

Recenzja dorobku naukowego i dydaktycznego dr inż. Artura Cebuli

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzja została wykonana na podstawie zlecenia Prodziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Marka Kozienia, prof. PK (pismo M.00.520.7/2019 z dnia 9.01.2019 r). Podstawą opracowania recenzji była dokumentacja dorobku przedstawiona przez Habilitanta do oceny. Recenzja została przygotowana zgodnie z wytycznymi ujednoliconego tekstu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. ze zmianami wprowadzonymi 18 marca 2011 r, Dz. Ustaw z 2011 r. Nr 84 poz. 455, wytycznymi zawartymi w Komunikacie 2/2012 Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów oraz kryteriami oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego wymienione w Rozporządzeniu MNiSzW z dnia 01.09.2011 r.

1.1 Charakterystyka sylwetki Habilitanta

Pan dr inż. Artur Cebula uzyskał w 1999 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej i uzyskał tytuł magistra inżyniera w specjalności Systemy i Urządzenia Energetyki Ciepłej. Na tym samym wydziale w 2004 uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na podstawie rozprawy doktorskiej zatytułowanej: *Teoretyczne i doświadczalne badania lokalnej wymiany ciepła na powierzchniach rur omywanych poprzecznie.*

W latach 2003 – 2004 był zatrudniony jako asystent w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Krakowskiej, a po obronie doktoratu objął w tym instytucie stanowisko adiunkta, na którym zatrudniony jest do chwili obecnej. W latach 2009 – 2011 odbył staż w instytucie Lotnictwa w Warszawie w dziale Turbin Parowych jako samodzielny inżynier projektant. Podobny staż w tym instytucie odbywał w latach 2013 – 2015, tym razem w dziale Komór Spalania Turbin, również jako samodzielny inżynier projektant.

Od 2003 roku jest aktywnym pracownikiem naukowym. W okresie przed doktoratem był autorem 1 rozdziału w monografii oraz 6 artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych, brał udział w 3 krajowych konferencjach naukowych. Po doktoracie, tj w okresie od 2004 do chwili obecnej, jego dorobek naukowy znacznie się powiększył. Jest autorem lub współautorem 8 publikacji z listy A MNiSW (indeksowanych w JCR), 6 publikacji z listy B MNiSW, 1 monografii w języku angielskim, 7 rozdziałów w monografiach w języku angielskim oraz 2 rozdziałów w monografiach w języku polskim. Brał aktywny udział w 21 konfe-

rencjach międzynarodowych oraz 9 konferencjach krajowych. Uczestniczył w 24 projektach badawczych, z czego w 5 projektach był kierownikiem.

Z przedstawionej powyżej przebiegu aktywności naukowej Habilitanta wynika, że ubieganie się przez niego o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego jest całkowicie uzasadnione.

2. Ocena osiągnięć naukowo - badawczych

2.1. Charakterystyka dokumentacji osiągnięcia naukowo-badawczego

Habilitant przedłożył do oceny osiągnięcia naukowo – badawczego, monotematyczny zbiór publikacji pod tytułem „Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalna weryfikacja”. W jego skład wchodzi: jedna autorska monografia, 3 artykuły w czasopismach z listy A MNiSW, indeksowanych w Journal Citation Reports (lista filadelfijska), 2 artykuły w czasopismach z listy B MNiSW, 3 referaty z konferencji ujęte w Web of Science, 2 rozdziały w książkach zagranicznych oraz 5 projektów naukowo – badawczych, z czego czterema projektami Habilitant kierował.

