

AUTOREFERAT
Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany
ciepła i ich eksperymentalna weryfikacja.

Dr inż. Artur Cebula

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Krakowska
Al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków

1. Imię i nazwisko: **Artur Cebula**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej
 - 2004 stopień naukowy **doktora nauk technicznych**, z dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn uzyskany na Politechnice Krakowskiej, Wydział Mechaniczny, Tytuł rozprawy doktorskiej: **Teoretyczne i doświadczalne badania lokalnej wymiany ciepła na powierzchniach rur omywanych poprzecznie** (promotor Dr hab. inż. Bohdan Węglowski, prof. PK),
 - 1999 tytuł **magistra inżyniera** z dyscypliny naukowej Mechanika i Budowa Maszyn **w zakresie specjalności Systemy i Urządzenia Energetyki Ciepłej**, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Program do obliczeń rurociągów energetycznych (promotor Dr hab. inż. Stanisław Łopata, prof. PK).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

od 2004 – obecnie -Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Krakowskiej, adiunkt

od 2003 do 2004 -Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Krakowskiej, asystent

od 2009 do 2011 -Instytut Lotnictwa – EDC Warsaw, Energetyka, dział Turbiny Parowe, samodzielny inżynier projektant,

od 2013 do 2015 -Instytut Lotnictwa – Lotnictwo, komórka Wymiana Ciepła w dziale Komory Spalania Turbin gazowych, samodzielny inżynier projektant,

4. Wskazanie głównego osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 , poz 595 ze zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Rozwiązania wybranych odwrotnych zagadnień wymiany ciepła i ich eksperymentalna weryfikacja

4.2. Osiągnięcia naukowe – złożone z jednotematycznego cyklu publikacji naukowych, patentu oraz oryginalnego osiągnięcia technicznego:

a) Monografia

[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

b) Artykuły w czasopiśmie z listy A MNiSW, indeksowane w Journal Citation Reports (lista filadelfijska)

[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
Punktacja MNiSW: 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, Iss. 1, 168-169
Punktacja MNiSW: 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,
Punktacja MNiSW: 15 pkt (IF= 0,472; IF-5=0,952)

c) **Artykuły w czasopismach z listy B MNiSW**

- [5] **Cebula, Artur**, 2015 Experimental and numerical investigation of thermal flow meter
Archives of Thermodynamics, 36, No. 3, 149-160
Punktacja MNiSW: 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, Iss. 3, 157-173.
Punktacja MNiSW: 7 pkt

d) **Referaty z konferencji ujęte w Web of Science**

- [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
Punktacja MNiSW: 15 pkt (Indeksowane w Bazie 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, Volume 2: Plant Systems, Construction, Structures and Components; Next Generation Reactors and Advanced Reactors, ICONE21-16253, pp. V002T03A044; 1-7
Punktacja MNiSW: 15 pkt (Indeksowane w Bazie Web of Science)
- [9] Jaremkiwicz M., **Cebula A.**, 2017: Determination of transient temperature fields in thick-walled elements using the inverse method, E3S Web of Conferences, Vol. 13, 6 s.
Punktacja MNiSW: 15 pkt (Indeksowane w Bazie Web of Science)

e) **Rozdziały w książkach zagranicznych**

- [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
Punktacja MNiSW: 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
Punktacja MNiSW: 5 pkt (rozdział w książce w jęz. angielskim)

f) **Projekty naukowo - badawcze**

- [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 na powierzchni 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**

4.3. Omówienie prac wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego:

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

- Monografię habilitacyjną
- 3 artykuły w czasopismach z listy A MNiSW, tj., 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 zagranicznej
- 5 projektów naukowo – badawczych

Główne osiągnięcie naukowe obejmuje następujące grupy tematyczne:

- a) opracowanie metody do 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 metodę 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

Monografia habilitacyjna jest rozszerzeniem i podsumowaniem najważniejszych publikacji habilitanta. Omówiono w niej szczegółowo zastosowane metody odwrotne, przedstawiono wyniki obliczeń oraz zaprezentowano część eksperymentalną.

