakresu protonowych ogniw paliwowych została wykorzystana we współpracy z zespołem badawczym. Zadaniem tego zespołu była analizowana współpraca przy badaniu różnych rodzajów ogniw (pracujących w trybie elektrolizy) z elektrownią jądrową AP1000. Osiągnięciem Kandydata w tym zakresie było zweryfikowanie poprawności opracowanych przez niego równań do symulacji pracy ogniwa w trybie elektrolizy. Integracja tego modelu ogniwa opracowanego przez Kandydata z modelem elektrowni jądrowej AP1000 i wyznaczenie energochłonności produkcji wodoru - 38.83 kWh / kgH₂ wymagała dużego doświadczenia i wiedzy Habilitanta. Wyniki prac naukowych z tego zakresu przedstawiono w artykule *Journal of Hydrogen Energy* (IF 7.2, punkty ministerialne: 140 pkt).

b) Omówienie osiągnięcia z zakresu opracowania i badań ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem

Istotą osiągnięcia naukowego nr 2 Kandydata są badania w zakresie wysokotemperaturowych ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem. Ko-elektroliza jest pierwszym etapem produkcji paliw odnawialnych. W wyniku tego procesu powstaje mieszanka CO i H₂, która następnie w reaktorach typu Fisher Tropsch / Sabatier jest przekształcana w paliwo syntetyczne. Wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe ze stopionym węglanem są z dużymi osiągnięciami od dłuższego czasu rozwijane na Politechnice Warszawskiej. Prace tutaj prowadzone w tym zakresie obejmują: wytwarzanie, optymalizację struktury ogniwa oraz charakteryzację elektrochemiczną. Korzystając z własnego doświadczenia z wysokotemperaturowymi ogniwami paliwowymi Kandydat postanowił zweryfikować tezę dotyczącą możliwości pracy ogniw MCFC w trybie ko-elektrolizy. Realizacja tego zadania była możliwa w realizacji grantu *Energysch-1* finansowanego przez Politechnikę Warszawską. Badania w tym zakresie obejmowały pracę urządzenia (ogniwa MCFC) w różnych temperaturach przy różnych udziałach składów gazów na wejściu. Dla każdego badania została wyznaczona oddzielna charakterystyka prądowo – napięciowa.

Kolejnym wynikiem w tym projekcie był opracowany model pojedynczego ogniwa MCE. Model zbudowano w programie Aspen Hysys i jest wykorzystywany do nakreślenia kolejnych kierunków dalszych badań przez Kandydata. Widząc potencjał tej technologii, zaplanował dalsze prace badawczo rozwojowe z zakresu ogniw MCE, które ukierunkował na budowę pierwszego stosu ko-elektrolizera. Kandydat na te badania otrzymał finansowanie w ramach projektu pt. „Opracowanie ko-elektrolizera do syntezy paliw sztucznych” w konkursie LIDER13 finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W tym celu powstał interdyscyplinarny zespół. Zadaniem tego zespołu było zbudowanie stosu przygotowanego do integracji z reaktorami do syntezy paliw sztucznych. Badania w tym zakresie pokrywają szereg aspektów takich jak optymalizacja struktury ogniwa pod kątem

pracy w trybie ko-elektrolizera, optymalizacja sposobu uszczelnienia, odbioru prądu, izolacji termicznej stosu itp.

Równolegle Habilitant, jako kierownik projektu, pozyskał grant DEMOmaterials finansowany przez Politechnikę Warszawską, pt. „*Anoda z udziałem Ru jako dodatkowy materiał katalityczny z zastosowaniem w ko-elektrolizie stopionego węgla dla efektywnej syntezy e-paliw*”. Celem grantu było poszukiwanie dodatkowych możliwości zwiększających sprawność ko-elektrolizera. Grant jest w trakcie realizacji.