Łącznie dorobek publikacyjny przedstawiony do oceny osiągnięcia naukowobadawczego składa się z 11 publikacji punktowanych oraz 5 projektów, są to:

- [1] **Cebula A.**, Solutions of selected inverse heat transfer problems and their experimental verification, Wydawnictwo PK, Seria Mechanika, ISBN 978-83-65991-00-3, Kraków, 2018
- [2] **Cebula A.**, Taler J., Ocloń P., 2018, Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of finite volume finite element method, International Journal of Thermal Sciences, 127, 142-157, **40 pkt (IF= 3.361, IF-5=3.707)**
- [3] **Cebula A.**, Taler J., 2014: Determination of transient temperature and heat flux on the surface of a reactor control rod based on temperature measurements at the interior points, Applied Thermal Engineering, 63(1), 168-169, **40 pkt (IF= 2.739, IF-5=3.034)**
- [4] **Cebula, Artur**, 2018: Experimental studies of the thermal flowmeter and its analytical and numerical analysis, Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal, w przygotowaniu do druku, **15 pkt (IF= 0,472; IF-5=0,952)**
- [5] **Cebula, Artur**, 2015 Experimental and numerical investigation of thermal flow meter Archives of Thermodynamics, 36, No. 3, 149-160, **13 pkt**
- [6] Taler J., **Cebula A.**, 2011: Verification of heat flux and temperature calculation on the control rod outer surface, Archives of Thermodynamics, 32(3), 157-173, **7 pkt**
- [7] Taler J., **Cebula A.**, Marcinkiewicz J., Tinoco H., 2011: Heat flux and temperature determination on the control rod outer surface, The 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics, NURETH-14, Vol. 2, 7, **15 pkt (Web of Science)**
- [8] Marcinkiewicz J., Taler J., **Cebula A.**, 2013: Experimental investigation of non-stationary heat transfer between fluid and solid body. Proceeding of International Conference on Nuclear Engineering, Vol. 2: Plant Systems, Construction, Structures and Components; Next Generation Reactors and Advanced Reactors, ICONE21-16253, pp. V002T03A044; 1-7, **15 pkt (Web of Science)**

- [9] Jaremkiewicz M., **Cebula A.**,2017:Determination of transient temperature fields in thick-walled elements using the inverse method, E3S Web of Conferences, Vol. 13, 6s, **15 pkt** (Web of Science)
- [10] Taler J., Taler D., Sobota T., **Cebula A.**,2012: Theoretical and experimental study of flow and heat transfer in a tube bank, rozdział w ed. Victoria M. Petrova, Advances in Engineering Research. Vol. 1 – New York : Nova Science Publishers, Inc., 1-56, **5 pkt** (rozdział w książce w jęz. angielskim)
- [11] **Cebula A.**, Taler D.,2014: Finite volume method in heat conduction. edytor Hetnarski R.B. Encyclopedia of thermal stresses. Vol. 4, Springer, 1645-1658, **5 pkt** (rozdział w książce w jęz. angielskim)
- [12] Projekt 3 T10B 049 29, Umowa nr 1484/T10/2005/29, *Teoretyczne i doświadczalne badania lokalnej wymiany ciepła na powierzchniach rur omywanych poprzecznie*, praca badawcza finansowana przez Komitet Badań Naukowych (KBN), 31.10.2005 - 30.10.2008 – **kierownik**
- [13] Umowa nr M-9/459/2010, *„Heat flux measurement on the control rod surface” („Analiza gęstości strumienia ciepła na powierzchniach prętów sterujących”)*, praca badawcza realizowana na zlecenie Forsmark Nuclear Power Plant, Vattenfall AB, Sweden, czas realizacji: 01.08.2009 - 01.08.2010 – **kierownik**
- [14] Projekt badawczy, Umowa nr M-9/58/2011/P, *„Design and manufacturing of measuring inserts and software for determination of heat flux and temperature measurement on the insert outer surface”* („Wykonanie wstawek pomiarowych oraz oprogramowania do wyznaczenia wartości gęstości strumienia ciepła na powierzchniach zewnętrznych badanych wstawek”), praca badawcza realizowana na zlecenie Forsmark Nuclear Power Plant, Vattenfall AB, Sweden, czas realizacji: 01.09.2010 - 01.07.2011 – **kierownik**
- [15] Projekt badawczy, M9/470/DS–M/2011 *„Odwrotne zagadnienia w konwekcyjnej wymianie ciepła”* 01.09.2011-9.12.2011– **kierownik**
- [16] Projekt badawczy Opus 8 nr umowy UMO-2014/15/B/ST8/03170 *„Metoda identyfikacji gęstości strumienia ciepła napowierzchni ciała stałego w warunkach szybkozmiennego pola temperatury przepływającego płynu. Praca badawcza finansowana przez Narodowe Centrum Nauki(NCN) 10.07.2015 – 09.05.2018 – **główny wykonawca***

Szczegółowy udział naukowy Habilitanta oraz wszystkich współautorów w wymienionych pracach przedstawionych jako osiągnięcie naukowe został podany w oświadczeniach.