Wstęp

Prowadzone przeze mnie prace dotyczyły rozwijania metod wyznaczania współczynnika wnikania ciepła i/lub gęstości strumienia ciepła na powierzchniach omywanych z zewnątrz strumieniem gazu. Wyniki prac związane z tym tematem zostały pokazane w pracy [10], która jest efektem realizowanego przeze mnie projektu [12]. Projekt ten jest kontynuacją i rozwinięciem tematu, nad którym pracowałem podczas realizacji doktoratu. Doświadczenia zdobyte w doktoracie oraz przy realizacji projektu [12] pozwoliły mi na rozwinięcie umiejętności i zgłębienie tematu metod odwrotnych oraz ich eksperymentalnej walidacji. Będąc kierownikiem projektów [13-14] zostałem współautorem metody wyznaczania poszukiwanej wartości gęstości strumienia ciepła oraz zaprojektowałem i nadzorowałem wykonanie miernika gęstości strumienia ciepła tak jak przedstawiłem to w punktach a) - c). Zastosowanie metody odwrotnej przeprowadziłem także w projekcie [15], w którym analizowany był przepływomierz termiczny. Praca polegała na pomiarze temperatury ścianki zewnętrznej przewodu o przekroju cylindrycznym. Na powierzchni zewnętrznej przewodu znajdowała się grzałka, przez co znana była wartość zadawanego strumienia ciepła. Na podstawie pomiaru różnicy temperatury ścianki przed i za grzałką określany był masowy przepływ cieczy płynącej przez przewód. Tego typu przepływomierze są stosowane do pomiaru przepływu gazu. Celem pracy było określenie możliwości zastosowania tego typu konstrukcji do pomiaru małych strumieni przepływającej cieczy w zakresie przepływu laminarnego. Rezultaty obliczeń i pomiarów zostały przedstawione w pracach [4-5]. Zakres prac obejmował analizy obliczeniowe (w pierwszej kolejności został zbudowany model analityczny przepływomierza a następnie model numeryczny). Na podstawie obliczeń zaprojektowano stanowisko testowe, na którym przeprowadzono prace eksperymentalne i zwalidowano modele obliczeniowe.

Ad a) Jestem współautorem metody pozwalającej na wyznaczenie poszukiwanej wartości gęstości strumienia ciepła lub współczynnika wnikania na powierzchni ciała stałego poprzez pomiar przebiegu temperatury wewnątrz ciała stałego w kilku dyskretnych punktach [1-3, 6-8,13]. Opracowaną metodę zastosowano do elementu cylindrycznego. Pozwala ona wyznaczenie gęstości strumienia ciepła na powierzchni ciała stałego omywanego strumieniem płynu o szybkozmiennej temperaturze, jak ma to miejsce w prętach kontrolnych reaktorów atomowych. Czynnik chłodny omywa pręt wzdłuż osi pręta a czynnik gorący kierowany jest przez dysze i uderza w powierzchnie pręta w kierunku normalnym [1,7,8]. Zatem występuje przepływ krzyżowo prądowy wokół elementu cylindrycznego, jakim jest pręt kontrolny.

Założono, że pomiar od strony powierzchni omywanej nie jest możliwy. Należy wobec tego zastosować pomiar w wewnętrznych punktach elementu. Przy tak zdefiniowanych założeniach [1,13] do realizacji zadania została zastosowana metoda polegająca na rozwiązaniu odwrotnego problemu przewodzenia ciepła. Domena obliczeniowa została podzielona na dwa obszary bezpośredni oraz odwrotny, a cały obszar został zdyskretyzowany na objętości kontrolne zgodnie z metodą objętości kontrolnych [1,9,10,11]. W obszarze bezpośrednim zakłada się, że poprzez pomiar temperatury znany jest warunek brzegowy pierwszego rodzaju na obu powierzchniach ograniczających ten obszar. Poprzez rozwiązanie równań bilansu ciepła zapisanych zgodnie z metodą objętości kontrolnych otrzymuje się rozkład temperatury w całym obszarze bezpośrednim w danym kroku czasowym. Wylicza się również rozkład gęstości strumienia ciepła na powierzchni rozgraniczającej obszar bezpośredni od odwrotnego. Na tym brzegu znany jest zatem warunek brzegowy pierwszego i drugiego rodzaju. Na powierzchni zewnętrznej, która jest drugim brzegiem obszaru odwrotnego, warunek brzegowy nie jest znany, poszukiwana jest wartość gęstości strumienia ciepła. W opracowanej metodzie oblicza się temperatury w węzłach objętości kontrolnych obszaru odwrotnego, krocząc od powierzchni na której zaznane są dwa warunki brzegowe w kierunku powierzchni zewnętrznej. Poprzez zastosowanie metody kroczącej wyznacza się pole temperatury w całym obszarze odwrotnym na danym kroku czasowym a następnie wartości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej [1,3,6-11].