Należy wyraźnie podkreślić, że prezentowana przez Habilitanta tematyka całego cyklu jego prac badawczych jest bardzo interesująca, oryginalna i nowoczesna. Bazuje na najnowszych osiągnięciach naukowych z ostatnich lat. Przedstawiony do oceny jednotematyczny cykl publikacji może stanowić kompletne dzieło naukowe. Osiągnięcia powyższe wskazują kierunki dalszego rozwoju badań i może inspirować do prowadzenia nowych badań, w zakresie zmniejszania emisji szkodliwych czynników do środowiska. Przedstawiony dorobek naukowy Habilitanta stanowi istotny wkład w prace rozwojowe dotyczące opracowania modelu wysokotemperaturowego ogniwa paliwowego z przewodnictwem protonowym (H+SOFC). Przeprowadzone symulacje zakończyły się opracowaniem pierwszych charakterystyk pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy. Przedstawione przez Kandydata wyniki badań uzyskane nowoczesną metodyką badawczą są kompleksowe, wyróżniają się także wysokim poziomem opracowania. Dorobek Habilitanta wnosi nową wiedzę do zagadnień szeroko pojętej inżynierii ogniw paliwowych i jest przydatny inżynierom oraz pracownikom naukowym, zwłaszcza specjalistom energetycznych nauk technicznych. Uzyskane w toku realizacji badań wyniki mają cechy oryginalności oraz charakter interdyscyplinarny. Oprócz podstawowych efektów w postaci ograniczenia oddziaływania procesów technologicznych na środowisko oraz zdrowie i życie człowieka (inżynieria środowiska, górnictwo oraz energetyka). Poszerzają one także wiedzę w zakresie: zagadnień ogniw paliwowych projektowania aparatury i urządzeń stosowanych energetyce odnawialnej.

Kandydat opracował nowy model obliczeniowy uwzględniający najważniejsze czynniki wpływające na wydajność ogniw H+SOFC. Przeprowadził liczne symulacje numeryczne w zakresie wpływu właściwości materiałów komponentów aktywnych na osiągi ogniw paliwowych, a następnie powiązał te zależności z wartościami napięć badanego ogniwa. Wniesiony wkład w rozwój inżynierskich metod obliczeniowych pozwala na lepsze zrozumienie pracy ogniw paliwowych. Przedstawiony dorobek naukowy Habilitanta znacząco wpływa na rozwój aktualnego stanu wiedzy i stosowanych technik modelowania matematyczno-fizycznego zjawiska pracy ogniwa w trybie elektrolizy.

Opiniowane prace naukowe dr inż. Arkadiusza Szcześniaka uważam za ważne i wartościowe. Ich wkład do poznania i analizy zjawisk modelowania i wdrażania oraz badania ogniw H+SOFC jest istotny. Można stwierdzić, że założony cel badawczy w ocenianych publikacjach został zrealizowany. Postawione w publikacjach problemy naukowe zostały rozwiązane prawidłowo.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że jednotematyczny cykl publikacji w postaci siedmiu artykułów opublikowanych w uznanych czasopismach o zasięgu światowym, oraz trzech oryginalnych efektów badawczych, które zostało przyjęte jako drugie osiągnięcie naukowe spełnia w moim przekonaniu, w sposób w pełni

zadawalający wymagania określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

3. Ocena istotnej działalności naukowej

Dr inż. Arkadiusz Szczęśniak po ukończeniu studiów prowadził prace badawcze związane z doskonaleniem konstrukcji różnego typu ogniów paliwowych. Na podstawie uzyskanych wyników badań opracował rozprawę doktorską pt.: „Research on Dynamic Processes of Molten Carbonate Fuel Cells”, która została obroniona w 2019 roku na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w dyscyplinie Energetyka.

Po uzyskaniu stopnia doktora dr inż. Arkadiusz Szczęśniak kontynuował dalsze prace w zakresie opracowania osiągnięcia naukowego nr 2 w postaci wysokotemperaturowych ko-elektrolizerów ze stopionym węglanem. Zaproponował nowe podejście technologiczne w pierwszym etapie produkcji paliw odnawialnych przy produkcji Ko-elektroliza. W wyniku tego procesu uzyskano mieszanekę CO i H₂, która w dalszym etapie produkcji w reaktorach typu Fisher Tropsch / Sabatier jest przekształcana w paliwo syntetyczne.

Habilitant prowadził także badania w zakresie modelowania ogniów paliwowych wynikiem tego projektu jest model pojedynczego ogniwa MCE. Zbudowany w programie Aspen Hysys model został wykorzystywany do rozwoju kolejnych kierunków badań. W dalszych pracach Kandydata powstały model ogniwa był wykorzystany w działaniach w zakresie optymalizacji jego struktury pod kątem pracy w trybie ko-elektrolizera.

