

## **AUTOREFERAT**

**Identyfikacja zjawisk przeplywowo-cieplnych wplywajacych na poprawę efektywności energetycznej maszyn i urzadzeń energetycznych**

Dr inż. Piotr Wais

1. Imię i nazwisko:

**Piotr Wais**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej:

4.02.1998 stopień naukowy **doktora nauk technicznych** nadany uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej.

Tytuł rozprawy doktorskiej: Identyfikacja strumienia przepływu płynu na podstawie rozwiązania zagadnienia odwrotnego w konwekcji (promotor: prof. dr hab. inż. Kazimierz Rup)

28.06.1993 tytuł **magistra inżyniera** po ukończeniu z wyróżnieniem kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn, w zakresie specjalności: Technologia Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Tytuł pracy magisterskiej: Związki przyczynowe pomiędzy średnią temperaturą warstwy wierzchniej a przemianami strukturalnymi podczas szlifowania stali hartowanych (promotor: prof. dr hab. Inż. Edward Wantuch)

10.06.1992 Dyplom ukończenia dwuletniego Studium Pedagogicznego i uzyskania kwalifikacji pedagogicznych do pracy nauczycielskiej z wynikiem „bardzo dobry” w Uczelnianym Studium Pedagogiki i Psychologii Politechniki Krakowskiej.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych:

2009 - 2018 adiunkt naukowo-dydaktyczny ze stopniem doktora w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

1993 - 1998 asystent naukowo-dydaktyczny w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, a następnie w Instytucie Aparatury Przemysłowej i Energetyki na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w innych jednostkach:

2015 - obecnie Doradca ds. projektów w Agencji Wykonawczej ds. Małych i Średnich Przedsiębiorstw Komisji Europejskiej (EASME), Wydział Energii, Bruksela.

2008 - 2009 Kierownik projektu, WSK Kraków (oddział wchodzący w skład grupy Alfa Laval), Kraków.

2002 - 2008 Inżynier produktu / Ekspert ds. metod / Samodzielny Inżynier ds. Walidacji, Delphi, Centrum Techniczne, Kraków.

1998 - 2002 Ekspert ds. metod, Bielsko **Biała**, Fiat Italia, Technologie Centralne, Dyrekcja Produkcji, Turyn.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

**Identyfikacja zjawisk przeplywowo-cieplnych wplywajacych na poprawe efektywnosci energetycznej maszyn i urzadzen energetycznych**

4.2. Osiągnięcia naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, złożone z cyklu publikacji powiązanych tematycznie:

a) artykuły z listy A MNiSW, tj. indeksowanych w Journal Citation Reports (lista filadelfijska)

[1] **Piotr Wais**, 2017, *Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis*, *Renewable Energy*, 103, 2017, 15–29.

Punktacja MNiSW: **35 pkt**, **Impact Factor: 4.900**, **5-Year Impact Factor: 4.981**  
Udział procentowy habilitanta: **100%**

[2] **Piotr Wais**, 2017, *A review of Weibull functions in wind sector*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 2017, 1099-1107.

Punktacja MNiSW: **45 pkt**, **Impact Factor: 9.184**, **5-Year Impact Factor: 10.093**  
Udział procentowy habilitanta: **100%**

[3] **Piotr Wais**, 2016, *Influence of fin thickness and winglet orientation on mass and thermal efficiency of cross-flow heat exchanger*, *Applied Thermal Engineering*, 102, 2016, 184-195.

Punktacja MNiSW: **40 pkt**, **Impact Factor: 3.771**, **5-Year Impact Factor: 3.929**  
Udział procentowy habilitanta: **100%**

b) artykuły z listy B MNiSW i inne publikacje

[4] **Piotr Wais**, 2016, *Numerical pressure drop calculation and its correlation for one row heat exchanger*, *Journal of Power Technologies*, 2016, 96 (6), 449-458.

Punktacja MNiSW: **12 pkt**  
Udział procentowy habilitanta: **100%**

[5] **Piotr Wais**, 2015, *Wplyw wysokosci obrzeza lopatki na intensywnosc zawirowan w kanale turbiny gazowej*, *Rynek Energii*, 2015, 5 (120), 95-101.

Punktacja MNiSW: **11 pkt**  
Udział procentowy habilitanta: **100%**

[6] **Piotr Wais**, 2014, *Fin-tube heat exchanger performance for different louver angles*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika, 86 (290), str. 115-122.

Punktacja MNiSW: **7 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[7] **Piotr Wais**, 2013, *Wysokość wieży a okres zwrotu nakładów w energetyce wiatrowej*, Rynek Energii, 2013, 4 (107), 25-32.

Punktacja MNiSW: **9 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[8] **Piotr Wais**, 2012, *Numerical calculation of static pressure in turbine interblade passage*, Rynek Energii, 2012, 6 (103), 107-112.

Punktacja MNiSW: **10 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[9] **Piotr Wais**, 2010, *Fluid flow consideration in fin-tube heat exchanger optimization*, Archives of Thermodynamics, 2010, 31 (3), 87-104.

Punktacja MNiSW: **9 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

c) publikacje naukowe w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, uwzględnionych w bazie Web of Science

[10] **Piotr Wais**, 2016, *Correlation and Numerical Study of Heat Transfer for Single Row Cross-flow Heat Exchangers with Different Fin Thickness*, Procedia Engineering, 2016, 157, 177–184.

Punktacja MNiSW: **15 pkt**, **Impact per Paper (SNIP): 0.783**, **Journal Rank (SJR): 0.282**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

d) monografie w języku polskim

[11] **Piotr Wais**, *Marketing i aspekty ekonomiczno-finansowe w energetyce*, Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 2010, ISBN 978-83-7242-563-8.

Punktacja MNiSW: **12 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

e) rozdziały w monografiach w języku angielskim

[12] **Piotr Wais**, 2015, *Wind energy and wind turbine selection*, rozdział w książce *Energy Science and Technology, Vol 8 Wind Energy*, pod redakcją J. N. Govil, Wydawnictwo Studium Press Llc, 2015, 169-193, ISBN 1-62699-072-7.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

- [13] **Piotr Wais**, 2015, *Heat transfer in fin-tube heat exchangers for different radial fin profiles*, rozdział w książce *Heat exchangers and Heat Transfer Engineering calculations*, pod redakcją J. Taler, 2015, 27- 41, ISSN 0860-097X, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

- [14] **Piotr Wais**, 2014, *Explicit Finite-Difference Method for Solving Transient Heat Conduction Problems*, rozdział w książce *Encyclopedia of Thermal Stresses*, Vol 3, pod redakcją Richard B. Hetnarski, 2014, 1510-1524, ISBN 978-94-007-2738-0, Dordrecht, Springer 2014.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

- [15] **Piotr Wais**, 2014, *Extended Surfaces (Fins and Pins)*, rozdział w książce *Encyclopedia of Thermal Stresses*, Vol 3, pod redakcją Richard B. Hetnarski, 2014, 1536-1550, ISBN 978-94-007-2738-0, Dordrecht, Springer 2014.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

- [16] **Piotr Wais**, 2014, *Implicit Finite-Difference Method for Solving Transient Heat Conduction Problems*, rozdział w książce *Encyclopedia of Thermal Stresses*, Vol 5, pod redakcją Richard B. Hetnarski, 2014, 2368-2387, ISBN 978-94-007-2738-0, Dordrecht, Springer 2014.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

- [17] **Piotr Wais**, 2012, *Fin-tube heat exchanger optimization*, rozdział w książce *Heat Exchangers – Basics design applications*, pod redakcją J. Mitrovic, Wydawnictwo In-Tech Rijeka, 2012, 343-366, ISBN 978-953-51-0278-6.

Punktacja MNiSW: **5 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

f) rozdziały w monografiach w języku polskim

- [18] **Piotr Wais**, 2011, *Współczynniki wnikania ciepła po stronie wody i pary*, rozdział w książce *Procesy cieplne i przepływowe w dużych kotłach energetycznych. Modelowanie i monitoring*, pod red. J. Talera, Warszawa 2011, Wyd. Naukowe PWN, 327-340; ISBN: 978-83-01-16479-9.

Punktacja MNiSW: **4 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[19] **Piotr Wais**, 2010, *Profil żebra i prędkość przepływu powietrza w zagadnieniach optymalizacji wymiennika ciepła*, rozdział w książce *Systemy, technologie i urządzenia energetyczne*, pod red. Jana Talera, Wyd. PK, Kraków 2010, 681-698, ISBN 978-83-7242-544-7.