Należy podkreślić, że jest to jedynie część działalności publikacyjnej Habilitanta, ponieważ jest on autorem (współautorem) kolejnych 28 publikacji po doktoracie (z czego 5 z listy A MNiSW, indeksowanych w Journal Citation Reports oraz 4 z listy B MNiSW), które nie zostały przez Habilitanta zaliczone do grupy publikacji ściśle związanych z recenzowanym osiągnięciem naukowo-badawczym.

2.2 Tematyka osiągnięcia naukowo - badawczego

Recenzowane osiągnięcie naukowo – badawcze zbioru publikacji pod wspólnym tytułem „Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalna we-

ryfikacja”, związane jest z metodami wyznaczania współczynnika wnikania ciepła i/lub gęstości strumienia ciepła na powierzchniach omywanych z zewnątrz strumieniem gazu.

Swoje osiągnięcie Habilitant podzielił na następujące grupy tematyczne, które postaram się scharakteryzować i ocenić:

- a) opracowanie metody wyznaczania gęstości strumienia ciepła i/lub współczynnika wnikania ciepła na powierzchni cylindrycznej omywanej strumieniem płynu o szybko zmiennym polu temperatury
- b) opracowanie miernika do wyznaczania gęstości strumienia na powierzchni cylindrycznej i jego testy na stanowisku badawczym
- c) zastosowanie bilansowej metody elementów skończonych w metodzie odwrotnej do wyznaczania gęstości strumienia ciepła w celu podniesienia dokładności opracowanego miernika
- d) opracowanie modelu analitycznego oraz numerycznego przepływomierza termicznego
- e) opracowanie przepływomierza termicznego oraz przeprowadzenie pomiarów z jego wykorzystaniem

Wyznaczanie gęstości strumienia ciepła lub współczynnika wnikania ciepła na powierzchni ciała stałego omywanego strumieniem płynu o szybko zmieniającej się temperaturze jest bardzo trudnym problemem badawczym, ze względu na brak możliwości pomiaru temperatury na powierzchni ciała stałego. A jest to ważny problem badawczy, występujący między innymi w energetyce jądrowej i związany z wymianą ciepła na powierzchni prętów kontrolnych reaktora atomowego.

Ponieważ nie jest możliwy pomiar temperatury na powierzchni zewnętrznej pręta kontrolnego, pomiary dokonane zostały wewnątrz pręta i na tej podstawie możliwe było wyznaczenie temperatury oraz gęstości strumienia ciepła na brzegu zewnętrznym pręta (ciała stałego). Tego typu problem należy do klasy zagadnień odwrotnych, źle postawionych w sensie Hadamarda. Oznacza to w rozważanym przypadku, że niewielkie błędy pomiaru temperatury wewnątrz ciała stałego mogą być wzmocnione na brzegu zewnętrznym obszaru, co powoduje utratę stabilności rozwiązania.

Obszar pręta został podzielony na dwie domeny obliczeniowe: wewnętrzną, której brzegiem ograniczającym była powierzchnia z termoparami i zewnętrzną, na której wyznaczana jest gęstość strumienia ciepła. W części wewnętrznej obszaru rozwiązane zostało zagadnienie bezpośrednie (ang. direct problem) metodą objętości kontrolnych i na tej podstawie na powierzchni ograniczającej tę domenę wyznaczono gęstość strumienia ciepła. Następnie rozwiązane zostało zagadnienie odwrotne przewodzenia ciepła w obszarze pomiędzy powierzchnią zewnętrzną oraz powierzchnią, na której umieszczone były termopary. Jako warunki brzegowe na powierzchni wewnętrznej tej domeny znane były: temperatura z pomiaru oraz gęstość strumienia ciepła z rozwiązania zagadnienia bezpośredniego. Stosując różne techniki numeryczne takie jak wygładzanie danych pomiarowych oraz przybliżanie pochodnej ilorazami różnicowymi wyższych rzędów, odtworzony został metodą kroczącą rozkład temperatury w tej domenie, a na tej podstawie gęstość strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej cylindra.

