

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal
Politechnika Koszalińska
Wydział Mechaniczny
Katedra Energetyki
ul. Raławicka 15-17
75-620 Koszalin

Koszalin, 08.02.2022 r.

Recenzja

wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr inż. Magdzie Joachimiak na podstawie monografii oraz jednotematycznego cyklu publikacji pod wspólnym tytułem:

„Opracowanie metod rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych przewodnictwa ciepła oraz ich zastosowanie do analizy przepływu ciepła w procesach obróbki cieplno-chemicznej”

oraz opinia o dorobku naukowo-badawczym, dydaktycznym i organizacyjnym Kandydatki, wykonana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 20 grudnia 2021 roku (Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej nr 6/A2020/21 z dnia 14.12.2021 r.).

1. Wstęp

Dr inż. Magda Joachimiak urodziła się 16 marca 1986 roku w Wolsztynie. W 2010 roku ukończyła studia na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu uzyskując na kierunku matematyka tytuł magistra o specjalności Matematyka Stosowana. W 2012 roku po ukończeniu drugiego kierunku studiów w Politechnice Poznańskiej (Wydział Maszyn Roboczych i Transportu) na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn uzyskała stopień zawodowy inżyniera o specjalności Technika Ciepła. Ukończyła również studia podyplomowe w Politechnice Poznańskiej w zakresie przygotowania edukacyjnego do nauczania przedmiotów ogólnych i techniczno-zawodowych.

W 2014 roku po przedłożeniu i obronie rozprawy doktorskiej uzyskała stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn. Stopień został nadany uchwałą Rady Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej na podstawie rozprawy doktorskiej pod tytułem: „*Analiza procesu nagrzewania w oparciu o rozwiązanie zagadnienia odwrotnego dla równania przewodnictwa ciepła*”. Promotorem w tej rozprawie był prof. dr hab. inż. Michał Ciałkowski, a recenzentami: prof. dr hab. inż. Jan Taler i dr hab. inż. Jarosław Bartoszewicz prof. nadzw.

Kandydatka związana jest zawodowo z Politechniką Poznańską od października 2013 roku, gdzie pracuje do dnia dzisiejszego, początkowo jako asystent w Katedrze Techniki Ciepłej na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu. Następnie w 2019 roku awansowała na stanowisko adiunkta w Katedrze Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Transportu. Od stycznia 2020 do chwili obecnej pracuje jako adiunkt w Instytucie Energetyki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się dr inż. Magdy Joachimiak o stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka jest osiągnięcie złożone z jednotematycznego cyklu siedmiu publikacji naukowych pod wspólnym tytułem: „*Opracowanie metod rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych przewodnictwa ciepła oraz ich zastosowanie do analizy przepływu ciepła w procesach obróbki cieplno-chemicznej*”. Jest to zbiór Jej prac wykonanych w latach 2016 ÷ 2021, w postaci monografii naukowej i sześciu artykułów w uznanych czasopismach o zasięgu światowym:

1. **Joachimiak M.**: *Metody rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych przewodnictwa ciepła oraz ich zastosowanie do analizy przepływu ciepła w procesach obróbki cieplno-chemicznej*, monografia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2021, udział własny habilitantki – 100%;
2. **Joachimiak M.**, Joachimiak D., Ciałkowski M., Małdziński L., Okoniewicz P., Ostrowska K.: *Analysis of the heat transfer for processes of the cylinder heating in the heat-treating furnace on the basis of solving the inverse problem*, International Journal of Thermal Sciences, vol. 145, 2019, 105985, pp. 1-11, doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.105985 - 140 pkt, IF 3.476, udział własny habilitantki - 50%;
3. **Joachimiak M.**, Ciałkowski M., Frąckowiak A.: *Stable method for solving the Cauchy problem with the use of Chebyshev polynomials*, International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, vol. 30, no. 3, 2020, pp. 1441-1456, doi.org/10.1108/HFF-05-2019-0416 - 100 pkt, IF 4.170, udział własny habilitantki - 80%;
4. **Joachimiak M.**: *Choice of the regularization parameter for the Cauchy problem for the Laplace equation*, International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, vol. 30, no. 10, 2020, pp. 4475-4492, doi.org/10.1108/HFF-10-2019-0730 - 100 pkt, IF 4.170, udział własny habilitantki - 100%;
5. **Joachimiak M.**: *Analysis of Thermodynamic Parameter Variability in a Chamber of a Furnace for Thermo-Chemical Treatment*, Energies, vol. 14, no. 10, 2021, pp. 2903-1 – 2903-18, doi.org/10.3390/en14102903 - 140 pkt, IF 3.004, udział własny habilitantki - 100%;
6. Ciałkowski M., Olejnik A., **Joachimiak M.**, Grysa K., Frąckowiak A.: *Cauchy type nonlinear inverse problem in a two-layer area*, International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, 2021, doi.org/10.1108/HFF-09-2020-0584 - 100 pkt, IF 4.170, udział własny habilitantki - 20%;