Punktacja MNiSW: **4 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[20] **Piotr Wais**, 2010, *Wyznaczanie pola prędkości i ciśnienia w palisadzie łopatek turbiny gazowej*, rozdział w książce *Systemy, technologie i urządzenia energetyczne*, pod red. Jana Talera, Wyd. PK, Kraków 2010, 925-937, ISBN 978-83-7242-544-7.

Punktacja MNiSW: **4 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

g) materiały konferencyjne w języku angielskim

[21] **Piotr Wais**, 2014, *Optimization of a car radiator fin thickness*, rozdział w książce *Engineering Optimisation IV*, pod redakcją Aurelio Araujo, 2014, 297–302, CRC Press/Balkema, ISBN 978-41-138-02725-1.

Punktacja MNiSW: **0 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[22] **Piotr Wais**, 2011, *One row fin heat exchange numerical optimization*, 1st International Congress on Thermodynamics (ICT), Poznań, 4-7 September 2011, rozdział w książce pod redakcją L. Bogusławskiego *Thermodynamics in Science and Technology*, Poznań 2011, 709-716, PUHiP POLI-GRAF-JAK Poznań ISBN 978-83-7775-038-4.

Punktacja MNiSW: **0 pkt**

Udział procentowy habilitanta: **100%**

[23] **Piotr Wais**, 2010, *Numerical modeling of air flow in turbine blade cascade*, Proceedings of the XIII th International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, rozdział w książce pod redakcją A.A. Stachel, D. Mikielwicz *Heat Transfer and Renewable Sources of Energy 2010*, Szczecin 2010, 559-566, Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie, ISBN 978-83-7663-035-9.

Punktacja MNiSW: **0 pkt**,

Udział procentowy habilitanta: **100%**

h) projekty naukowo-badawcze

[24] praca naukowa M9/638/DS/2009, *Numeryczne modelowanie przepływu powietrza pomiędzy łopatkami turbiny*, projekt finansowany przez Komitet Badań Naukowych. Okres realizacji: 25.05.2009 – 04.12.2009.

Charakter udziału: kierownik projektu.

[25] projekt badawczy własny M9/562/BW/2011, *Modelowanie jednorzędowego wymiennika ciepła i jego optymalizacja*, projekt finansowany przez Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Okres realizacji: 18.11,2011 – 30.11.2011.

Charakter udziału: kierownik projektu.

#### 4.3. Omówienie ww. prac wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego:

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy, wchodzący w skład głównego osiągnięcia naukowego, obejmuje:

- 3 artykuły z listy A MNiSW, tj. indeksowanych w Journal Citation Reports (lista filadelfijska),
- 6 artykułów z listy B MNiSW,
- 1 publikację naukową w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych,
- 1 monografię w języku polskim,
- 6 rozdziałów w monografiach zagranicznych (w języku angielskim), w tym 3 rozdziały w monografiach konferencyjnych,
- 3 rozdziały w Encyclopedii of Thermal Stresses, wyd. Springer 2014 (w języku angielskim),
- 3 rozdziały w monografiach w języku polskim,
- 2 projekty naukowo-badawcze.

**Należy zauważyć, że habilitant jest samodzielnym autorem wszystkich wymienionych powyżej pozycji.**

Główne osiągnięcie naukowe obejmuje następujące grupy tematyczne:

- a) Opracowanie metody identyfikacji procesów przepływowo-ciepłych w przypadku braku możliwości zastosowania odpowiednich korelacji,
- b) Opracowanie nowego kryterium optymalizacji wymiennika ciepła,
- c) Poprawa sprawności i optymalizacja wymiennika ciepła na przykładzie chłodnicy samochodowej,
- d) Identyfikacja zjawisk przepływowo-ciepłych przepływu turbulentnego,
- e) Identyfikacja warunków wietrznych, rzeczywistych możliwości produkcyjnych oraz analiza ekonomiczna opłacalności inwestycji budowy elektrowni wiatrowych w przypadku ograniczonych danych z pomiarów meteorologicznych,
- f) Opracowanie metody identyfikacji potencjału energetycznego elektrowni wiatrowej przy zastosowaniu trójparametrowego rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla.

Ad a) Opracowanie metody identyfikacji procesów przepływowo-ciepłych w przypadku braku możliwości zastosowania odpowiednich korelacji.

Opracowanie modelu matematycznego, który dokładnie opisywałby proces przeplywowo-ciepny jest trudne ze wzgledu na zlozonosc zaganiem mu towarzyszacym. Ilosci wymienianego ciepla, okreslenie pola temperatur czy spadkow cisnienia podczas przeplywu plynu przez wymiennik moze zostac wyznaczona np. analitycznie, numerycznie lub na drodze doswiadczalnej.

Rozwiazania analityczne rownania opsujacej wymiane ciepla ograniczone sa do nieskomplikowanej geometrii ze scisle zdefiniowanymi warunkami brzegowymi. Mogu byc one zastosowane takze do obliczenia strumienia przekazywanego ciepla w przypadku zastosowania zebrow. Przyklady takie przeanalizowalem w pracy [15]. W wielu sytuacjach geometria ozebrowania lub warunki brzegowe wykluczaja stosowanie technik analitycznych. Stosuje sie wtedy np. korelacje empiryczne, ktore przedstawilem w pracach [4], [10] i [18]. Maju one jednak ograniczone zastosowanie i nie moga byc na przyklad uzyte gdy, w celu optymalizacji wymiennika ciepla, dokonano niewielkich zmian geometrii zebra lub dodano elementy na powierzchni zebra. Wtedy zagadnienia przewodzenia ciepla moga byc rozwiazane za pomoca metod numerycznych. W pracach [14] i [16] przeanalizowalem metody i przedstawilem sposob obliczen.

W pracach [3], [6], [9], [10] [13], [17] podalem metodologie postepowania majacego na celu okreslenie procesow przeplywowo-cieplnych dla przypadkow, w ktorych brak jest dokladnych korelacji. Analize przeprowadzilem na przykladzie wymiennika ciepla, koncentrujac sie na roznych predkosciach plynu i biorac pod uwage wlasnosci aerodynamiczne profili ozebrowania. Okazalo sie, ze nawet niewielka zmiana ksztaltu zebra powoduje zmiane rozlozenia linii pradu przeplywu i odchylenie strugi. Modyfikacja ksztaltu zebra jest jednak czesto tak mala, ze dobrze znane korelacje nie moga byc zastosowane, a wiec wplyw wprowadzonych zmian jest trudny do weryfikacji na etapie projektowania wymiennika. Co wiecej, zwiekszenie intensywnosci wymiany ciepla przez zastosowanie ozebrowania moze takze spowodowac wzrost strat cisnienia, ktory takze powinien byc oszacowany. Zwiekszenie efektywnosci wymiany ciepla w porownaniu do wartosci spadku cisnienia jest jednym z charakterystycznych parametrów wymiennika i wplywa na jego efektywnosc.

Wykonalem zatem analizy numeryczne w celu oszacowania wplywu zmian geometrii zebra i jego profilu na wymiane ciepla i wartosc spadku cisnienia biorac pod uwage przeplyw i jego zaburzenia spowodowane konfiguracja zebra i rury. Ze wzgledu na brak odpowiednich korelacji zaproponowalem metode obliczen procesow przeplywowo-cieplnych, ktore pozwalaly na oszacowanie wplywu niewielkich zmian dokonanych na powierzchni zebra na wymiane ciepla. W pierwszym kroku wykonalem wzorzec zebra, dla ktorego mozliwe bylo zastosowanie rownan empirycznych. Nastepnie porownalem rezultaty obliczen numerycznych z wynikami otrzymanymi na podstawie korelacji. Po weryfikacji modelu, rozpoczalem realizacje glownego celu badan. Zmodyfikowano profil zebra i zbadano ilosc wymienianego ciepla i spadki cisnienia podczas przeplywu powietrza przez wymiennik. Zmiennymi parametrami byly: grubosc zebra, profil zebra, predkosc przeplywu powietrza. Rezultaty opracowalem i przedstawilem w pracach [4], [10]. Odpowiednio modyfikujac profil zebrow mozna ograniczyc spadek cisnienia oraz zwiekszyc wymiane ciepla.

Zaproponowana metodologia pozwolila na identyfikacje zjawisk przeplywowo-cieplnych w przypadku niewielkich modyfikacji ksztaltu zebra lub nietypowej geometrii zebra i braku mozliwosci zastosowania odpowiednich korelacji (np. mikrozebra powodujace zawirowania



przepływu, deflektory). Przedstawiono metodologię postępowania pozwalającą na weryfikację modelu numerycznego i określenie wymiany ciepła między przepływającym powietrzem a żebrem. Zaprezentowane wyniki potwierdziły jej poprawność. Metoda może być wykorzystana jako alternatywa dla badań eksperymentalnych.