Skuteczność tej metody została zweryfikowana na podstawie danych wygenerowanych z wyników obliczeń CFD dotyczącego pręta kontrolnego zainstalowanego w Elektrowni Atomowej Forsmark w Szwecji. Pręt kontrolny omywany jest wodą chłodną a w przeciwną

dzie strugą gorącej wody, co powoduje, że przebieg temperatury oraz gęstości strumienia ciepła na powierzchni pręta kontrolnego jest silnie zmienny. Na podstawie tych obliczeń wyznaczono przebiegi temperatury w wybranych punktach wewnętrznych pręta kontrolnego, które zostały przyjęte jako dane wejściowe do obliczeń z udziałem opracowanego przy współudziale Habilitanta modelu. Z wyników obliczeń zamieszczonych w pracach [1, 3, 6, 7] wynika skuteczność opracowanej metody do odtwarzania szybkich zmian gęstości strumienia ciepła i temperatury na powierzchni ciała stałego.

Dużą zaletą zaproponowanego przez Habilitanta modelu jest jego prosta postać, duża dokładność oraz krótki czas uzyskania wyników. Metoda ta może być zatem używana do monitorowania wielkości strumienia ciepła na powierzchni pręta kontrolnego reaktora, jak również w rurociągach, zaworach, kotłach energetycznych i innych.

Ponieważ Habilitant pisze, że jest współautorem tej metody, konieczne jest wskazanie jego udziału w jej opracowaniu, który najpełniej można znaleźć w pracy [7]:

- opracowanie modelu matematycznego pręta paliwowego,
- porównanie wyników obliczeń modelu własnego z obliczeniami CFD,
- potwierdzenie zdolności opracowanego modelu/programu do odtworzenia szybkich zmian gęstości strumienia ciepła na powierzchni modelu pręta paliwowego,
- wykonanie obliczeń dla dwóch przekrojów pręta paliwowego.

Opracowanie metody do wyznaczania gęstości strumienia ciepła i współczynnika wnikania ciepła na powierzchni cylindrycznej omywanej strumieniem płynu o szybko zmiennym polu temperatury, jest oryginalnym osiągnięciem Habilitanta i stanowi wartościowy wkład do rozwoju wiedzy związanej z zagadnieniami odwrotnymi wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją.

Mając do dyspozycji metodę wyznaczania strumienia ciepła na powierzchni cylindrycznej, po pozytywnej weryfikacji, Habilitant zaprojektował i wytworzył instrument pomiarowy, który umożliwił eksperymentalną weryfikację opracowanej metody oraz sprawdzenie jej praktycznej efektywności.

W trakcie projektowania instrumentu Habilitant musiał rozwiązać problemy związane z rozmieszczeniem termopar. Termopary powinno być umieszczone możliwie blisko badanej powierzchni, tak aby można było w miarę dokładnie uwzględnić w pomiarach szybkozmienność temperatury na powierzchni ciała stałego, w tym przypadku instrumentu pomiarowego. Dodatkową trudnością było precyzyjne zabudowanie termopar. Odczyt z pomiarów był przetwarzany wcześniej opracowaną i zweryfikowaną metodą, która bazuje na rozwiązaniu zagadnienia odwrotnego. Błąd zabudowy ma wpływ na błąd odczytu temperatury, a zatem również na stabilność rozwiązywanego zagadnienia odwrotnego.