7. **Joachimiak M.,** Frąckowiak A., Ciałkowski M., *Solution of inverse heat conduction equation with the use of Chebyshev polynomials*, Archives of Thermodynamics, vol. 37, no. 4, 2016, pp.73-88, 10.1515/aoter-2016-0028 - 13 pkt (aktualna punktacja wg MNiSW 40 pkt), udział własny habilitantki - 70%.

Zgodnie z oświadczeniem współautorów dołączonym do wniosku, Kandydatka jest głównym autorem powyższych opracowań (za wyjątkiem jednego), a Jej udział w poszczególnych pracach wynosi od 20% do 100 %.

Przedstawiony do oceny dorobek Habilitantki dotyczy prac badawczych związanych z rozwiązywaniem zagadnień bezpośrednich i odwrotnych dla równania przewodnictwa ciepła wraz z ich regularyzacją. Opracowane algorytmy rozwiązywania zagadnień odwrotnych przewodnictwa ciepła znalazły zastosowanie do wyznaczania nieznanych warunków brzegowych na powierzchni próbek podczas procesów nagrzewania w piecu do obróbki cieplno-chemicznej. Zakres zagadnień obejmował: tworzenie własnych modeli obliczeniowych, testy numeryczne, analizę stabilności rozwiązań zagadnień odwrotnych, badania eksperymentalne oraz obliczenia dla danych eksperymentalnych.

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

- **Analiza wymiany ciepła dla procesów nagrzewania cylindra w piecu do obróbki cieplnej na podstawie rozwiązania problemu odwrotnego**, gdzie przeprowadzono badania doświadczalne nagrzewania cylindra w piecu do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej. Badania przeprowadzono dla nagrzewania do temperatury 550°C, co odpowiada procesom azotowania. Przedstawiono model obliczeniowy uwzględniający wielomiany Czebyszewa umożliwiające określenie rozkładu temperatury w cylindrze. Zbadano dwa warianty modelu obliczeniowego; różniące się pod względem przyjętego warunku brzegowego. Określono wpływ błędów pomiarowych na rozkłady temperatury na krawędzi cylindra i współczynniki przyjmowania ciepła. Przedstawione dane prezentują praktyczną wiedzę umożliwiającą nadzorowanie rozkładu temperatury w obrabianym elemencie cylindrycznym. Problemy te mają kluczowe znaczenie dla procesów obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej ze względu na tworzenie się odpowiednich warstw powierzchniowych i podpowierzchniowych.

- **Opracowanie stabilnej metody rozwiązywania problemu odwrotnego typu Cauchy'ego dla równania Laplace'a z wykorzystaniem wielomianów Czebyszewa.** Obliczenia wykonano dla domeny prostokątnej z temperaturą docelową na trzech granicach i dodatkowo na jednej z granic wybrano rozkład strumienia ciepła. Celem rozważań było wyznaczenie rozkładu temperatury na odcinku granicy badanego obszaru i znalezienie właściwej metody rozwiązania problemu. Postać rozwiązania zapisywano jako liniową kombinację wielomianów Czebyszewa. Zastosowano metodę kolokacyjną, w której punkty kolokacyjne wyznaczono na podstawie węzłów Czebyszewa. Aby rozwiązać problem Cauchy'ego, poszukiwano minimum funkcjonatu opisującego różnicę między wartością docelową, a obliczonymi wartościami temperatury i strumienia ciepła na odcinku granicy domeny. Przeanalizowano różne typy regularyzacji problemu odwrotnego, oparte na regularyzacjach Tichonowa i Tichonowa-Philipsa. Zbadano wpływ zaburzenia gęstości strumienia ciepła i rodzaju regularyzacji na poszukiwany rozkład temperatury na granicy. Opisano przykład rozwiązania problemu Cauc-

hy'ego dla równania Laplace'a w dziedzinie prostokąta, które można zastosować do wyznaczenia rozkładu temperatury na granicy nagrzewanego elementu, gdzie nie można zmierzyć temperatury lub pomiar obarczony jest dużym błędem, np. na wewnętrznej ścianie kotła. Przeanalizowano przykłady liczbowe dla funkcji z osobliwościami poza dziedziną, dla których wartości gradientów zmieniają się znacząco w zakresie obliczeniowym, co odpowiada znacznym zmianom temperatury na ścianie kotła podczas spalania paliwa.