Dodatkowo, zbadałem wpływ geometrii żebra na rozkład linii prądu i strumienia masy powietrza. Analizując linie przepływu stwierdzono, że modyfikacja profilu żebra powoduje także zmianę kierunku przepływu płynu opływającego żebro. Powoduje to z kolei zmianę rozkładu temperatury na jego powierzchni i zmianę warunków wymiany ciepła. Otrzymane rezultaty badań potwierdziły, że własności aerodynamiczne żebra mogą powodować znaczne różnicowanie w rozkładzie masy przepływającego płynu i wpływać na transport ciepła.

Ad. b) Opracowanie nowego kryterium optymalizacji wymiennika ciepła.

W zastosowaniach praktycznych wymiennik ciepła jest często dobierany z katalogu producenta bez rzeczywistej pracy projektowej. Szybki wybór wymiennika spośród istniejących rodzajów może powodować, że konstrukcja nie spełnia wszystkich założonych wymagań. Często również istotnym celem prac projektowych jest jego optymalizacja. Może ona polegać na optymalizacji: 1) ciężaru wymiennika dla określonego strumienia przejmowanego ciepła, 2) kształtu ożebrowania dla określonej wymiany ciepła, 3) położenia pojedynczych żeber w celu uformowania kanału przepływu.

Głównym celem badań przedstawionych w pracach [3], [9], [19], [22] było znalezienie takiego profilu żebra, dla którego stosunek przekazywanego ciepła do masy wymiennika osiągnie wartość maksymalną. Został zatem zdefiniowany nowy cel optymalizacji, w którym zmiennym parametrem był kształt profilu żebra. Szukano więc maksymalnej wartości funkcji  $\xi$ :

$$\xi = \frac{\dot{Q}}{m} \rightarrow \max$$

Obliczenia przeprowadziłem za pomocą programu Ansys Workbench. Aby potwierdzić poprawność modelu numerycznego, otrzymane rezultaty obliczeń były sprawdzone i porównane z wynikami otrzymanymi z dostępnych korelacji. Po zakończeniu procedury weryfikacji modelu, przystąpiłem do realizacji głównego celu pracy. Kształt żebra i rurki został zmodyfikowany, a następnie obliczono wymianę ciepła dla nowych warunków. Na podstawie analizy rezultatów wybrano profil żebra dla którego funkcja  $\xi$  przyjęła wartość maksymalną.

Ponieważ analizując literaturę zauważono, że zmiana strumienia przepływu płynu spowodowana przez żebro jest często pomijana w procesach optymalizacji, szczególnie nacisk został położony na analizę wartości i kierunku przepływu płynu w obszarze żebra. Wykazano, że geometria żebra ma wpływ nie tylko na masę wymiennika ciepła, ale także na rozkład prędkości i masy płynu co dodatkowo oddziałuje na zjawisko wymiany ciepła.

Zdefiniowana funkcja  $\xi$  może być pomocna podczas projektowania wymienników ciepła. W przypadku analiz mających na celu ograniczenie kosztów i masy wymiennika może służyć jako dodatkowy parametr do weryfikacji otrzymanych rezultatów.

Ad c) Poprawa sprawności i optymalizacja wymiennika ciepła na przykładzie chłodnicy samochodowej.

Chłodnica samochodowa jest ważną częścią układu chłodzenia silnika, a odpowiednio ukształtowane nacięcia na jej ożebrowaniu (tzw. żaluzje) są często przedmiotem badań.

Celem moich badań przedstawionych w pracach [3], [6], [10], [21] była analiza i zbadanie wpływu modyfikacji nachylenia żaluzji na wymianę ciepła w chłodnicy samochodowej. Zostały także wykonane dodatkowe badania: 1) wprowadzono na powierzchni żebra element modyfikujący kierunek przepływu (deflektor) i przeanalizowano jego wpływ na wymianę ciepła, 2) zmodyfikowano grubość żeber.

Ponieważ nie było możliwe wykorzystanie odpowiednich korelacji dla zmodyfikowanych powierzchni żeber, obliczenia wykonałem za pomocą technik numerycznych. W pierwszej kolejności utworzono model podstawowy (wymennik z żebrami bez żaluzji, dla którego istnieje korelacja) i porównano wyniki otrzymane z symulacji. Sprawdzono w ten sposób poprawność przyjętych założeń. Po weryfikacji modelu zmodyfikowano powierzchnię żebra i wykonano główne badania w celu określenia charakterystyk chłodnicy dla różnych grubości żeber, zmodyfikowanych kątów pochylenia żaluzji i zastosowanych dodatkowych elementów na powierzchni żeber (zmieniając orientację elementu i jego długość).

Analizując wyniki zwróciłem uwagę, że choć całkowita moc cieplna chłodnicy maleje gdy zmniejsza się grubość żebra, to wymiana ciepła może jednak zostać zwiększona poprzez dodanie żaluzji. Ilość ciepła przekazywanego przez chłodnicę zależy także od kąta nachylenia żaluzji. Dodatkowe korzyści można osiągnąć przez zastosowanie deflektorów, które zaburzają kierunek przepływu i powodują występowanie dodatkowego mieszania się powietrza. W pracach [3], [6], [10], [21] przedstawiłem wyniki badań. Zmniejszenie grubości żebra i zastosowanie deflektora może znacznie zwiększyć wymianę ciepła przypadającą na jednostkę masy chłodnicy.

Zastosowane badania numeryczne umożliwiają optymalizację geometrii żaluzji i mogą być wykorzystane jako alternatywne działanie dla bardziej kosztownych badań eksperymentalnych. Modelowanie numeryczne oferuje szczególne korzyści, w przypadku zastosowania niewielkich modyfikacji dla których nie istnieją zależności korelacyjne. Należy jednak pamiętać o konieczności zweryfikowania modelu.

Ad d) Identyfikacja zjawisk przepływowo-ciepłych przepływu turbulentnego.

Ze względu na złożoność zjawiska turbulencji, jej ścisła teoretyczna analiza napotyka na liczne trudności. Często zatem wykorzystuje się do tego celu metody symulacji komputerowej. W tym przypadku niezbędne jest natomiast sprawdzenie wyników symulacji przez porównanie otrzymanych rezultatów z innymi danymi np. doświadczalnymi.

W pracach [5], [8], [20], [23] analizowano przepływ czynnika roboczego przez stopień turbiny gazowej, który jest przepływem złożonym i w którym występują liczne turbulencje i wiry. Celem pracy było wyznaczenie pola prędkości i ciśnienia w palisadzie łopatek turbiny gazowej. Ponadto badano wpływ geometrii górnej powierzchni łopatki turbiny, wysokości obrzeża, na powstawanie zawirowań za krawędzią wylotową łopatki.

Zaproponowano przy tym metodologię postępowania pozwalającą na wybór odpowiedniej wersji modelu numerycznego, który pozwoliłby otrzymać zbieżne rezultaty z wynikami eksperymentalnymi przy zadowalającym czasie obliczeń. Wykonano obliczenia

numeryczne dla różnych wersji modelu, rozpoczynając od modelu, który odpowiadał warunkom występującym podczas eksperymentu. Następnie stopniowo zagęszczano przestrzenną siatkę obliczeniową, szczególnie za krawędzią wylotową łopatki i ograniczano wymiary badanego obiektu.

Rezultaty obliczeń zostały porównane z wartościami otrzymanymi z badań eksperymentalnych. Wyznaczone rozkłady wartości prędkości i ciśnienia oraz energii kinetycznej turbulencji były zgodne z wartościami otrzymanymi na drodze doświadczalnej. Przebieg izolinii opisujących rozkłady prędkości, ciśnienia i intensywności turbulencji był zgodny z danymi otrzymanymi na podstawie pomiarów eksperymentalnych.

Wyniki potwierdziły zasadność zaproponowanego postępowania. Jego główną zaletą jest możliwość wyznaczenia szukanych wartości w dowolnym punkcie modelu np. ciśnienia statycznego na powierzchni łopatki lub analizy zawirowań w innych obszarach przepływu. Otrzymany model umożliwił dalszą analizę np. wpływu wysokości obrzeża na powstawanie wirów i wyznaczanie intensywności turbulencji. Należy przy tym podkreślić, że metoda numeryczna pozwalała na przeanalizowanie otrzymanych wartości w całym obszarze przepływu, czego nie umożliwiały pomiary doświadczalne.