Znaczącymi osiągnięciami Habilitanta są badania w zakresie symulacji i testowania ogniwa H+SOFC. W wyniku tych prac badawczych opracowano pierwszych charakterystyki pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy. Jest to ważne osiągnięcie praktyczne. Oznacza to, że w chwili gdy zaproponowano i opracowano charakterystyki pracy ogniwa w zmienionych warunkach pracy, nie były one znane w literaturze. Znajomość praktyczna tego typu charakterystyki, była istotne ze względów praktycznego zastosowania urządzeń ogniów paliwowych w rzeczywistym środowisku energetycznym.

Kolejne prace badawcze Habilitanta dotyczyły wdrożenia i badania protonowych ogniów paliwowych H+SOFC. Wymagały one opracowania nowej strategii sterowania pracą ogniwa. W związku z tym Habilitant zweryfikował dostępne metody sterowania i wykazał, że do kontroli pracy ogniów H+SOFC wystarczy pojedynczy regulator PID, który zapewnia bezpieczną i stabilną pracę ogniwa H+SOFC. Swoje doświadczenie i wiedzę z zakresu protonowych ogniów paliwowych wykorzystał do opracowania i badania różnych rodzajów ogniów pracujących także w trybie elektrolizy z elektrownią jądrową AP1000.

Prace badawcze Habilitant realizował w ramach projektów badawczych finansowanych z grantów zdobywanych w konkursach. Świadczy to o dobrych efektach Jego działalności naukowej. Kandydat brał udział jako kierownik w realizacji 2 zakończonych grantów badawczych krajowym i zagranicznym. Na wyróżnienie zasługuje grant przyznany przez Narodowe Centrum Nauki pt.: *Budowa i implementacja dynamicznego modelu 1 kW stosu węglanowych ogniów paliwowych*, którym Habilitant kierował w latach 2017-2020. Kandydat w latach 2017-2020 kierował też projektem międzynarodowym pt. *„Novel molten carbonate/ceramic composite materials for sustainable energy technologies with CO₂ capture and utilization”* przy współpracy instytucji z Sintef (Norway), University of

Oslo (Norway), University of Aveiro (Portugal), CIM-mes Projekt sp. z o.o. (Poland). Projekt był finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. W chwili obecnej **Habilitant bierze czynny udział w 4 projektach:** w pierwszym projekcie pt. „*Opracowanie ko-elektrolizera MCE do syntezy paliw sztucznych*” jest kierownikiem, projekt jest finansowany ze środków NCBiR, realizacja od roku 2023. Kandydat w 3 projektach jest wykonawcą. W drugim projekcie pt. „*Modułowa mikro-kogeneracja oparta o węglanowe ogniwa paliwowe przewidziana do integracji z kotłami centralnego ogrzewania w celu pracy w modelu prosumenta*”, projekt jest finansowany ze środków NCBiR, realizacja od roku 2022. Projekt ten jest realizowany z firmą Fuel Cell Poland spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, Politechnika Warszawska, Termet Spółka Akcyjna. Projekt nr. 3 pt. „*System zapewnienia i kontroli jakości powietrza oparty o sezonowy magazyn ciepła współpracujący z kolektorami słonecznymi*”. Projekt jest finansowany ze środków NCB i R, realizacja od roku 2020. Czwartym projektem jest projekt pt. „*Opracowanie konstrukcji i rozwiązań systemu sieci niskotemperaturowej mające na celu integrację pomp ciepła z wykorzystaniem magazynów ciepła oraz systemu pętli wodnej wspomaganą pracą kolektorów słonecznych*”. Projekt jest finansowany ze środków NCB i R, realizacja od roku 2020. Projekt ten jest realizowany z firmą CRL Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością.