Uwzględniając powyższe ograniczenia, konstrukcja miernika składa się z wycinka metalowej rury o grubości 10 mm i kącie 90° , którego promienie wewnętrzny i zewnętrzny wynoszą odpowiednio 60mm i 70mm. W płycie miernika zostało zamontowane 28 termopar na dwóch poziomach pomiarowych. Rozwiązane zostały problemy mające wpływ na stabilność rozwiązania zagadnienia odwrotnego. Pierwszy rząd termopar zamontowano w odległości 0,5mm od brzegu zewnętrznego miernika, tak aby możliwie dokładnie odtworzyć szybkość zmian temperatury na powierzchni zewnętrznej. Opracowane zostały dwie konstrukcje miernika. W obu konstrukcjach podany został sposób zabudowy termopar oraz dokładność ich

położenia. Szczegółowy opis konstrukcji instrumentu pomiarowego oraz opis weryfikacji położenia termopar zamieszczono w pracy [1].

Do weryfikacji pomiarów gęstości strumienia ciepła z użyciem tego instrumentu pomiarowego zostało zbudowane stanowisko badawcze, tak aby można było zadawać uderzenia gorącej strugi powietrza i tym samym chłodzić i nagrzewać element pomiarowy z różną częstotliwością. Badania przeprowadzone na tym stanowisku potwierdziły zdolność instrumentu do przeprowadzania pomiarów w przypadku nagłego ochładzania i ogrzewania elementu w warunkach opływu krzyżowo prądowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że opracowany instrument pomiarowy uwzględnia przepływ ciepła w kierunku promieniowym i obwodowym. Wyznaczony błąd procentowy pomiaru gęstości strumienia ciepła wyniósł 8,8 %. Za pomocą tego instrumentu można również wyznaczyć wartość średnią i lokalną współczynnika wnikania ciepła. Nie posiada ograniczeń takich jak np. mierniki kalorymetryczne gdzie długość mierzonego impulsu ciepła musi być krótka.

Opracowanie miernika do wyznaczania gęstości strumienia na powierzchni cylindrycznej i jego testy na stanowisku badawczym są oryginalnym osiągnięciem Habilitanta i stanowią kolejny wartościowy wkład do rozwoju wiedzy związanej z zagadnieniami odwrotnymi wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją.

W opracowanej konstrukcji miernika lokalizacja termopar była powiązana z węzłami siatki obliczeniowej. Strumień ciepła był wyznaczony na podstawie rozwiązania zagadnienia odwrotnego, które wcześniej została opracowane i przetestowane. Przy rozwiązywaniu zagadnienia odwrotnego korzystano z metody objętości kontrolnej, której węzły a więc i położenie termopar był umieszczone w środku objętości kontrolnej. Mimo iż przeprowadzona weryfikacja położenia termopar za pomocą tomografii komputerowej potwierdziła poprawne zamontowanie termopar wewnątrz miernika, to w sytuacji gdyby wystąpiły rozbieżności w lokalizacji termopar względem węzłów, metoda objętości kontrolnych nie pozwoliłaby na korektę położenia węzła. Rozwiązanie tego problemu Habilitant opisał w pracach [1, 2], zastępując metodę objętości kontrolnych przez bilansową metodę elementów skończonych. Metoda ta chociaż bardziej skomplikowana od metody bilansów elementarnych pozwala na modyfikację położenia węzła siatki w przypadku pojawienia się różnic w położeniu termopar względem zaprojektowanych lokalizacji. Nowa metoda została przetestowana dla siatek regularnej oraz zaburzonej, a wyniki zostały porównane z wynikami metody objętości skończonych. Porównania metod dokonano stosując różne długości kroku czasowego oraz zaburzając losowo siatkę elementów skończonych w miejscach lokalizacji termopar. Ponadto dane wejściowe dla zagadnienia odwrotnego zostały zaburzone również błędem losowym o rozkładzie Gaussa z odchyleniem standardowym σ zmieniającym się w zakresie od 0,05 do 1. Podobnie jak wcześniej, dane wejściowe zostały wygładzone filtrem w celu zmniejszenia wrażliwości metody na błędy pomiarowe. Wyniki uzyskane tą metodą dla siatki regularnej i zniekształconej były porównywalne. Obliczenia z wykorzystaniem metody elementów skończonych do wyznaczania gęstości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej cylindra (przrządu pomiarowego) wykonano również dla danych eksperymentalnych. Cylindryczny element pomiarowy na stanowisku badawczym był naprzemiennie podgrzewany i chłodzony strumieniem powietrza. Szczegółowe porównanie wyników obliczeń opartych na danych eksperymentalnych zamieszczone jest w pracach [1, 2]. Można stwierdzić, że metoda wyznaczania temperatury oraz gęstości strumienia ciepła na brzegu zewnętrznym instrumentu pomiarowego dała wyni-