Ad e) Identyfikacja warunków wietrznych, rzeczywistych możliwości produkcyjnych oraz analiza ekonomiczna opłacalności inwestycji budowy elektrowni wiatrowych w przypadku ograniczonych danych z pomiarów meteorologicznych.

Produkcja energii turbiny zależy głównie od energii wiatru. Oszacowanie dostępnej mocy wiatru oraz znajomość charakterystyki mocy elektrowni wiatrowej pozwala na obliczenie produkcji energii elektrycznej i osiągniętych dochodów. Aby uzyskać znaczące zyski z produkcji energii otrzymanej z elektrowni wiatrowej, miejsce budowy elektrowni powinno być starannie dobrane z uwzględnieniem zasobów energii wiatru. Najlepszym sposobem oceny jest przeprowadzenie analizy pomiarów meteorologicznych dla każdej wstępnie wybranej lokalizacji turbiny. Badania takie są niestety kosztowne i zajmują dużo czasu (rekomendowany jest pomiar w czasie kilku lat).

Drugim istotnym parametrem mającym wpływ na ilość produkowanej energii oraz okresu zwrotu inwestycji jest wysokość wieży. Więcej energii można pozyskać na większych wysokościach, ponieważ średnia prędkość wiatru wzrasta wraz z wysokością położenia wirnika. Z drugiej strony koszt budowy wieży jest znaczny i większa wysokość powoduje wydłużenie okresu zwrotu inwestycji. Przyrost dochodu związanego ze sprzedażą energii na każdy dodatkowy metr wysokości wieży jest mniejszy od przyrostu kosztów budowy. Zasadnym jest więc oszacowanie opłacalności takiego rozwiązania [11].

W pracach [2], [7], [12] opracowano technikę oceny dostępnej energii wiatru i oszacowania produkcji energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej w przypadku ograniczonych danych (np. znana jest tylko średnia prędkość wiatru) i zastosowania metod statystycznych. Wykazano, że znajomość średniej prędkości wiatru nie wystarcza do jednoznacznego wyznaczenia rozkładu prędkości wiatru i obliczenia ilości wyprodukowanej energii. W celu określenia funkcji gęstości prawdopodobieństwa Weibulla, powszechnie stosowanej w analizie danych wiatrowych, wymagana jest także znajomość dwóch parametrów opisujących rozkład prędkości wiatru. Dla różnych wartości parametrów możliwe jest jednak uzyskanie tej samej wartości prędkości średniej wiatru. Po wyznaczeniu funkcji gęstości prawdopodobieństwa Weibulla, w następnym kroku można otrzymać rozkład

prędkości wiatru na wysokości osi wirnika turbiny. Wówczas możliwe jest obliczenie dostępnej mocy wiatru. Znając dodatkowo krzywą mocy turbiny, można określić prawdopodobną ilość wytwarzanej przez turbinę wiatrową energii i obliczenie dochodu.

Przedstawiona metoda postępowania pozwala na analizę warunków wietrznych i obliczenie opłacalności inwestycji w przypadku braku dokładnych pomiarów prędkości wiatru i ograniczenia danych meteorologicznych do wartości średniej prędkości wiatru. Zastosowanie rozkładu Weibulla pozwala na analizę różnych scenariuszy i porównanie ze sobą otrzymanych rezultatów przy niewielkich kosztach. W szczególnych przypadkach można także wyznaczyć parametr kształtu i skali, jeśli w analizowanym terenie znajduje się inna turbina wiatrowa i znany ilość wyprodukowanej przez nią energii elektrycznej.

Ponadto, zaproponowana procedura postępowania pozwala na porównanie obliczonej ilości wyprodukowanej energii i określenie okresu zwrotu inwestycji dla różnej mocy turbin, różnych rodzajów turbin, wysokości wieży itp., na wstępnym etapie prac projektowych. Metoda może być przydatna do porównania potencjału energetycznego kilku lokalizacji, dokonania wstępnej selekcji typu turbiny wiatrowej lub może być również zastosowana do wyboru wysokości masztu turbiny.

Ad f) Opracowanie metody identyfikacji potencjału energetycznego elektrowni wiatrowej przy zastosowaniu trójparametrowego rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla.

Właściwy dobór konstrukcji turbiny jest możliwy w przypadku znajomości charakterystyki wiatru. Choć bezpośredni pomiar prędkości wiatru jest najdokładniejszą metodą określenia warunków wiatrowych, to często proponowane są także różne metody statystyczne. Jedną z najczęściej używanych modeli jest rozkład Weibulla.

Analizując literaturę można zauważyć, że dwuparametrowy rozkład Weibulla jest najczęściej stosowanym modelem matematycznym do szacowania dostępnej energii wiatru w praktycznych zastosowaniach inżynierskich. Jest on również wykorzystywany do obliczeń energii w programach komercyjnych. Jednak dwuparametrowy rozkład Weibulla może nie być odpowiedni do przeprowadzenia poprawnej analizy rozkładu prędkości wiatru w przypadku małych jego prędkości. Wydaje się, że trójparametrowy rozkład Weibulla, który uwzględnia prawdopodobieństwo występowania ciszy wiatrowej, może w teorii lepiej opisywać zjawiska i służyć do modelowania rozkładu prędkości wiatru z dużym udziałem niewielkich prędkości wiatru. Trudno jednak znaleźć w literaturze odpowiednie porównania, które mogłyby wskazywać lub doradzać, jaki rozkład powinien być stosowany, gdy częstotliwość występowania ciszy wietrznej jest wysoka.

Zaproponowano więc nową metodę identyfikacji potencjału energetycznego wiatru przy zastosowaniu trójparametrowego rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla w przypadku dużego prawdopodobieństwa występowania ciszy wietrznej. Funkcje gęstości prawdopodobieństwa, które otrzymano dla danych pomiarowych prędkości wiatru, zostały przeanalizowane a otrzymane wyniki ze sobą porównano. Początkowo obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu typowego dwuparametrowego rozkładu prędkości wiatru Weibulla [2], [12]. Następnie zastosowano trójparametryczną funkcję prawdopodobieństwa Weibulla [1]. Wszystkie analizy przeprowadzono dla danych otrzymanych ze stacji meteorologicznej, która została zainstalowana w miejscu planowanej inwestycji budowy elektrowni wiatrowej. Do sprawdzenia poprawności obliczeń określono współczynnik determinacji i średnie odchylenie standardowe (błąd standardowy), a następnie

porównano je dla różnych rozkładów Weibulla. Można było zauważyć, że trójparametrowa dystrybucja Weibulla lepiej opisuje dane pomiarowe we wszystkich ocenianych przypadkach w porównaniu do modelu dwuparametrowego. Dokładność modelu nie była oceniana tylko na podstawie współczynnika determinacji i błędu standardowego. Dodatkowo porównano obliczone dostępne moce wiatru dla każdej funkcji Weibulla i zestawiono je z danymi pomiarowymi.

Stwierdzono, że trójparametrowy rozkład Weibulla może dać lepsze rezultaty w przypadku niektórych analiz danych wiatrowych. Dokładniej modeluje rozkład prędkości wiatru niż typowy dwuparametrowy rozkład Weibulla, zwłaszcza w przypadku wiatru o znacznym udziale ciszy wietrznej. Wykazano, że trójparametrowy model powinien być stosowany tam, gdzie częstotliwość występowania wiatrów z prędkością poniżej 2 m/s jest duża.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 5.1. Publikacje naukowe

Habilitant jest samodzielnym autorem 26 prac naukowo-badawczych: 8 artykułów w języku angielskim (w tym 3 artykułów o sumarycznym wskaźniku **Imact Factor 17,855, Impact Factor 5-letnim 19,003**), 3 artykułów w języku polskim, 6 rozdziałów w języku angielskim, 3 rozdziałów w Encyclopedia of Thermal Stresses wydawnictwa Springer, 5 rozdziałów w języku polskim oraz 1 monografię.

Habilitant jest także współautorem 12 prac naukowo-badawczych: 2 artykułów w języku angielskim (w tym 1 artykułu o wskaźniku **Imact Factor 0,667**), 2 rozdziałów w monografiach w języku angielskim, 4 artykułów w języku polskim, 4 rozdziałów w monografiach w języku polskim.