Ponadto Kandydat brał udział w zespołach badawczych realizujących tematy naukowe w ramach badań statutowych Politechniki Warszawskiej. W projekcie *ENERGYTECH-1* pt.: „*Opracowanie i badania elektrolizera opartego o stopione węglany*”. Głównym celem projektu były badania nad nowym perspektywicznym rodzajem wysokotemperaturowego elektrolizera opartego o stopione węglany (MCEC). Badania w ramach tego projektu są ważne z punktu widzenia praktycznego. Uzyskane wnioski wykorzystane na potrzeby produkcji „odnawialnych paliw”. W energetyce stosowane obecne elektrolizery cechują się ograniczeniami takimi jak wymóg stosowania drogich katalizatorów. Znane powszechnie ograniczenia nie występują w przypadku nowej niezbadanej technologii, która opiera się na dojrzałej technologii węglanowych ogniw paliwowych. Zatem wykorzystując energię ze źródeł odnawialnych, dwutlenek węgla oraz H₂O, proponowany elektrolizer wytworzy ePaliwa.

Kandydat był także kierownikiem projektu *LIDER XIII* pt.: „*Opracowanie ko-elektrolizera MCE do syntezy paliw sztucznych*”. Głównym celem projektu było opracowanie i konstrukcja ko-elektrolizera służącego do produkcji paliw odnawialnych. Takie urządzenie może być wykorzystywane jako źródła podstawowego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła z wykorzystaniem metanu dostarczanego z sieci gazowej lub produkować wodór lub gaz syntetyczny na potrzeby sieci gazowej z wykorzystaniem energii elektrycznej. Należy zwrócić uwagę na opracowywane przez Kandydata praktyczne rozwiązania, które mają zastosowanie w przedsiębiorstwach. Należy tutaj wymienić współpracę z przedsiębiorstwami Tauron oraz Termet producenta kotłów gazowych. W przypadku firmy Tauron, zrealizowany projekt obejmował zastosowanie oddzielnych jednostek ogniw paliwowych i elektrolizerów (nie w postaci odwracalnego MCFC/MCE). Natomiast w przypadku firmy Termet współpraca dotyczyła opracowania ogniwa paliwowego wykorzystującego gaz ziemny z sieci we współpracy z kotłem gazowym. W dalszej perspektywie współpracy było opracowanie urządzeń MCFC/MCE jako ogniwa paliwowego oraz jako elektrolizera umożliwiających pobieranie i wprowadzanie gazu do sieci gazowej

oraz pobieranie i wprowadzanie energii elektrycznej do sieci elektroenergetycznej.

Na uwagę zasługuje zrealizowana w roku 2020 przy udziale Kandydata konstrukcja stosu MCFC oraz zaprojektowanie konstrukcji nowego stosu węglanowych ogniw paliwowych, które zostały zainstalowane i były badane w pierwszej w Polsce instalacji Power-to-gas w elektrowni w Łaziskach Górnych

Habilitant prowadził ożywioną współpracę badawczą z różnymi ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą. Należy tutaj wskazać na współpracę międzynarodową z *National Cheng Kung University, Tajwan* dotyczącą wspólnych badań w ramach projektu pt. „*Innovative matrix materials for molten carbonate fuel cells*”, w którym realizowano badania z zakresu nowych elektrolitów dla wysokotemperaturowych ogniw paliwowych. Wynikiem tego stażu było znaczące osiągnięcie naukowe w postaci opracowania modelu ogniwa MCFC wykorzystywanego do identyfikacji dodatkowej przewodności jonowej tlenu oraz przewodności jonowej węglanów. Model był wykorzystywany do identyfikacji tych parametrów dla materiałów opracowanych w National Cheng Kung University. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w publikacji. Na uwagę zasługuje też staż Kandydata w *SINTEF AS, Oslo, Norwegia*. W ramach stażu zrealizowano project pt. “*Modular system based on Molten Carbonate Fuel Cells with tailored composite membranes designed for specific*”. Celem stażu było wykorzystanie doświadczeń strony norweskiej oraz zdobycie przez Kandydata nowej wiedzy z zakresu materiałoznawstwa węglanowych ogniw paliwowych. Kolejny staż Kandydat odbył w *University of Perugia, Perugia, Włochy*. Celem stażu było wykorzystanie doświadczeń włoskiej instytucji z zakresu pracy przy węglanowych elektrolizerach. Habilitant współpracował także z *University of Pisa, Włochy*. Efektem tej współpracy jest opublikowanie artykułu: w *Applied Energy* 298 (2021): 117192.