- **Wybór parametru regularyzacji dla problemu Cauchy'ego dla równania Laplace'a**, który został rozwiązany w dziedzinie prostokątnej za pomocą wielomianów Czebyszewa. Przedstawiono optymalny dobór parametru regularyzacji dla zagadnienia odwrotnego, który pozwala z wymaganą dokładnością określić stabilny rozkład temperatury na jednej z granic domeny prostokąta. Do doboru parametru regularyzacji zastosowano zasadę Morozowa, kryterium minimum całki energii oraz metodę L-krzywej. Rozwiązano przykłady liczbowe dla funkcji z osobliwościami poza dziedziną. Porównano wyniki poszukiwanych rozkładów temperatury, uzyskane różnymi metodami doboru parametru regularyzacji. Zaproponowany model obliczeniowy można zastosować do wyznaczenia rozkładu temperatury na granicy nagrzanej ściany, np. kotła lub korpusu turbiny, czyli wszędzie tam, gdzie pomiar temperatury jest niemożliwy do wykonania na części granicy. Przedstawiono nową metodę rozwiązywania odwrotnego problemu Cauchy'ego z wykorzystaniem wielomianów Czebyszewa. Przeanalizowano dobór parametru regularyzacji w celu uzyskania rozwiązania o możliwie najmniejszej wrażliwości na zakłócenia danych wejściowych.

- **Analiza zmienności parametrów termodynamicznych w komorze pieca do obróbki cieplno-chemicznej**, gdzie przedstawiono wyniki badań nierównomierności nagrzewania cylindra w piecu do obróbki cieplno-chemicznej. Przeprowadzono badania eksperymentalne w zakresie azotowania uwzględniając różne prędkości grzania i ustawienia pracy wentylatora w piecu. Warunki brzegowe obliczono w postaci temperatury i współczynnika przejmowania ciepła na granicy cylindra w czterech płaszczyznach wzdłuż długości cylindra. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem zagadnienia odwrotnego dla nieliniowych i niestacjonarnych równań przewodnictwa cieplnego. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że zwiększenie prędkości obrotowej wentylatora przy tej samej prędkości nagrzewania skutkowało znacznym wyrównaniem temperatury w analizowanych płaszczyznach. W procesach z szybkością nagrzewania większą niż $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ osiągnięto intensywniejsze nagrzewanie końcowej części cylindra niż w innych płaszczyznach. Znajomość temperatury na granicy cylindra, współczynników przejmowania ciepła i nierównomierności warunków brzegowych na długości cylindra dla różnych prędkości grzania i ustawień wentylatora jest bardzo ważna w procesach obróbki cieplno-chemicznej. Może być podstawą do podjęcia decyzji, przy jakim ustawieniu pieca należy nagrzewać wsad oraz kiedy zastosować gazy takie jak amoniak do azotowania. Ustawienia pieca mają wpływ na czas nagrzewania oraz różnice temperatur powstające w nagrzewanym elemencie, które mogą powodować naprężenia termiczne. Obliczone warunki brzegowe stanowią podstawę do badania procesu tworzenia warstw powierzchniowych o strukturach skorelowanych z temperaturą. Wykazano, że warunki brzegowe, określone przez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego, mogą stanowić podstawę do optymalizacji procesów obróbki cieplno-chemicznej.