**Szczegółowy spis osiągnięć przedstawiono w Załączniku nr 4 w rozdziale I, punkt B oraz w rozdziale II punkt A i C.**

#### 5.1.1. Statystyka publikacji

Podsumowanie publikacji naukowo-badawczych habilitanta

**Tabela 1.** Wykaz osiągnięć naukowych przed i po okresie doktoratu

	<b>Łącznie</b>	<b>Przed doktoratem</b>	<b>Po doktoracie</b>
<b>Sumaryczna liczba punktów MNiSW</b>	<b>309</b>	<b>46</b>	<b>263</b>
<b>Sumaryczny IF</b>	<b>18.522</b>	<b>0</b>	<b>18.522</b>
<b>Sumaryczny IF-5</b>	<b>19.003</b>	<b>0</b>	<b>19.003</b>
<b>Publikacje ogółem (z listy A i B)</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
<b>Publikacje z listy A MNiSW</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>

○ w tym autorskie	3	0	3
○ w tym współautorskie	1	0	1
<b>Publikacje z listy B MNiSW</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
○ w tym autorskie	7	1	6
○ w tym współautorskie	5	5	0
<b>Publikacje w recenzowanych materiałach z konf. międzynarodowej uwzględnionej w bazie Web of Science/Scopus</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
○ w tym autorskie	1	0	1
○ w tym współautorskie	0	0	0
<b>Monografie / Książki</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
○ w tym autorskie	1	0	1
○ w tym współautorskie	0	0	0
<b>Rozdziały w monografiach w j. angielskim</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
○ w tym autorskie	6	0	6
○ w tym współautorskie	0	0	0
<b>Rozdziały w monografiach w j. polskim</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
○ w tym autorskie	5	0	5
○ w tym współautorskie	0	0	0
<b>Publikacje w materiałach konferencyjnych w j. angielskim</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
○ w tym autorskie	3	0	3
○ w tym współautorskie	2	1	1
<b>Publikacje w materiałach konferencyjnych w j. polskim</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
○ w tym autorskie	0	0	0
○ w tym współautorskie	4	4	0
<b>Projekty badawcze ogółem (kierowane)</b>	<b>22 (3)</b>	<b>2 (0)</b>	<b>20 (3)</b>
<b>Rozprawa doktorska</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

<b>Cytowania publikacji (wg. Bazy Web of Science/Scopus)</b>	<b>42/56</b>	<b>0/0</b>	<b>42/56</b>
<b>Udział w konferencjach</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
○ w tym krajowych	11	5	6
○ w tym międzynarodowych	10	1	9

### Cytowania prac naukowych

a) statystyka cytowań prac wg bazy Publish or Perish (Google Scholar)

Publikacje indeksowane: **44**.

Indeksy cytowań	Po otrzymaniu stopnia doktora
<b>Cytowania</b>	107
<b>h-indeks</b>	6
<b>i10-indeks</b>	4

b) statystyka cytowań prac wg bazy Scopus:

Publikacje indeksowane: **11**.

Indeksy cytowań	Po otrzymaniu stopnia doktora
<b>Cytowania</b>	56
<b>(bez własnych cytowań)</b>	(50)
<b>h-indeks</b>	4

c) statystyka cytowań prac wg bazy Web of Science:

Publikacje indeksowane: **5**.

Indeksy cytowań	Po otrzymaniu stopnia doktora
<b>Cytowania</b>	42
<b>(bez własnych cytowań)</b>	(40)
<b>h-indeks</b>	4

Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS):

**Cytowania wg. WoS: 42 (bez własnych cytowań: 40)**

Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS):

**h-indeks: 4**

Omówienie działalności naukowej przed doktoratem i po doktoracie:

**Okres przed doktoratem**

Przygotowując pracę magisterską zajmowałem się analizą transportu ciepła i rozkładu temperatury na powierzchni przedmiotu obrabianego oraz badaniami strukturalnymi warstwy wierzchniej. Celem pracy było określenie związku między średnią temperaturą warstwy wierzchniej a przemianami strukturalnymi zachodzącymi podczas procesu szlifowania. Zauważono, że do najważniejszych czynników wpływających na zmiany w warstwie wierzchniej w procesie szlifowania należały zjawiska związane z oddziaływaniem cieplnym. Przemiany strukturalne zależały również od pojemność cieplnej materiału, która mogła być modyfikowana przez ilość składników stopowych. Wyznaczono także funkcję opisującą zmianę temperatury w zależności od zmian parametrów obróbki. Decydujący wpływ na przemiany strukturalne miała jednak temperatura, która zależy głównie od głębokości szlifowania. Część z wymienionych prac wykonałem w ramach grantu KBN nr 707519101 „Komputerowe, wspomagane nadzorowanie wybranych cech przedmiotu obrabianego za pomocą sterowanych pól energetycznych” (udział w pracach badawczych i opracowaniu sprawozdania).

Praca doktorska związana była z badaniami przepływowierza cieplnego dla małych wydatków. W pracy zaprezentowano uproszczony model matematyczny przepływowierza. Był on oparty na równaniach różniczkowych parabolicznych warstwy przyściennej dla płynu oraz równaniu energii, typu eliptycznego, dla materiału ścianki rurki. Dodatkowo uwzględniono anizotropowość materiału ścianki rurki przepływowierza rozpatrując różny współczynnik przewodności cieplnej w kierunku promieniowym i osiowym. Nieznany strumień przepływu płynu wyznaczono na podstawie rozwiązania odwrotnego zagadnienia współczynnikowego w konwekcji. Rozważono laminarny przepływ z ustaloną wymianą pędu i ciepła w przepływowierzu, w którym grzejnik elektryczny umieszczono na ścianie zewnętrznej. Na zewnętrznej powierzchni ścianki rurki założono konwekcyjną wymianę ciepła z otoczeniem, natomiast na wewnętrznej powierzchni uwzględniono lokalną równość temperatury i strumienia ciepła pomiędzy płynem a ścianką. Zagadnienie rozwiązano za pomocą technik numerycznych ze względu na nieliniowość równań. Otrzymane wyniki obliczeń zostały porównane z wynikami doświadczalnymi. Badania eksperymentalne wykonano dla dwóch wersji pracy przepływowierza, a mianowicie:

- stałej różnicy temperatur pomiędzy temperaturą tuż za grzejnikiem i temperaturą płynu w przekroju wlotowym (pomiarów dokonano dla zmiennych wartości mocy zasilania grzejnika i przepływu, aby utrzymać niezmienną temperaturę)
- stałej mocy prądu zasilania grzejnika (pomiarów różnicy temperatur dokonano dla różnych wartości strumienia przepływu).

W ramach pracy przeprowadzono badania doświadczalne dla czterech różnych materiałów rurek. Rurki były wykonane ze stali kwasoodpornej (H17) oraz z tworzyw sztucznych o własnościach anizotropowych (Rilsan, PA6, PA6.12). Część doświadczalna umożliwiła weryfikację opracowanego, uproszczonego modelu matematycznego przepływowierza. Zastosowanie zagadnienia odwrotnego pozwalało na rozwiązanie równań i wyznaczenie nieznannej wartości liczby Reynoldsa przy założeniu warunku równości pomiędzy zmierzoną i obliczoną temperaturą w tym samym punkcie na powierzchni rurki.

Aby określić statystyczną niepewność zastosowanej metody, przeprowadzono dodatkowe badanie, w którym powtórzono pomiary dla stałej wartości prądu elektrycznego. Odchylenie standardowe zostało obliczone i porównane z wpływem



niedokładności przyrządów pomiarowych. Obliczenia wykazały, że dokładność pomiaru temperatury i mocy elektrycznej ma największy wpływ na niepewność wyznaczania liczby Reynoldsa i ich oddziaływanie było tego samego rzędu. Uzyskano także wysoki stopień zgodności i powtarzalności między otrzymanymi danymi liczbowymi a odpowiadającymi im wynikami z eksperymentów we wszystkich zakresach pomiarowych.

Na podstawie analizy otrzymanych rezultatów stwierdzono, że opracowany uproszczony model powodował znaczne skrócenie czasu obliczeń w porównaniu do modelu pierwotnego. Ograniczenie przedstawionego modelu jest mniejsza dokładność pomiaru dla liczb Reynoldsa mniejszych od 150. Dodatkowym osiągnięciem pracy było zastosowanie odwrotnego zagadnienia współczynnika do wyznaczania nieznanymi wartości współczynnika przewodności cieplnej materiału ścianki rurki w kierunku promieniowym i osiowym na drodze pomiaru pośredniego. Część prac realizowana była w ramach grantu KBN nr 9 S604 002 05 „Opracowanie metody pomiaru wydatku przepływu realizowanej za pomocą przepływomierzy cieplnych zainstalowanych na przewodach do transportów płynów” (udział w pracach badawczych i opracowaniu sprawozdania) oraz grant KBN nr 8 T10B 028 12 „Opracowanie metody pomiaru pośredniego przewodności cieplnej rurek z tworzyw sztucznych” (jeden z dwóch głównych wykonawców).