ki porównywalne do metody objętości kontrolnych, stosowanej wcześniej przez Habilitanta. Jednak przewaga zaproponowanej przez niego modyfikacji polega na zmniejszeniu wpływu zabudowy termopar na wyznaczenie gęstości strumienia ciepła na brzegu zewnętrznym obszaru. Inaczej mówiąc w tej metodzie nie trzeba dopasowywać precyzyjnie położenia termopary w regularnym węźle siatki, można stosować siatkę zniekształconą, dopasowaną do zamontowanych termopar. Warto zwrócić uwagę na szczegółowe badania numeryczne przeprowadzone przez Habilitanta, testujące przyrząd pomiarowy w dużym zakresie zmienności błędów losowych oraz danych eksperymentalnych, które pozwalają uwiarygodnić wyznaczenie gęstości strumienia ciepła i temperatury za pomocą tego przyrządu. Modyfikacja pierwotnej wersji metody wyznaczania tych wielkości na powierzchni zewnętrznej przyrządu pomiarowego przez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego, pozwala na podniesienie dokładności instrumentu pomiarowego w przypadku stwierdzenia dyslokacji zamontowanych termopar, które mogą wystąpić np. przy montażu instrumentu pomiarowego.

Zastosowanie bilansowej metodę elementów skończonych w metodzie odwrotnej do wyznaczania gęstości strumienia ciepła w celu podniesienia dokładności opracowanego miernika jest kolejnym osiągnięciem Habilitanta stanowiącym wartościowy wkład do rozwoju wiedzy związanej z zagadnieniami odwrotnymi wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją.

Habilitant swoje dalsze badania eksperymentalne oraz numeryczne związał z wyznaczaniem strumienia masy cieczy przepływającej przez cylindryczny kanał na podstawie pomiarów temperatury, dokonywanych na zewnętrznej powierzchni kanału. Wyniki badań zawarł w pracach [1, 4, 5] oraz w projekcie [15].

Idea ta opiera się na pomiarze temperatury powierzchni zewnętrznej kanału, na ścianie którego zamontowana jest grzałka. Temperatura powierzchni zewnętrznej kanału mierzona jest przed i za grzałką. Wykonane zostały badania na skonstruowanym termicznym przepływomierzu do pomiaru niskiego natężenia przepływu cieczy. Zmierzona została temperatura ścianki kanału, natężenie przepływu cieczy, i na tej podstawie została ustalona zależność pomiędzy tymi wielkościami. Obok badań eksperymentalnych, Habilitant zastosował analityczny model oraz wykonał numeryczne symulacje badanego przepływu. Swoje badania skoncentrował na przepływach cieczy o małych wartościach natężenia strumienia objętości, które z natury są trudne do zmierzenia. Wyniki obliczeń numerycznych były zgodne z modelem analitycznym i posłużyły do wstępnego rozstawienia termopar w przyrządzie pomiarowym na powierzchni zewnętrznej kanału przed i za grzałką.

Opracowanie modelu analitycznego oraz numerycznego przepływomierza termicznego jest oryginalnym osiągnięciem Habilitanta i stanowi kolejny wartościowy wkład do rozwoju wiedzy związanej z zagadnieniami odwrotnymi wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją.