- **Zastosowanie nieliniowego zagadnienia odwrotnego typu Cauchy'ego w obszarze dwuwarstwowym.** Przeprowadzono prace badawcze w celu zmniejszenia obciążenia cieplnego łopatkę turbiny gazowej pokrytej zewnętrzną warstwą ceramiki o wysokiej odporności termicznej. Celem pracy był dobór ceramiki o tak niskim współczynniku przewodzenia ciepła i grubości, aby na granicy metal-ceramika nie została przekroczona dopuszczalna temperatura metalu na skutek utraty właściwości mechanicznych. Analizując problem wzięto pod uwagę, że właściwości termofizyczne metalu i ceramiki mogą zależeć od temperatury. Ze względu na cienką warstwę ceramiki w stosunku do grubości ścianki problem rozpatrywany był w obszarze warstwy płaskiej. Rozważano jednowymiarowy niestacjonarny przepływ ciepła. Zbadano zakres stabilności problemu Cauchy'ego w funkcji kroku czasowego, grubości ceramiki oraz właściwości termofizycznych metalu i ceramiki. W obliczeniach numerycznych uwzględniono wpływ zaburzeń temperatury na granicy faz metal-ceramika na rozwiązanie problemu odwrotnego. Zaproponowany model obliczeniowy można wykorzystać do analizy przepływu ciepła w łopatkach turbiny gazowej z barierą termiczną.

- **Rozwiązanie odwrotnego równania przewodnictwa cieplnego za pomocą wielomianów Czebyszewa,** gdzie rozwiązano problem bezpośredni i problem odwrotny dla równania Laplace'a. Poszukiwano rozwiązania problemu bezpośredniego w prostokącie w postaci skończonych kombinacji liniowych wielomianów Czebyszewa. Obliczenia wykonano dla siatki składającej się z węzłów Czebyszewa, co pozwala na wykorzystanie ortogonalnych własności wielomianów Czebyszewa. Rozkłady temperatury na granicy dla zagadnienia odwrotnego wyznaczono stosując minimalizację funkcjonu będącego miarą różnicy pomiędzy wartościami zmierzonymi i obliczonymi temperatury. W przypadku problemu quasi-Cauchy'ego odległość pomiędzy zadanymi wartościami temperatury i strumienia ciepła na granicy została zminimalizowana metodą najmniejszych kwadratów. Przeanalizowano wpływ wartości przypadkowego zakłócenia pomiaru temperatury, rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz błędu montażu termopar na stabilność zagadnienia odwrotnego.

Podsumowanie osiągnięć naukowych Habilitantki w ostatnich latach jest monografią habilitacyjną pt. *„Metody rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych przewodnictwa ciepła oraz ich zastosowanie do analizy przepływu ciepła w procesach obróbki cieplno-chemicznej”*, monografia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2021. Przedstawiona do oceny rozprawa została opublikowana w 2021 roku przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Poznańskiej (ISBN 978-83-7775-633-1). Zawiera ona 138 stron tekstu wraz ze spisem literatury, spisem ważniejszych oznaczeń, streszczeniem oraz podsumowaniem i czterema dodatkami. Część merytoryczną rozprawy zamknięto w ośmiu rozdziałach, zaś spis wykorzystanej literatury zawiera 128 pozycji, w tym 7, w których Habilitantka była autorem lub współautorem.

Zaprezentowana monografia dotyczy rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych dla równania przewodnictwa ciepła. W pracy opisano szereg przykładów numerycznych dla opracowanych algorytmów. Analizowano stacjonarne przewodzenie ciepła w obszarze prostokątnym z zastosowaniem wielomianów i węzłów Czebyszewa. W zagadnieniu odwrotnym poszukiwano nieznanego warunku brzegowego na jednym z brzegów prostokąta, korzystając z informacji o wartości temperatury w punktach wewnątrz obszaru umieszczonych

w jednym rzędzie, dwóch rzędach oraz dodatkowej informacji na temat gęstości strumienia ciepła na jednym z brzegów obszaru. Uzyskane rozwiązanie regularyzowano różnymi technikami, stosując regularyzację Tichonova, Tichonowa-Phillipsa oraz ich modyfikacje. Doboru parametru regularyzacji dokonano na podstawie kryterium Morozowa, minimum całki energii oraz L-krzywej. Zaprezentowano również rozwiązanie niestacjonarnego zagadnienia odwrotnego z uwzględnieniem zależności współczynnika przewodzenia ciepła oraz ciepła właściwego od temperatury. Nieliniowy problem rozwiązano z zastosowaniem przekształcenia Kirchhoffa. Poszukiwano temperatury na brzegu obszaru (wariant A) lub gęstości strumienia ciepła (wariant B, metoda Becka). Przedstawiono schemat obliczeniowy pozwalający na wyznaczenie dla każdego z wariantów temperatury, gęstości strumienia ciepła oraz współczynnika przewodzenia ciepła. Analizowano również wpływ długości kroku czasowego, stanowiącego parametr regularyzacji, na uzyskiwane warunki brzegowe. Zaprezentowane algorytmy zastosowano do wyznaczania warunków brzegowych dla walca nagrzewanego w piecu do obróbki cieplno-chemicznej. Po opisie zakresu badań eksperymentalnych w pracy zawarto szczegółową analizę błędów występujących w trakcie przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Badania eksperymentalne wykonano pod kątem azotowania. Uzyskane wartości temperatury, gęstości strumienia ciepła oraz współczynnika przewodzenia ciepła dla różnych procesów nagrzewania oraz różnych płaszczyzn na długości walca mogą stanowić podstawę do optymalizacji procesów obróbki cieplno-chemicznej.