Opracowana metoda należy do grupy metod odwrotnych, które to metody są czułe na błędy pomiaru temperatury. W celu zapewnienia stabilności rozwiązania zagadnienia odwrotnego w algorytmie obliczeniowym wprowadzono filtrację danych pomiarowych. Wpływ przypadkowych błędów pomiarowych jest zminimalizowany na etapie modelu obliczeniowego, gdzie zastosowano filtrację cyfrową (wygładzanie danych pomiarowych). Wygładzanie przeprowadzono za pomocą ortogonalnych wielomianów Grama. Przebiegi temperatury oraz ich pochodne poddano filtracji filtrem 9-punktowym [1,3]. Metodę poddano weryfikacji poprzez test obliczeniowy. Test dotyczył porównania wyników metody z wynikami obliczeń CFD. Obliczenia CFD dotyczyły przypadku pręta kontrolnego zainstalowanego w Elektrowni Atomowej Forsmark. Pręt ten jest omywany wodą chłodną natomiast w przeciwnym kierunku omywany jest strugą gorącej wody. Temperatura czynnika jest silnie zmienna w czasie i występują fluktuacje wartości temperatury. Wygenerowano z modelu CFD przebiegi

temperatury w kilkunastu wybranych punktach wewnętrznych. Następnie zadano je jako parametry wejściowe do opracowanego modelu własnego. Przedstawiono porównanie wyników, które udowodniło zdolność metody do odtworzenia szybkich zmian gęstości strumienia ciepła i temperatury powierzchni [1,3,6,7].

Opracowana metoda pozwala odtworzyć zmienne w czasie warunki panujące na powierzchni zewnętrznej. Opracowana metoda jest prosta w zapisie i implementacji. Do zalet metody można zaliczyć dużą dokładność i krótki czas uzyskiwania poszukiwanych wartości. Metoda może zostać użyta do elementów o prostych jak i skomplikowanych kształtach np. rurociągi, zawory, części kotłów energetycznych i innych.

Ad b) Opracowano metodę do wyznaczania strumienia ciepła na powierzchni cylindrycznej. Po potwierdzeniu poprawności otrzymanych wyników, poprzez weryfikację testami obliczeniowymi [1,3], przystąpiono do projektowania i wytworzenia instrumentu pomiarowego. Instrument pomiarowy umożliwia weryfikację eksperymentalną opracowanej metody oraz sprawdzenie jej praktycznej efektywności. Mierzone są przebiegi temperatury wewnątrz elementu wycinka rury w kilku wyznaczonych punktach i na tej podstawie gęstość strumienia ciepła omywanej powierzchni jest wyznaczana zgodnie z procedurą przedstawioną w punkcie a) oraz [1,3,6-8]. Algorytm obliczeniowy zapisany w programie komputerowym razem z wytworzonym elementem pomiarowym tworzą gotowe i kompletne urządzenie pomiarowe. Konstrukcja miernika składa się z metalowej płytki będącej wycinkiem rury o kącie 90° . Grubość płytki cylindrycznej wynosi 10 mm, promień wewnętrzny i zewnętrzny wynoszą odpowiednio 60,0 mm i 70,0 mm. Materiał z którego wykonano element to stal nierdzewna (X2CrNi18-9) o znanych własnościach. W płytce zamontowano 28 termopar na dwóch poziomach pomiarowych. Wyzwaniem konstrukcyjnym, jakie pojawiło się przy projektowaniu i konstruowaniu elementu pomiarowego, było rozmieszczenie i zamontowanie termopar na poziomach pomiarowych. Problemy jakie wystąpiły to mała średnica termopar (0,5 mm) oraz dokładne ich umiejscowienie, które miało odpowiadać zaprojektowanym położeniom węzłów w siatce obliczeniowej elementu. Siatka obliczeniowa została narzucona na przekrój pomiarowy zgodnie z metodą objętości kontrolnych. Nawet niewielkie przemieszczenia termopar względem zaprojektowanych lokalizacji (węzłów siatki) powoduje znaczące błędy w wyznaczaniu gęstości strumienia ciepła [1,3]. Wysiłek projektowy został skierowany na doprowadzenie termopar możliwie blisko omywanej powierzchni, tak aby możliwe było odtworzenie szybkich zmian na powierzchni zewnętrznej. Odległość tą przyjęto równe 0,5 mm.