### **Okres po doktoracie**

Prace nad doktoratem zostały zakończone w 1997 roku a w lutym 1998 uzyskałem tytuł doktora. W czerwcu 1998 roku rozpocząłem pracę w przemyśle samochodowym i elektromaszynowym, co pozwoliło mi zdobyć nowe doświadczenia. Zajmowałem się między innymi kalkulacją kosztów produkcji i pomiarem wydajności systemów produkcyjnych. Wykonywałem analizy ekonomiczne polegające na określeniu kosztów pośrednich i bezpośrednich, okresu zwrotu inwestycji. Zajmowałem się obliczaniem amortyzacji maszyn, wysokości dochodów i zysków oraz planowaniem produkcji. Podczas 12 letniej pracy w różnych zakładach przemysłowych prowadziłem także prace badawczo-rozwojowe. Zajmowałem się projektowaniem elementów zawieszenia samochodów, proponowaniem nowych rozwiązań konstrukcyjnych produktu, wykonywaniem prototypów i optymalizowaniem produkcji. Opracowałem m. in. nowatorską metodę kontroli szczelności powietrznego górnego mocowania amortyzatora, oraz nową metodę testów wytrzymałościowych amortyzatora.

W 2009 roku rozpocząłem ponownie pracę na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Zajmowałem się analizą procesów przepływowo-cieplnych w maszynach i urządzeniach energetycznych, modelowaniem przepływów i optymalizacją wymienników ciepła ze szczególnym uwzględnieniem kształtu ozebrowania.

Zagadnienia te mogą być rozwiązane na drodze analitycznej, numerycznie lub doświadczalnie. Rozwiązania analityczne przedstawiono w pracy [15]. W wielu przypadkach złożona geometria ozebrowania lub warunki brzegowe wykluczają stosowanie technik analitycznych. Zagadnienia przewodzenia ciepła mogą być wtedy rozwiązane za pomocą metod numerycznych. W pracach [14] i [16] przeanalizowałem metody i przedstawiłem sposób takich obliczeń.

Jednym ze sposobów weryfikacji obliczeń jest porównywanie wyników analizy numerycznej z ich odpowiednikami otrzymanymi po zastosowaniu korelacji. Równania empiryczne, przedstawione w pracach [18], [4], [10] mają jednak ograniczone zastosowanie i nie mogą być na przykład użyte gdy, np. w pracach projektowych w celu optymalizacji wymiennika ciepła, zmodyfikowano geometrię żebra lub dodano elementy na powierzchni żebra. W takich przypadkach ilość wymienianego ciepła, sprawność wymiennika lub spadki ciśnienia mogą być wyznaczone za pomocą metod obliczeniowych wykorzystując komercyjne programy CFD.

Cele prac projektowych mogą być różne np. można rozważyć optymalizację: 1) ciężaru wymiennika dla określonego strumienia przejmowanego ciepła, 2) kształtu ożebrowania dla określonej wymiany ciepła, 3) położenia pojedynczych żeber w celu uformowania kanału przepływu. Jednym z istotnych celów prac projektowych jest optymalizacja wydajności wymiany ciepła, biorąc pod uwagę koszt materiału wymiennika. W pracach [9], [19] zdefiniowano nowy cel optymalizacji polegający na znalezieniu takiego profilu żebra, dla którego stosunek przekazywanego ciepła do masy wymiennika osiągnie wartość maksymalną. Podobne badania przeprowadzono dla chłodnicy samochodowej. Celem pracy było znalezienie optymalnych kształtów żebra (lameli), tak aby osiągnąć wymaganą wydajność cieplną, geometrię, wagę, szybkość wymiany ciepła lub ograniczyć spadek ciśnienia. W pracach [3], [5], [10] i [21] dodatkowo zbadano wpływ modyfikacji nachylenia żaluzji na wymianę ciepła w chłodnicy samochodowej. Co więcej, badania rozszerzono o inne przypadki: wprowadzono na powierzchni żebra element modyfikujący kierunek przepływu (deflektora) i przeanalizowano jego wpływ na wymianę ciepła, zmodyfikowano także grubość żeber. Wszystkie otrzymane rezultaty badań potwierdziły, że własności aerodynamiczne żebra mogą powodować znaczne zróżnicowanie w rozkładzie masy przepływającego płynu i wpływać na transport ciepła.

Zajmowałem się także analizą przepływu turbulentnego. Ze względu na złożoność tego zjawiska, jej ścisła teoretyczna analiza napotyka na trudności. Duży udział w procesie poznawania mają więc metody eksperymentalne. Jednak badania laboratoryjne i pomiary charakterystyk turbulencji są pracochłonne i kosztowne. Pomocne zatem są metody symulacji komputerowej, które powiększają możliwości badań. Zaletą ich jest to, że dzięki elastyczności w geometrycznym definiowaniu modelu, efekt końcowy badania można uzyskać w stosunkowo krótkim czasie i niewielkim nakładem kosztów. Niezbędne jest natomiast uwiarygodnienie wykonanych symulacji przez porównanie otrzymanych wyników z danymi doświadczalnymi. Ponieważ powstające wiry mają negatywny wpływ na parametry pracy turbiny, powodują fluktuacje oraz przyczyniają się do generowania dodatkowych strat, celem pracy było numeryczne oszacowanie wartości prędkości i pola ciśnienia w kanale przepływowym utworzonym przez łopatki turbiny oraz określenie wpływu geometrii powierzchni łopatki na powstawanie wirów i intensywność zawirowań przepływu [5], [8], [20], [23]. Rezultaty obliczeń numerycznych zostały porównane z wynikami otrzymanymi na podstawie badań eksperymentalnych. Analizując rozkład energii kinetycznej turbulencji w przekroju położonym za palisadą łopatek można było stwierdzić, że w przypadku braku obrzeża obszar występowania turbulencji oraz jej wartości były większe. Należy przy tym podkreślić, że metoda numeryczna pozwalała na przeanalizowanie otrzymanych wartości w całym obszarze przepływu, czego nie umożliwiły pomiary doświadczalne.

Prowadziłem także prace związane z wyznaczaniem rozkładu prędkości wiatru i oszacowaniem mocy dostępnej wiatru w energetyce wiatrowej. Celem prac była analiza kosztów budowy elektrowni wiatrowych i określenie okresu zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych w celu wyboru właściwej lokalizacji i oszacowania opłacalności takiego rozwiązania [7], [11], [12]. Właściwy dobór konstrukcji turbiny jest możliwy w przypadku znajomości charakterystyki wiatru. Istnieją różne techniki oceny energii wiatru. Bezpośredni pomiar prędkości wiatru jest najdokładniejszą metodą określenia warunków wiatrowych, ale często proponowane są także różne metody statystyczne. Jedną z najczęściej używanych modeli jest rozkład Weibulla. Ponieważ szczegółowe dane prędkości wiatru nie są jednak zawsze dostępne, opracowałem więc technikę oceny dostępnej energii i oszacowania produkcji energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej w przypadku ograniczonych informacji (np. znana jest tylko średnia prędkość wiatru) i zastosowania metod statystycznych. Analizując literaturę można zauważyć, że dwuparametrowy rozkład Weibulla jest najczęściej i szeroko stosowanym modelem matematycznym do szacowania dostępnej energii wiatru w praktycznych zastosowaniach inżynierskich. Jednak dwuparametrowy rozkład Weibulla może nie być odpowiedni aby przeprowadzić poprawną analizę rozkładu prędkości wiatru w przypadku małych prędkości wiatru [1], [2]. Zaproponowano więc nową metodę analizy i oceny dwu- i trójparametrowego rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla w celu wybrania dokładniejszej metody pozwalającej na ocenę energii wiatru w przypadku dużego prawdopodobieństwa występowania ciszy wietrznej.

#### 5.1.2. Udział w konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych

**Tabela 2.** Konferencje krajowe i międzynarodowe

	<b>Łącznie</b>	<b>Przed doktoratem</b>	<b>Po doktoracie</b>
<b>Udział w konferencjach</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
o w tym krajowych	11	5	6
o w tym międzynarodowych	10	1	9

Habilitant uczestniczył w 21 konferencjach krajowych i zagranicznych. Szczegółowy wykaz konferencji przedstawiono w **Załączniku nr 4 w rozdziale III, punkt B.**

#### 5.2. Kierowanie lub udział w grantach i projektach naukowych i badawczych

##### **Kierowanie projektami naukowymi i badawczymi:**

1. M9/638/DS/2009, *Numeryczne modelowanie przepływu powietrza pomiędzy łopatkami turbiny*, projekt finansowany przez Komitet Badań Naukowych. Okres realizacji: 25.05.2009 – 04.12.2009.