Należy wyraźnie podkreślić, że prezentowana przez Habilitantkę tematyka badawcza jest bardzo interesująca, oryginalna i nowoczesna. Bazuje na najnowszych osiągnięciach naukowych z ostatnich lat. Opracowane algorytmy rozwiązywania zagadnień odwrotnych przewodnictwa ciepła można stosować do wyznaczania nieznanych warunków brzegowych na powierzchni próbki podczas procesów nagrzewania w piecu do obróbki cieplno-chemicznej. Zakres zagadnień jest bardzo szeroki i obejmuje: tworzenie własnych modeli obliczeniowych, testy numeryczne, analizę stabilności rozwiązań zagadnień odwrotnych, badania eksperymentalne oraz obliczenia dla danych eksperymentalnych. Badania numeryczne dotyczyły opracowania rozwiązania niestacjonarnego zagadnienia odwrotnego z uwzględnieniem zależności współczynnika przewodzenia ciepła oraz ciepła właściwego od temperatury w walcu. Opisane algorytmy można stosować do wyznaczania warunków brzegowych dla walca nagrzewanego w piecu do obróbki cieplno-chemicznej. Wyniki prowadzonych prac znalazły zastosowanie w procesach obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, takich jak azotowanie, gdzie bardzo istotna jest kontrola rozkładów temperatury na brzegu obrabianych elementów ze względu na właściwości tworzących się warstw powierzchniowych. Dotyczy to szczególnie większych elementów o skomplikowanych kształtach i asymetrycznym rozłożeniu masy, takich jak, np. wały korbowe, wałki rozrządu, wiele rodzajów kół zębatach. Uzyskane wyniki pozwalają na precyzyjną kontrolę procesu obróbki cieplno-chemicznej i na optymalizację tych procesów. Umożliwiają również ograniczenie, a nawet wyeliminowanie deformacji geometrycznych obrabianych elementów. Opracowane przez Kandydatkę metody mogą zostać zastosowane do analizy zarówno nagrzewania, jak i chłodzenia podczas azotowania. Dają również możliwość przeprowadzenia analizy przepływu ciepła podczas innych procesów obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, m.in. nawęglania lub obróbki cieplnej w próżni. Przedstawiony do oceny jednotematyczny cykl publikacji wraz z monografią naukową, pomimo że może stanowić kom-

pletne dzieło naukowe, wskazuje również kierunki dalszego rozwoju badań i może inspirować do prowadzenia nowych badań w zakresie modelowania zjawisk cieplnych. Wyróżnia się wysokim poziomem opracowania, jest wypełniony kompleksowo wynikami i nowoczesną metodyką badawczą. Wnosi nową wiedzę do zagadnień szeroko pojętej energetyki i jest przydatny inżynierom oraz pracownikom naukowym, zwłaszcza nauk technicznych. Znacząco wpływa na rozwój aktualnego stanu wiedzy i zastosowania modelowania matematycznego w technice.

Opiniowane prace dr inż. Magdy Joachimiak uważam za ważny i wartościowy wkład do opracowania metod rozwiązywania zagadnień bezpośrednich i odwrotnych przewodnictwa ciepła oraz ich zastosowania do analizy przepływu ciepła w procesach obróbki cieplno-chemicznej, co oznacza, że założony cel został zrealizowany. Postawione w publikacjach problemy zostały rozwiązane prawidłowo. Tym samym jednotematyczny cykl publikacji wraz z monografią naukową, jako **osiągnięcie naukowe spełnia w moim przekonaniu, w sposób w pełni zadowalający wymagania określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.**