Dorobek naukowy Kandydata jest znaczny i został wydatnie pomnożony po uzyskaniu stopnia doktora. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora Kandydat był autorem lub współautorem **15 artykułów naukowych wykazywanych w bazie danych WoS** oraz 7 innych artykułów. Na szczególne wyróżnienie zasługują publikacje w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, w tym: *Energy* (IF: 8.857, MEiN: 200 pkt), *Energy Conversion and Management*, (IF: 11.533, MEiN: 200 pkt), *International Journal of Hydrogen Energy*, (IF: 7.2, MEiN: 140 pkt), *Energies*, (IF: 3.252, MEiN: 140 pkt), *Journal of Energy Resources Technology* (IF: 3, MEiN: 100 pkt).

Wyniki swoich badań Kandydat przedstawił na **6 konferencjach krajowych i międzynarodowych** (wszystkie po uzyskaniu stopnia doktora). Do najważniejszych konferencji należy zaliczyć konferencje o charakterze cyklicznym: „*The 6th International Scientific and Technical Conference Modern Power Systems and Units*”, Kraków, Maj 24 – 26, 2023. Wystąpienie pt. “*Concept of a hybrid district heating substation with adsorption heat pump and the heat/cold storage units*”, “*Hydrogen Days 2023*” Praga (Czechy) 29.03.. 31.03.2023. Wystąpienie w sesji posterowej pt. “*Hydrogen Utilization by Steam and Gas Turbines*” oraz Konferencja nt. “*Modeling electrical behavior of solid oxide electrolyzer cells by using artificial neural network*”.

Dorobek naukowy Habilitanta charakteryzuje wg bazy Web of Science - indeks **Hirscha jest 8, liczba cytowań 196 (bez autocytowań)**. Wg bazy Scopus indeks Hirscha wynosi 9, łączna liczba cytowań 235 (bez autocytowań), wg bazy Google Scholar h-index = 12 łączna liczba cytowań 325. Łączna wartość punktów MEiN

zgodnie z rokiem publikacji wynosi 3547, a sumaryczna wartość wskaźnika IF dla wszystkich publikacji 129,127.

Kandydat jest współautorem *czterech zgłoszeń patentowych*. W 2022 roku zgłoszono patent dotyczący „*Układu pomiaru temperatury wewnątrz stosu węglanowych ogniw paliwowych*”, także w 2022 roku zgłoszono patent dotyczący „*Kolektorowego układu doprowadzającego gaz do zestawu ogniw paliwowych*”. Kolejnymi zgłoszeniami patentowymi w roku 2022 są: „*Siatka dostarczająca prąd do powierzchni elektrolizera węglanowego zasilanego mieszaniną pary wodnej i dwutlenku węgla*” oraz „*Sposób regeneracji elektrolitu w węglanowym ogniwie paliwowym*”.

Dorobek naukowy dr inż. Arkadiusza Szczęśniaka oceniam bardzo wysoko. Jest on autorem wielu oryginalnych opracowań naukowych o charakterze poznawczym i aplikacyjnym. Podjęta tematyka badawcza jest nowoczesna i dotyczy jeszcze mało zbadanych problemów naukowych związanych z opracowaniem modelu dynamicznego stosu węglanowych ogniw paliwowych oraz potwierdzenie potencjału badań numerycznych do zastąpienia długotrwałych i kosztownych eksperymentów, w szczególności dotyczących stanów awaryjnych. W swoich opracowaniach Habilitant opisuje fizykę zachodzących zjawisk i przedstawia nowe modele matematyczne z ogniwami paliwowymi. Są one bardzo przydatne w prowadzeniu rozważań naukowych i w obliczeniach inżynierskich. O ich przydatności świadczą bardzo liczne cytowania publikacji Autora. Na szczególną uwagę zasługuje prowadzenie badań pod kątem przyszłych zastosowań uzyskanych wyników. Dowodem tych znaczących osiągnięć naukowych są zgłoszenia czterech patentów, udział w licznych projektach badawczych oraz szeroka współpraca z sektorem przemysłowym. Kandydat wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni i instytucji naukowej (w tym zagranicznych).