Badania związanych ze stworzeniem modelu analitycznego oraz numerycznego do wyznaczania natężenia przepływu płynu na podstawie różnicy temperatur na powierzchni zewnętrznej kanału pomiędzy zamontowaną na nim grzałką, potwierdziły możliwość wykorzystania przepływomierza termicznego do pomiaru małego strumienia przepływu cieczy w zakresie laminarnym. Na podstawie tych badań został zbudowany model fizyczny przepływomierza w ramach projektu [15]. Stanowisko badawcze składało się z miedzianej rurki o grubości 1,5mm i średnicy 7mm, na której zamontowana była grzałka. Na powierzchni zewnętrznej

rukki zamontowano cztery termopary umieszczone symetrycznie po obu stronach grzałki. Układ pomiarowy został zaizolowany termicznie i zamontowany na stanowisku badawczym. Badania przeprowadzone zostały dla zakresu liczb Reynoldsa $100 < Re < 2300$. Masowe natężenie przepływu wody zmierzono za pomocą laboratoryjnego przepływomierza masowego. Wyniki obliczeń numerycznych porównywano z pomiarami eksperymentalnymi. Obie krzywe są zbliżone do siebie i pokazują wykładniczą zależność różnicy temperatur od natężenia przepływu masowego. Na podstawie przeprowadzonych badań, Habilitant wykazał, że jest możliwe wyznaczenie masowego natężenia przepływu wody dla przepływu laminarnego poprzez zmierzonej różnicy temperatur na powierzchni zewnętrznej badanego kanału.

Opracowanie przepływomierza termicznego oraz przeprowadzenie pomiarów z jego wykorzystaniem jest kolejnym osiągnięciem Habilitanta stanowiącym wartościowy wkład do rozwoju wiedzy związanej z zagadnieniami odwrotnymi wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją.

2.3 Ocena osiągnięcia naukowo - badawczego

Recenzowany monotematyczny cykl publikacji stanowiącej podstawę pracy habilitacyjnej pod wspólnym tytułem „Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalna weryfikacja”, klasyfikuje pracę do dyscypliny naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”.

W oparciu o Rozporządzenie MNiSzW z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego stwierdzam, że po doktoracie:

- zgodnie z §3 punkt 4a, Habilitant jest autorem lub współautorem 8 publikacji w czasopiśmie z bazy JCR, brak jest informacji związanych z punktami 4b, 4c, 4d;
- zgodnie z §4:
 - punkt 1: Habilitant jest autorem 1 monografii, autorem 1 rozdziału w monografii; autorem 1 i współautorem 5 publikacji uwzględnionych w Web of Science; 28 publikacji nie zakwalifikowanych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe;
 - punkt 2: brak informacji dotyczących autorstwa lub współautorstwa opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych i ekspertyz;
 - punkt 3: sumaryczny impact factor publikacji według bazy Web of Science zgodny z rokiem publikacji wynosi 8,135;
 - punkt 4: liczba cytowań publikacji według bazy WoS: 33;
 - punkt 5: Indeks Hirscha według WoS: 4;
 - punkt 6: Habilitant brał udział w 5 projektach badawczych związanych z osiągnięciem naukowym, z czego w 4 był kierownikiem. Łącznie Habilitant brał udział w realizacji 24 prac badawczych, z czego w 5 był kierownikiem;
 - punkt 7: Habilitant dwukrotnie uzyskał nagrodę Rektora Politechniki Krakowskiej za osiągnięcia naukowe w 2012 i 2015 roku;
 - punkt 8: Habilitant brał udział w 33 konferencjach (w większości międzynarodowych), na których wygłosił 26 referatów.

2.4. Podsumowanie osiągnięcia naukowo-badawczego

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiony do recenzji monotematycznie spójny dorobek naukowy zatytułowany „Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalna weryfikacja” jest oryginalny i stanowi znaczny wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”, a zatem spełnione są warunki stawiane w postępowaniu habilitacyjnym (Art. 16, ust. 1 „Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r.).

3. Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

W oparciu o Rozporządzenie MNiSzW z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego stwierdzam, że po doktoracie zgodnie z §5, Habilitant:

- 1) uczestniczył w 3 programach współfinansowanych przez UE: w ramach Programu Operacyjnego „Kapitał Ludzki” 2009 – 2015, Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego 2011 – 2014 oraz Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego 2007 – 2013;
- 2) brał udział w komitetach organizacyjnych jako członek komitetu organizacyjnego następujących konferencji:
 - XI International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer, ICCHMT2018, 2018, Kraków,
 - IX International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer, ICCHMT2016, 2016, Kraków,
 - IV Konferencja Naukowo-Techniczna Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne, 2016 Kraków,
 - III Konferencja Naukowo-Techniczna Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne, 2013 Kraków.
- 3) otrzymał dyplom za wkład pracy i prowadzenie Koła Naukowego Energetyki i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej, nadany przez Rektora PK w 2011 roku ,
- 4) nie brała udziału w konsorcjach i sieciach badawczych;
- 5) nie kierował projektami we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, nie brał udziału w badaniach stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami;
- 6) nie brał udziału w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism;
- 7) Habilitant w latach 2015 – 2018 był członkiem stowarzyszonym Sekcji Termodynamiki Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN, a w latach 2003 – 2018 członkiem stowarzyszonym Stowarzyszenia na Rzecz Kształcenia Specjalistów Budowy Maszyn i Urządzeń Energetycznych SBMiUE;
- 8) jest aktywnym pracownikiem dydaktycznym. Prowadzi zajęcia z przedmiotów: Termodynamika (wykłady, ćwiczenia), Elektrownie i elektrociepłownie (laboratoria, ćwiczenia), Urządzenia pomocnicze elektrowni(wykłady, ćwiczenia), Modelowanie CFD (laboratorium komputerowe), Wymienniki ciepła (wykład, projekty, laboratoria), Kotły parowe(laboratorium, projekty). Ponadto był założycielem

Koło Naukowego Energetyki i Ochrony Środowiska(KNEiOŚ) oraz jego opiekunem naukowym;

- 9) jest promotorem 6 prac dyplomowych magisterskich, 16 prac projektowych inżynierskich;
- 10) od 2018 roku jest promotorem pomocniczym pracy doktorskiej Moniki Rerak za tytułowanej „Nowy algorytm wspomagający projektowanie podziemnych linii kablowych z uwagi na ich cieplne warunki pracy” na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej;
- 11) uczestniczył w stażach krajowych w ośrodkach naukowych:
 1. Instytut Lotnictwa – Engineering Design Center, 2007-2009, charakter stażu - praca na stanowisku Samodzielny Inżynier projektant w dziale Energetyka, Turbiny parowe;
 2. Instytut Lotnictwa – Engineering Design Center, 2013-2015, charakter stażu - praca na stanowisku Samodzielny Inżynier projektant w dziale Lotnictwo, Komory spalania turbin gazowych;
- 12) w latach 2009 – 2017 wykonywał 7 ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców;
- 13) brał udział w zespołach eksperckich i konkursowych jako:
 - Ekspert w Programie Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, 2017-2018, ekspert NCBiR, członek zespołu panelowego ekspertów(trzykrotnie), ekspert wiodący(dwukrotnie);
 - Audytor w okresie 2015-2018 do ocena innowacyjności zgłaszanych projektów/produktów do konkursu Innowator Małopolski organizowanego przez Centrum Transferu Technologii PK, liczba audytowanych firm – 3.
- 14) wykonał 5 recenzji projektów badawczo-rozwojowych NCBiR w konkursach „Szybka ścieżka”, „IUSER”, 1.2 Program Operacyjny „Inteligentny Rozwój” 2014 – 2020, wykonał 2 recenzje publikacji w czasopiśmie Applied Thermal Engineering, Heat Transfer Engineering oraz 8 recenzji publikacji konferencyjnych w ramach “Konferencja International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer”, ICCHMT,2016-2018.

4. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę wszystkie elementy dorobku naukowo-badawczego i dydaktycznego Habilitanta ze szczególnym wyróżnieniem zbioru monotematycznych publikacji związanych z rozwiązywaniem wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalną weryfikacją, stwierdzam, że dr inż. Artur Cebula wniósł istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”.

Habilitant spełnia wymogi sformułowane w Art. 16, ust. 1 ”Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003r oraz kryteria podane w Rozporządzeniu MNiSzW z dnia 1 września 2011r. w sprawie kryteriów oceny osoby ubiegającej się o nadania stopnia doktora habilitowanego.

Wnioskuje o dopuszczenie Pana dr inż. Artura Cebuli do dalszego postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie „Budowa i eksploatacja maszyn”.

Andrzej Frydlich