Charakter udziału: kierownik projektu.

2. M9/562/BW/2011, *Modelowanie jednorzędowego wymiennika ciepła i jego optymalizacja*, projekt finansowany przez Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Okres realizacji: 18.11,2011 – 30.11.2011.

Charakter udziału: kierownik projektu.

3. M-9/239/DS/2013, *Wyznaczanie obciążenia cieplnego rur ekranowych*, okres realizacji: 2013, projekt finansowany przez Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Okres realizacji: 14.05.2013 – 09.12.2013.

Charakter udziału: kierownik projektu.

#### **Udział w projektach badawczych:**

1. Projekt badawczy nr SP/E/1/67484/10 *„Opracowanie technologii dla wysokosprawnych zero-emisyjnych bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub> ze spalin”* realizowanego

w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, projekt finansowany przez NCBiR. Okres realizacji: 01.05.2010 – 30.04.2015. W ramach projektu Politechnika Krakowska realizowała trzy duże zadania:

- a. Etap II.6 *„Wysokosprawna eksploatacja dużych kotłów energetycznych z wykorzystaniem systemu określania stopnia zażużlowania i zanieczyszczenia popiołem powierzchni ogrzewalnych kotła w trybie on-line”*.

Charakter udziału: wykonawca.

- b. Etap III.2 *„Nowe systemy nadzoru eksploatacyjnego, ocena ryzyka oraz planowanie gospodarki diagnostyczno-remontowej bloków energetycznych nowych generacji i obecnie użytkowanych oraz instalacji energetycznych”*, zadanie III.2.1 *„Monitorowanie nieustalonych stanów cieplno-wytrzymałościowych ciśnieniowych elementów kotłów”*.

Charakter udziału: wykonawca.

- c. Etap IV.4 *„Analizy optymalizacyjne i badania przygotowujące do wprowadzenia do polskiej energetyki bloku 50+”*, zadanie IV.4.1 *„Poprawa właściwości dynamicznych kotłów parowych pod kątem ich pracy w systemie energetycznym ze znacznym udziałem farm wiatrowych”*.

Charakter udziału: wykonawca.

2. Projekt badawczy strategiczny nr SP/E/4/65786/10 *„Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”* realizowanego w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, projekt finansowany przez NCBiR. Okres realizacji: 01.06.2010 – 31.05.2015. W ramach projektu Politechnika Krakowska realizowała trzy duże zadania:

- a. Etap I. *„Opracowanie kompleksowego projektu wielopaliwowego kotła do współpracy z układem oleju termalnego”*

Charakter udziału: wykonawca.

- b. Etap II. „Zagospodarowanie energetyczne ciepła odpadowego z agregatów prądotwórczych”.

Charakter udziału: wykonawca.

- c. Etap III „Budowa pilotażowego układu poligeneracyjnego w Żychlinie (kocioł wielopaliwowy, silnik spalinowy, układ ORC, układ produkcji chłodu”

Charakter udziału: wykonawca.

3. Projekt badawczy nr PBS1/A4/4/2012 w ramach Programu Badań Stosowanych „Opracowanie nowoczesnych metod oceny trwałości resztkowej elementów ciśnieniowych instalacji energetycznych”, projekt finansowany przez NCBiR. Okres realizacji: 01.11.2012 – 31.10.2015.

Charakter udziału: wykonawca.

4. Projekt badawczy nr N N513 323940 (3239/B/T02/2011/40) „Nowa metoda rozruchu kotła walczakowego”, projekt finansowany przez KBN-NCN. Okres realizacji: 15.04.2011 – 14.04.2014.

Charakter udziału: wykonawca.

5. Projekt badawczy nr NR15 0060-10/2011 (1083/R/T02/2010/10) „Ocena zachowania się i prognoza długotrwałej pracy stali nowych generacji na elementy kotłów eksploatowanych powyżej temperatury granicznej”, projekt finansowany przez KBN. Okres realizacji: 03.03.2011 – 31.10.2013.

Charakter udziału: wykonawca.

6. Projekt badawczy KIC-M9 “Multi-fuel energy generation for Sustainable and Efficient use of Coal (SECoal)”, projekt finansowany przez European Institute of Innovation & Technology, KIC InnoEnergy. Okres realizacji: 01.12.2010 – 31.12.2013.

Charakter udziału: wykonawca.

7. Projekt rozwojowy NR 15 0060 10/2011 „Ocena zachowania się i prognoza długotrwałej pracy stali nowej generacji na elementy kotłów eksploatowanych powyżej temperatury granicznej”, projekt współfinansowany przez NCBiR. Okres realizacji: 2011-2013.

Charakter udziału: wykonawca.

8. Projekt badawczy 2013/11/B/ST8/00340 „Modelowanie matematyczne zjawisk przepływo-ciepłnych oraz analizy wytrzymałościowe wymienników ciepła z rurami ożebrowanymi”, projekt finansowany przez MNiSW. Okres realizacji: 23.07.2014-22.07.2017.

Charakter udziału: wykonawca.

9. Projekt badawczy 3325/B/T02/2010/38 „Dynamika układu: kocioł na biopaliwo - kolektory słoneczne -zasobniki ciepłej wody użytkowej”, projekt finansowany przez NCN. Okres realizacji: 13.04.2010 – 12.04.2013.

Charakter udziału: wykonawca.

10. Projekt badawczy rozwojowy nr NR07-0046-10/2010 (0946/R/T02/2010/10) „Systemy do oceny materiałów konstrukcyjnych urządzeń pracujących w warunkach zmiennych

*obciążeń i w wysokich temperaturach*”, projekt finansowany przez KBN. Okres realizacji: 01.10.2010 - 30.09.2012.

Charakter udziału: wykonawca.

11. Projekt badawczy rozwojowy nr 0540/R/T02/2007/03 *„Nowy sposób nagrzewania i ochładzania elementów ciśnieniowych bloku energetycznego z uwagi na naprężenia cieplne*”, projekt finansowany przez KBN. Okres realizacji: 2007 – 201r.

Charakter udziału: wykonawca.

12. Projekt badawczy zamawiany nr M5/372/PBZ/2007 *Nadkrytyczne bloki węglowe*, projekt finansowany przez MEiN. Okres realizacji: 20.04.2007 – 19.04.2010.

Charakter udziału: wykonawca.

13. Projekt rozwojowy nr 0556/T02/2007/02 (0556/R/2/T02/07/02) z dnia 11.01.2007r. *Monitorowanie zjawisk przeplywowo-cieplnych zachodzacych w parowniku kotla energetycznego z naturalną cyrkulacją*, projekt finansowany przez NCBiR. Okres realizacji: 11.01.2007 – 10.01.2010.

Charakter udziału: wykonawca.

14. Projekt badawczy T10B 028 12 *Opracowanie metody pomiaru pośredniego przewodności cieplnej rurek z tworzyw sztucznych*, projekt finansowany przez KBN. Okres realizacji: 01.01.1997 – 31.12.1999.

Charakter udziału: wykonawca.

15. Projekt badawczy 9 S604 002 05 *Opracowanie metody pomiaru wydatku przepływu realizowanej za pomocą przepływomierzy cieplnych zainstalowanych na przewodach do transportów płynów*, projekt finansowany przez KBN. Okres realizacji: 1993r.- 1996r.

Charakter udziału: wykonawca.

#### **Udział w pracach badawczych i wdrożeniowych realizowanych na zlecenie przemysłu:**

1. Projekt badawczy nr M-9/491/2012 *„The system for monitoring the fouling of the boiler furnace chamber, superheaters, reheaters, and other heating surfaces (FOULING INSPECTOR)*, projekt finansowany przez EDF (Électricité de France). Okres realizacji: 11.09.2012 – 30.12.2013.

Charakter udziału: wykonawca.

2. Praca badawcza nr M9/58/2011, zadanie: *„Przeprowadzenie serii pomiarów na stanowisku badawczym, nadzór nad wykonaniem rowków i otworów pod zamontowanie termopar, nadzór nad częścią metrologiczną projektu*”, praca finansowana i wykonana dla Forsmark Nuclear Power Plant. Okres realizacji: 2012.