3. Ocena istotnej działalności naukowej

Dr inż. Magda Joachimiak po ukończeniu studiów prowadziła prace badawcze związane z rozwiązywaniem zagadnień bezpośrednich i odwrotnych dla równania przewodnictwa ciepła wraz z ich regularyzacją. Oprócz prac opisanych w cyklu publikacji będących podstawą osiągnięcia naukowego habilitantka realizowała również inne tematy badawcze:

- **Analiza wpływu gazów inertych na warunki kondensacji w skraplaczach energetycznych**, gdzie opracowała modele obliczeniowe służące do analizy kondensacji pary z udziałem powietrza jako gazu inertych w pęczku rurowym skraplacza energetycznego. Modele te bazowały na teorii Nusselta, gdzie zastosowano w nich prawo Daltona oraz metodę Wilkiego. Modele te umożliwiły wyznaczenie spadku ciśnienia statycznego, ciśnień cząstkowych pary wodnej i powietrza, temperatury, prędkości mieszaniny pary i powietrza w modelowym pęczku rurowym. Analizowano również zmiany liczby Reynoldsa, liczby Nusselta, ciepła skraplania pary wodnej oraz współczynnika przejmowania ciepła w kolejnych rzędach rur skraplacza.
- **Analiza rozkładu temperatury w rurze z osadem mineralnym z zastosowaniem rozwiązania zagadnienia odwrotnego dla równania przewodnictwa ciepła**. Prowadzone badania obejmowały wyznaczenie rozkładów temperatury w rurze wymiennika ciepła kotła parowego. Analizowano nagrzewanie rury z kamieniem kotłowym oraz bez osadu. Opracowano model obliczeniowy pozwalający na rozwiązanie zagadnienia odwrotnego typu geometrycznego. Wyznaczono grubości kamienia kotłowego w oparciu o pomiar temperatury w rurze oraz gęstości strumienia ciepła na ścianie zewnętrznej rury wymiennika ciepła. W obliczeniach uwzględniono błąd pomiaru temperatury, niedokładność zabudowy termoelementu oraz błąd pomiaru gęstości strumienia ciepła na ścianie zewnętrznej rury. Zaproponowany model obliczeniowy odpowiadał również zagadnieniu nieliniowemu, w którym uwzględnia się zmianę współczynnika przewodzenia ciepła w zależności od

temperatury.

- **Opracowanie modelu niestacjonarnego przepływu ciepła w korpusie silnika z wolnym tłokiem**, który dotyczył niestacjonarnego przepływu ciepła w ścianie cylindrycznej silnika z izolowaną komorą spalania. Model ten dedykowany był dla nowego typu silnika z izolowaną komorą spalania i posłużył do zaprojektowania oraz optymalizacji geometrii nowego typu silnika agregatowego. W modelu rozwiązywano równania różniczkowe opisujące przepływ ciepła w postaci wariacyjnej z niestacjonarnymi warunkami brzegowymi. Uwzględniono zmienność współczynników przewodzenia ciepła materiałów, z których wykonane są elementy korpusu silnika w funkcji temperatury. Model umożliwia symulację niestacjonarnych pól temperatury występujących podczas nagrzewania korpusu silnika oraz jego ustabilizowanej pracy dla różnych geometrii korpusu z możliwością uwzględnienia izolacji komory spalania.
- **Przeprowadzenie badań dotyczących uszczelnień bezdotykowych** wraz z analizą przenoszenia błędów pomiarowych przy wyznaczaniu strumienia masy na stanowisku do badań uszczelnień labiryntowych. Przeprowadzono obliczenia wariantowe uszczelnienia szczelnego tłok-cylinder oraz uszczelnienia rowkowego tłok-cylinder.