Opracowane zostały dwie konstrukcje miernika różniące się między sobą sposobem instalacji termopar [14]. W przypadku pierwszej konstrukcji termopary umieszczono w rowkach a następnie przykryto je klejem cermetalowym. W drugiej konstrukcji drążono otwory od powierzchni wewnętrznej, tak aby spoina pomiarowa znalazła się 0,5 mm pod powierzchnią zewnętrzną. W obu konstrukcjach rowki i otwory zostały wykonane z dużą dokładnością z użyciem maszyny elektroerozyjnej. W przypadku pierwszej konstrukcji spoina pomiarowa znajduje się dokładnie w projektowanej lokalizacji, jednakże płaszcz termopary został poprowadzony w rowku wydłuż osi elementu pomiarowego. Takie rozwiązanie nie jest zgodne z praktyką pomiarową ponieważ przewody/płaszcz termopary powinien być poprowadzony w miarę możliwości wzdłuż izoterm. Zewnętrzna powierzchnia elementu pomiarowego nie jest idealnie gładka gdyż znajdują się na niej rowki z termoparami wypełnione spoiną którą tworzy klei. W drugim rozwiązaniu termopary są ułożone w otworach zgodnych z izotermami a powierzchnia zewnętrzna jest idealnie gładka. Natomiast nie można stwierdzić gdzie dokładnie znajduje się spoina pomiarowa. Można to stwierdzić po pomiarze długości przewodu termopary zanurzonego w otworze. Weryfikacja położenia końcówki termopar w płytce według konstrukcji drugiej nastąpiła przez pomiar ich położenia względem powierzchni zewnętrznej za pomocą tomografu komputerowego. Lokalizacja spoin termopar okazała się bardzo dokładna, średnio kwadratowy błąd położenia wyniósł 0,04mm. Szczegółowy opis konstrukcji instrumentu pomiarowego oraz opis weryfikacji położenia termopar zamieszczono w pracy [1].

Opis zbudowanego stanowiska do weryfikacji i pomiarów gęstości strumienia ciepła z użyciem instrumentu pomiarowego pokazano w pracach [1,3,5-9]. Opracowany element pomiarowy został zamontowany na stanowisku badawczym. Stanowisko skonstruowano w taki sposób, aby można było zadawać uderzenia gorącej strugi powietrza i tym samym chłodzić i nagrzewać element pomiarowy z różną częstotliwością. Testy przeprowadzono w celu weryfikacji poprawności działania elementu pomiarowego. Prace eksperymentalne potwierdziły zdolność instrumentu do przeprowadzania pomiarów w przypadku nagłego ochładzania i ogrzewania elementu w warunkach opływu krzyżowo prądowego. Należy nadmienić, iż opracowany instrument pomiarowy uwzględnia przepływ ciepła w kierunku promieniowym i obwodowym. Wyznaczony błąd procentowy pomiaru gęstości strumienia ciepła wyniósł 8,8 %. Za pomocą instrumentu można

wyznaczyć również wartość średnią i lokalną współczynnika wnikania ciepła. Nie posiada ograniczeń takich jak np. mierniki kalorymetryczne gdzie długość mierzonego impulsu ciepła musi być krótka.