Podsumowując stwierdzam, że dorobek naukowy Habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora jest znaczący, a istotną działalność naukową Habilitanta oceniam jako bardzo dobrą. Oznacza to, że w pełni rekomenduję Kandydata do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

4. Ocena osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych Kandydata

Dr inż. Arkadiusz Szczęśniak pracę na stanowisku naukowo-dydaktycznym rozpoczął w 2019 roku na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej na kierunku Energetyka. Początkowo pracował na stanowisku asystenta, a później jako adiunkt. Posiada doświadczenie dydaktyczne. Prowadził zajęcia ze studentami w postaci wykładów, ćwiczeń, laboratoriów oraz zajęć projektowych na kierunku Energetyka z następujących przedmiotów: *Perspektywiczne Technologie Energetyczne, Algorytmy i programy bilansów cieplnych, Projektowanie systemów informatycznych, Fundamentals of Management and Theory of Heat Machines*.

Kandydat aktywnie współpracuje z studenckim Kołem Naukowym Energetyków na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa, prowadząc dla studentów dedykowane szkolenia z budowy modeli symulacyjnych różnych urządzeń w programach takich jak Aspen Hysys czy Epsilon. Szkolenia dotyczą tematyki aktualnej dla Koła Naukowego, tj. tematów związanych z ich bieżącą działalnością. Dodatkowo, na zaproszenie Koła uczestniczy

w komisji organizowanego przez Koło Konkursu Wiedzy o Energetyce.

Kandydat od 2018 prowadził jako promotor 21 prac dyplomowych oraz był recenzentem 11 prac dyplomowych. Dodatkowo był wykładowcą Szkoły Biznesu PW oraz prowadził wykłady na prestiżowym wydarzeniu dydaktycznym jakim jest Akademia H2, która została zorganizowana przez Centrum Edukacji Orlen, wspólnie z partnerami którymi są wybitni przedstawiciele jednostek zaangażowanych w rozwój technologii wodorowych tj. m.in. Politechniki Warszawskiej, Politechniki Gdańskiej, Toyoty oraz PESA.

Istotnym osiągnięciem organizacyjnym Kandydata jest współudział w rozwoju czasopisma *Journal of Power Technologies*, które w roku 2023 otrzymało wskaźnik IF=0.6. Aktywnie Kandydat bierze udział w pracach na rzecz tego czasopisma uczestnicząc w nim od 2015 roku, począwszy od prac edytorskich, a skończywszy na pracach związanych z organizacją i wydawaniem czasopisma.

Od 2021 roku Kandydat pełni funkcję koordynatora program ds. USOS dla Zakładu Maszyn i Urządzeń Energetycznych na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa. Do jego obowiązków należy koordynowanie przedmiotów:

1. Algorytmy i programy bilansów cieplnych
2. Future Power Technologies (przedmiot prowadzony w języku angielskim)
3. Perspektywiczne technologie energetyczne
4. Projektowanie systemów informatycznych
5. Theory of Heat Machines (przedmiot prowadzony w języku angielskim)
6. Eksperti w energetyce
7. Fundamentals of Management (przedmiot prowadzony w języku angielskim).

Habilitant aktywnie wspiera i popularyzuje naukę biorąc udział w audycji radiowej na żywo w radiu "Radio Dla Ciebie". Odcinek pierwszy miał tytuł „Pierwsze polskie urządzenie do syntezy paliw sztucznych”. Odcinki kolejne są w przygotowaniu, a cała audycja jest zaplanowana jako cykliczna pt. „Z innej planety”.

Kandydat prowadzi działalność organizacyjną na poziomie regionalnym i krajowym. Jest aktywnym członkiem Polskiego Stowarzyszenia wodoru i ogniw paliwowych, członek zwyczajny. Na uwagę zasługuje także praca Kandydata na rzecz Ministerstwa Klimatu i Środowiska w ramach Zespołu ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki na potrzeby przygotowania Raportu zespołu nr 4 Gospodarka Wodorowa. Uczestniczył w przygotowaniu materiału o charakterze eksperckim pt. „Dodatkowe materiały i konsultacje”. Jest uznanym ekspertem w swojej dziedzinie. Brał udział w przygotowaniu opracowania na zlecenie PKN Orlen S.A pt.: „Analiza wariantowa dla instalacji pilotowej dotycząca m.in. rodzaju i technologii elementów instalacji, lokalizacji, wielkości poszczególnych elementów oraz miejsca wykorzystania zielonego wodoru”.