Dorobek naukowy Kandydatki został pomnożony po uzyskaniu stopnia doktora. W tym okresie opublikowała 19 prac (w tym: 5 artykułów w czasopismach naukowych z IF, 9 artykułów w czasopismach branżowych, 3 rozdziały w monografii). Wyniki swoich badań przedstawiła na 6 konferencjach naukowych, w tym 3 na konferencjach międzynarodowych: *V International Scientific and Technical Conference MPSU Modern Power Systems and Units, Cracow, 2021* i *13th International Conference on Computational Heat Mass and Momentum Transfer ICCHMT, Paris, 2021*. Na szczególne wyróżnienie zasługują publikacje w czasopismach o zasięgu międzynarodowym: *International Journal of Thermal Sciences*, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, *Energies*, *Archives of Thermodynamics* oraz referaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych w Krakowie i Paryżu. Dorobek naukowy Habilitantki charakteryzuje wg bazy Web of Science - indeks Hirscha 5, liczba cytowań 13 (bez autocytowań). Wg bazy Scopus indeks Hirscha wynosi 5, liczba cytowań 15 (bez autocytowań), a wg bazy Google Scholar indeks Hirscha to 5, liczba cytowań 22 (bez autocytowań). Całkowity dorobek punktowy za artykuły w czasopismach z IF wynosi 580, po odliczeniu udziału współautorów prac jest to łącznie 420 punktów. Całkowity Impact Factor wynosi 18,990. Kandydatka opracowała również 13 recenzji artykułów dla wydawnictw zagranicznych i krajowych, w tym: *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *International Journal of Thermal Sciences*, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, *Inverse Problems in Science and Engineering*, *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, *Archives of Thermodynamics*.

Swoje prace badawcze Habilitantka realizowała głównie w ramach projektów badawczych finansowanych ze środków statutowych uczelni. Było to osiem projektów, których dwukrotnie pełniła rolę kierownika zespołu badawczego, a w pozostałych przypadkach była wykonawcą. Tematyka projektów dotyczyła głównie wymiany ciepła i masy w urządzeniach energetycznych. Trzykrotnie brała też udział w realizacji projektów finansowanych z programu 0712/PRIG, gdzie raz pełniła rolę kierownika, a dwa razy była wykonawcą.

Kandydatka prowadziła współpracę naukową z ośrodkami naukowymi w kraju. Należy tutaj wskazać Wojskową Akademię Techniczną (prof. dr hab. inż. Aleksander Olejnik) i Politechnikę Świętokrzyską (prof. dr hab. inż. Krzysztof Grysa), gdzie prace badawcze dotyczyły rozwiązywania zagadnień odwrotnych dla równania przewodnictwa ciepła w obszarze dwuwarstwowym. Prowadziła też współpracę naukową z prof. dr hab. inż. Piotrem Krzyślakiem pracownikiem Uniwersytetu Morskiego w Gdyni w zakresie badań dotyczących kondensacji. Efektem tych współpracy były wspólne publikacje naukowe. Nie wykazano jednak współpracy na arenie międzynarodowej.

Realizując prace naukowe w zakresie techniki cieplnej Kandydatka kładzie nacisk również na aspekt aplikacyjny swoich badań. Świadczą o tym zrealizowane liczne staże w zakładach przemysłowych w kraju i zagranicą. Należy tutaj wymienić trzymiesięczny staż przemysłowy w Dziale Badań i Konstrukcji firmy SECO/WARWICK, gdzie realizowano tematy dotyczące przepływu ciepła w elementach ulepszanych w piecach do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej oraz trzymiesięczny staż przemysłowy w firmie *Filen*, gdzie analizowane zagadnienia obejmowały: matematyczny opis geometrii krzywek, analizy przepływu ciepła przez elementy silnika tłokowego oraz analizy przepływu ciepła w ściankach zgazowarki. Kandydatka odbyła również miesięczny staż przemysłowy w Elektrociepłowni Karolin w Poznaniu w ramach projektu Wielkopolski inżynier w Europejskiej przestrzeni badawczej oraz tygodniowy staż w firmie *Veolia Environnement* we Francji. Jednak pewien niedosyt budzi brak prac badawczych wykonywanych na zlecenie przemysłu. Kandydatka nie wykazała prac badawczych o charakterze eksperckim, wdrożeniowym itp. Przedstawiona współpraca z sektorem gospodarczym ograniczyła się tylko do odbycia staży przemysłowych, co niewątpliwie wzbogaciło praktyczną wiedzę Habilitantki dotyczącą gospodarki energetycznej w przemyśle.