Charakter udziału: wykonawca.

3. Praca badawcza nr M9/58/2011, zadanie: *„Opracowanie metody kalibracji termopar przy użyciu pieca kalibracyjnego oraz układu akwizycji danych*”, praca finansowana i wykonana dla Forsmark Nuclear Power Plant. Okres realizacji: 2011.

Charakter udziału: wykonawca.

4. Praca badawcza nr M9/459/2010, zadanie: „Wyznaczenie gęstości strumienia ciepła na powierzchniach prętów paliwowych z elektrowni atomowej Forsmark”, praca finansowana i wykonana dla Forsmark Nuclear Power Plant. Okres realizacji: 2010.

Charakter udziału: wykonawca.

### 5.3. Współpraca krajowa i międzynarodowa

#### **Współpraca z partnerami wchodzącymi w skład konsorcjum realizującymi projekty badawcze:**

1. SP/E/1/67484/10 „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych zero-emisyjnych bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub> ze spalin”:  
Politechnika Wrocławska, Politechnika Częstochowska, Politechnika Krakowska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Południowy Koncern Energetyczny S.A., RAFAKO S.A., Akademia Górniczo-Hutnicza, EUROL Innovative Technology Solutions Sp. z o.o. i Politechnika Śląska (lider).
2. SP/E/4/65786/10 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”  
Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk (lider), Energa SA, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, Instytut Energetyki, Politechnika Gdańska, Politechnika Krakowska, Politechnika Śląska w Gliwicach, SYNGAZ sp. z o.o., Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
3. KIC-M9 “Multi-fuel energy generation for Sustainable and Efficient use of Coal (SECoal)”:  
EDF Polska, Institute of Combustion and Power Plant Technology (IFK), University of Stuttgart - Germany, Bay Zoltán Foundation for Applied Research – Hungary, Częstochowa University of Technology – Poland, Innowacyjne Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Polin Sp. z o.o. – Poland, Institute of Chemical Engineering - Polish Academy of Sciences, Jagiellonian University – Poland, Krakow University of Technology – Poland, Silesian University of Technology - Poland (lider), Wrocław University of Technology – Poland, KTH Royal Institute of Technology – Sweden.
4. M9/58/2011:  
praca badawcza i współpraca z Forsmark Nuclear Power Plant
5. Współpraca z międzynarodowymi firmami i organizacjami w ramach pracy zawodowej w korporacjach międzynarodowych: realizacja wspólnych projektów dla przemysłu samochodowego i elektromaszynowego (FIAT, GM, VOLVO, FORD, AlfaLaval).
6. Współpraca z jednostkami organizacyjnymi Komisji Europejskiej w ramach pracy w Agencji Wykonawczej ds. Małych i Średnich Przedsiębiorstw Komisji Europejskiej (Dyrekcje Generalne ds. klimatu, energii, badań, środowiska) oraz konsorcjami realizującymi projekty.

### 5.4. Nagrody i odznaczenia

1. **Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej, zespołowa**, za osiągnięcia naukowe, 2015r.
  2. **Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej, zespołowa I stopnia**, za osiągnięcia naukowe, 2012r.
6. Staże/praca w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich, doświadczenie zdobyte w Polsce i za granicą:
1. Delphi - Centrum Techniczne, Kraków, praca w latach 2002 – 2008 na stanowisku Inżynier produktu / Ekspert ds. metod / Samodzielny Inżynier ds. Walidacji.
  2. Delphi, Portugalia, praca w latach 2002 – 2004, rozwój nowych konstrukcji elementów zawieszania samochodów, jednostka delegująca: Delphi Centrum Techniczne Kraków.
  3. Fiat Italia, Technologie Centralne, Dyrekcja Produkcji, Turyn, praca w latach 1998 – 2002 na stanowisku ekspert ds. metod.
7. Omówienie osiągnięć organizacyjnych i dydaktycznych

#### 7.1. Osiągnięcia organizacyjne

Podczas pracy w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych pełniłem funkcję Zastępcy Dyrektora ds. Dydaktycznych (w latach 2012-2016) i uczestniczyłem w pracach Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia i Komisji Dydaktycznej. Zajmowałem się między innymi organizacją i planowaniem zajęć dydaktycznych, opracowaniem i aktualizacją programów kształcenia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

Sprawowałem opiekę naukową nad studentami międzynarodowego programu dydaktycznego ERASMUS realizującymi naukę w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych.

Angażowałem się w działalność organizacyjną na rzecz instytutu i wydziału. Uczestniczyłem m. in. w promocji Wydziału na spotkaniach w szkołach średnich, w przygotowaniu dokumentacji niezbędnej do uzyskania przez laboratorium PK akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji, zajmowałem się delegacjami przebywającymi na Politechnice Krakowskiej łącznie z przygotowaniem prezentacji Wydziału, uczestniczyłem w organizacji współpracy naukowo-badawczej z ośrodkiem University of Calgary w Kanadzie, tłumaczyłem materiały dydaktyczne, współprzygotowywałem konferencje, przygotowywałem granty i dane niezbędne do wypełnienia ankiety jednostki.

#### 7.2. Osiągnięcia dydaktyczne

Byłem promotorem 42 prac inżynierskich i 39 prac magisterskich realizowanych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej, w tym pracy nagrodzonej przez jednostkę zewnętrzną (konkurs Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego - III nagroda w kategorii prac magisterskich) oraz recenzentem 28 prac inżynierskich i 25 prac magisterskich.

Byłem także promotorem pomocniczym pracy doktorskiej zrealizowanej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.



Przygotowałem i zrealizowałem autorski program zajęć z następujących, wprowadzonych po raz pierwszy do programu studiów, przedmiotów:

- w języku angielskim w latach 2011-2015: Heat Transfer, Hydraulic and wind turbines, Renewable Energy Sources, Power turbines, Power Engineering Machinery, opiekowałem się studentami z innych europejskich uczelni studiujących w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych (w ramach programu dydaktycznego ERASMUS) i byłem promotorem prac dyplomowych napisanych w języku angielskim,

- w języku polskim, na studiach magisterskich stacjonarnych i niestacjonarnych (wykłady, ćwiczenia, zajęcia projektowe): Modelowanie CFD; Energetyka wodna i wiatrowa; Systemy i koszty energii w przedsiębiorstwie; Komputerowe modelowanie systemów energetycznych; Fizyczne podstawy energetyki wiatrowej i wodnej; Gospodarka energetyczno-ciepłna; Pompy, wentylatory i sprężarki; Turbiny wodne i wiatrowe, Szkolenia wewnętrzne z nowoczesnych technik organizacji produkcji (Analiza pracy i metody pomiaru czasu pracy, Standarization and Analiza pracy i metody pomiaru czasu pracy, Standaryzacja i optymalizacja miejsca pracy, "Lean Manufacturing", Metody statystyczne w kwalifikowaniu środków pomiarowych, Kreatywność a rozwój produktu - redukcja kosztów projektowania i produkcji), Automatyka i sterowanie w energetyce

- „Komputerowe modelowanie systemów energetycznych” na Międzywydziałowym kierunku Energetyka w ramach programu „Inżynier energetyk nowoczesny zawód dla gospodarki opartej na wiedzy” współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,

- „Zaawansowane techniki wytwarzania”, dla studentów z Uniwersytetu w Monterrey w Meksyku w ramach warsztatów letnich.

Prowadziłem także wykłady i ćwiczenia z następujących przedmiotów: Termodynamika przemian energetycznych i wymiany ciepła (wykłady, ćwiczenia), Wymienniki ciepła (wykłady, projekt), Wymiana ciepła (wykłady, ćwiczenia), Energetyka gazowa (wykłady, ćwiczenia).

## 8. Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

Wykonałem analizy i oceny realizacji projektów badawczych, innowacyjnych oraz działań koordynacyjnych i wspierających dla Agencji Wykonawczej ds. Małych i Średnich Przedsiębiorstw Komisji Europejskiej (EASME), Wydział Energii:

- 2016: 8 projektów

- 2017: 12 projektów

- 2018 12 projektów

## 9. Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

Dane dotyczące mojej aktywności jako recenzenta przedstawiłem poniżej:

### a. Renewable Energy.

Liczba zrecenzowanych artykułów: 16

Okres 2017-2018



b. Applied Energy.

Liczba zrecenzowanych artykułów: 4

Okres 2017-2018



c. Experimental Thermal and Fluid Science.

Liczba zrecenzowanych artykułów: 2

Okres 2017-2018



Piotr Wais

Podpis Wnioskodawcy