Habilitant udziela się aktywnie w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism. Na uwagę zasługuje jego praca dla "Journal of Power Technologies" – editorial board. Jest także recenzentem czasopism międzynarodowych, w tym: International Journal of Energy Research, International Journal of Hydrogen Energy, Energies, Process Safety and Environmental Protection, Energy Conversion and Management.

Kandydat posiada też znaczące osiągnięcia Jako członek komitetów organizacyjnych i naukowych. Brał udział w przygotowaniu wielu wydarzeń naukowych, w tym: Udział w komitecie organizacyjnym międzynarodowej konferencji „Research & Development in

Power Engineering XV 2021” oraz Udział w Komitecie organizacyjnym międzynarodowej konferencji „*Research & Development in Power Engineering XIV 2019*”

Dr inż. Arkadiusz Szczęśniak sukcesywnie podwyższa swoje kwalifikacje również w zakresie wiedzy technicznej. W roku 2021 Kandydat uzyskał Certyfikat *MoR Foundation Certificate in Risk Management*. Natomiast w roku 2022 uzyskał Certyfikat *PRINCE2 Foundation Certificate in Project Management*. W roku 2022 ukończył specjalistyczny kurs języka angielskiego w obszarze zarządzania dla kadry kierowniczej i administracyjnej Politechniki Warszawskiej. Dodatkowo brał aktywny udział w licznych szkoleniach i warsztatach, dotyczących zarówno naukowego aspektu pracy na Politechnice Warszawskiej, jak i dydaktycznego oraz organizacyjnego.

Za swoją działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną Habilitant otrzymał liczne nagrody i wyróżnienia. W roku 2023 Kandydat uzyskał nominację do Nagrody *Naukowiec Przyszłości 2023 w kategorii Naukowiec Przyszłości*. W roku 2023 Kandydat został Laureatem prestiżowego konkursu LIDER XIII, a projekt uzyskał finansowanie z NCBiR pt. „Opracowanie ko-elektrolizera MCE do syntezy paliw sztucznych. W roku 2022 otrzymał Nagrodę Zespołu Rektora Politechniki Warszawskiej I stopnia za osiągnięcia naukowe w latach 2020 – 2021. Znaczącym jest uzyskanie przez Habilitanta w roku 2021 Dyplomu Best Paper PW za publikację „Dynamic model of a molten carbonate fuel cell 1 kW stack”. W roku 2020 Kandydat był ponownie Laureatem Nagrody Zespołowej Rektora Politechniki Warszawskiej II stopnia za osiągnięcia naukowe w latach 2018 – 2019. Znaczącą nagrodą uzyskaną w 2021 jest nagroda naukowa im. Prof. W. H. Nersta za badawcze osiągnięcie praktyczne pt. „*Opracowanie modelu dynamicznego stosu węglanowych ogniw paliwowych oraz potwierdzenie potencjału badań numerycznych do zastąpienia długotrwałych i kosztownych eksperymentów, w szczególności dotyczących stanów awaryjnych*”. Na uwagę zasługuje uzyskana w roku 2020 nagroda *Ministra dla Wybitnych Młodych Naukowców*

Biorąc powyższe pod uwagę wyrażam przeświadczenie, że dorobek dydaktyczny i organizacyjny Habilitanta jest znaczący, a także w pełni potwierdza kwalifikacje Kandydata do uzyskania stopnia doktora habilitowanego stanowiąc podstawę do dalszego awansu.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy przedstawionego osiągnięcia naukowego postaci jednotematycznego cyklu prac składającego się z 7 publikacji naukowych oraz 3 oryginalnych projektów badawczych oraz działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej stwierdzam, że **dr inż. Arkadiusz Szczęśniak** posiada znaczące i oryginalne osiągnięcia, które poszerzają dotychczasowy stan wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami Habilitant: posiada stopień doktora, posiada w dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny, wykazuje się także istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni i instytucji naukowej (w tym zagranicznej). Upoważnia mnie to do

stwierdzenia, że **dr inż. Arkadiusz Szczęśniak** w pełni odpowiada warunkom określonym w art. 219 ust.1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Dorobek **dr inż. Arkadiusza Szczęśniaka** jest zgodny z kryteriami oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.



Prof. dr hab. inż. Stanisław Duer