Mając na uwadze działalność publikacyjną dorobek naukowy dr inż. Magdy Joachimiak oceniam pozytywnie. Jest ona autorem wielu oryginalnych opracowań naukowych o charakterze poznawczym i aplikacyjnym. Podjęta tematyka badawcza jest nowoczesna i dotyczy jeszcze mało zbadanych problemów naukowych związanych z rozwiązywaniem zagadnień bezpośrednich i odwrotnych dla równania przewodnictwa ciepła wraz z ich regularyzacją. Opracowane algorytmy rozwiązywania zagadnień odwrotnych przewodnictwa ciepła znalazły liczne zastosowania w technice cieplnej. W swoich opracowaniach Habilitantka opisuje fizykę zachodzących zjawisk i przedstawia modele matematyczne z nią związane. Są one bardzo przydatne w prowadzeniu rozważań naukowych i w obliczeniach inżynierskich. O ich przydatności świadczą cytowania publikacji Autorki. Na szczególną uwagę zasługuje prowadzenie badań pod kątem przyszłych zastosowań uzyskanych wyników.

Podsumowując stwierdzam, że dorobek naukowy Kandydatki po uzyskaniu stopnia doktora jest znaczący, a istotną działalność naukową Kandydatki chociaż znacznie zawężoną oceniam jako dobrą. Oznacza to, że rekomenduję Ją do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

4. Ocena osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych Kandydata

Dr inż. Magda Joachimiak rozpoczęła pracę w 2013 roku jako asystent w Katedrze Techniki Ciepłej na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej, a obecnie pracuje jako adiunkt w Instytucie Energetyki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki w Politechnice Poznańskiej. Prowadziła zajęcia ze studentami w postaci wykładów, ćwiczeń tablicowych i laboratoryjnych na studiach pierwszego i drugiego stopnia z przedmiotów: *Mechanika płynów*, *Mechanika płynów II*, *Termodynamika techniczna*, *Termodynamika techniczna II*, *Elementy termodynamiki i mechaniki płynów*, *Podstawy energetyki cieplnej*, *Metody numeryczne*, *Wybrane zagadnienia wymiany ciepła oraz Elementy teorii termodynamiki technicznej, łączności i funkcjonowania człowieka w lotnictwie*. W autoreferacie nie wykazano promotorstwa oraz recenzji prac dyplomowych. Kandydatka jest promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgra Wojciecha Judta nt: „*Analiza procesu wymiany ciepła uzyskiwanego ze spalania paliw stałych w warunkach nieruchomego złoża*” realizowanym na Politechnice Poznańskiej.

Kandydatka jest opiekunem Laboratorium Termodynamiki Technicznej. Opracowała szereg materiałów dydaktycznych do przedmiotów: *Metody numeryczne* (wykład i ćwiczenia), *Podstawy energetyki cieplnej* (wykład i ćwiczenia) oraz *Wybrane zagadnienia wymiany ciepła* (wykład i ćwiczenia). Jest również współautorem zbioru zadań pt. „*Mechanika płynów. Zbiór zadań z rozwiązaniami*” pod redakcją Michała Ciałkowskiego).

Dr inż. Magda Joachimiak bierze udział w pracach organizacyjnych na uczelni. Od 2020 roku jest senatorem Politechniki Poznańskiej na kadencję 2020 ÷ 2024 oraz członkiem Senackiej Komisji ds. Budżetu i Finansów. Pełni funkcję koordynatora ds. eLearningu na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki dla kierunku Energetyka Przemysłowa i Odnawialna. Jest zastępcą Przewodniczącego Wydziałowej Komisji Wyborczej, członkiem Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej dla Studentów na kadencję 2020 ÷ 2024 oraz członkiem zespołu przygotowującego nowy kierunek studiów I stopnia Energetyka Przemysłowa i Odnawialna na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej.

Za swoją działalność naukową Kandydatka dwukrotnie otrzymała nagrodę JM Rektora Politechniki Poznańskiej.

Biorąc powyższe pod uwagę wyrażam przeświadczenie, że dorobek dydaktyczny i organizacyjny jest wystarczający i potwierdza kwalifikacje Kandydatki do uzyskania stopnia doktora habilitowanego stanowiąc podstawę do dalszego awansu.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy przedstawionego osiągnięcia naukowego w postaci monografii i jednotematycznego cyklu sześciu publikacji oraz działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej stwierdzam, że dr inż. Magda Joachimiak posiada znaczące i oryginalne osiągnięcia, które poszerzają dotychczasowy stan wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Upoważnia mnie to do stwierdzenia, że pod względem formalnym Jej kandydatura 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 Kandydatki jest zgodny z kryteriami oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w obszarze nauk technicznych. **Mając powyższe na uwadze rekomenduję Komisji Habilitacyjnej skierowanie do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej wniosku o nadanie dr inż. Magdzie Joachimiak stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.**