Ad c)

Miernik gęstości strumienia ciepła poprzez pomiar przebiegu temperatury w jego wnętrzu odtwarza gęstość strumienia ciepła na jego powierzchni. Jest to możliwe poprzez rozwiązanie odwrotnego problemu przewodzenia ciepła. W przedstawionych pracach wymienionych w punktach a) i b) lokalizacja termopar odpowiada położeniu węzłów siatki obliczeniowej. W pracach tych posłużyłem się metodą objętości kontrolnych. Przeprowadzona weryfikacja położenia termopar za pomocą tomografii komputerowej potwierdziła poprawne zamontowanie termopar wewnątrz miernika. Jednakże w przypadku gdy wystąpiłyby rozbieżności w lokalizacji termopar względem węzłów metoda objętości kontrolnych(MOK) nie umożliwia korekty położenia węzła, gdyż węzły znajdują się dokładnie w środku objętości. Dlatego w pracy [1,2] przedstawiłem rozwiązanie tego problemu. Metoda objętości kontrolnych została zastąpiona przez bilansową metodę elementów skończonych(BMES). Metoda BMES jest bardziej skomplikowana niż MOK, jednakże posiada nad nią przewagę, ponieważ umożliwia modyfikację położenia węzłów siatki. W przypadku pojawienia się różnic w położeniu termopar względem zaprojektowanych lokalizacji, metoda umożliwia korektę położenia węzła, czego nie można zrobić w metodzie MOK.

W metodzie z użyciem BMES obszar domeny podzielony został na czworokątne elementy skończone. Następnie wyznaczono środki ciężkości elementów czworokątnych, które łączy się ze środkami przeciwległych boków. Utworzony został wokół każdego węzła siatki obszar kontrolny, zwany również objętością skończoną. Dla każdej objętości skończonej zapisuje się równania bilansu ciepła. Dyskretyzację przeprowadzono zarówno dla obszaru bezpośredniego jak i odwrotnego co zostało pokazane w pracach [1,2]. Następnie przeprowadzono szereg obliczeń testowych aby pokazać wpływ parametrów na dokładność metody z użyciem BMES. Wyniki były porównywane dla dwóch siatek siatki regularnej oraz siatki zaburzonej. Siatkę zaburzono w planowanych miejscach lokalizacji termopar poprzez przesunięcie węzłów w tych miejscach losowo w kierunku promieniowym o $\Delta r=0,15$ mm i/lub w kierunku obwodowym o $\Delta\varphi=0,83^\circ$. Przeanalizowany został wpływ kroku czasowego Δt na wynik, krok był zmieniany w zakresie od 0,05 s do 1,0 s.

Dane wejściowe (przebiegi temperatury w węzłach na brzegach obszaru bezpośredniego) zostały zakłócone poprzez dodanie normalnych błędów losowych rozkładu Gaussa $f(er,\sigma)$ z odchyleniem standardowym σ zmieniającym się w zakresie od 0,05 do 1. Dane są następnie filtrowane przy użyciu filtra 9- lub 11-punktowego. Podobne podejście zastosowano w metodzie odwrotnej opartej na MOK, gdy dane zostały wygładzone przy użyciu 9-punktowego filtra w celu zmniejszenia czułości metody na losowe błędy pomiarowe. Wygładzone dane są wprowadzane do metody odwrotnej. Z rozwiązania problemu odwrotnego otrzymuje się poszukiwany przebieg temperatury na powierzchni zewnętrznej oraz gęstość strumienia ciepła. Następnie dokonano porównania temperatury otrzymanej z metody odwrotnej z wartościami temperatury z rozwiązania bezpośredniego. Obliczony średni błąd kwadratowy (ŚBK) umożliwił ocenę czy metoda odwrotna oparta jest na BMES może działać poprawnie z zaburzonymi danymi wejściowymi i założonym krokiem czasowym. Maksymalne wartości ŚBK otrzymano dla zniekształconej siatki w porównaniu do regularnej, różnice są jednak niewielkie. Uzyskane średnie i maksymalne wartości ŚBK są niższe dla filtra 11-punktowego niż 9-punktowego.

Aby sprawdzić poprawność metody przeprowadzono dodatkowe testy z użyciem danych eksperymentalnych. Dane eksperymentalne zostały użyte do obliczenia temperatury i gęstości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej elementu cylindrycznego z użyciem dwóch wersji programu. W pierwszej wersji rozwiązywany jest problem odwrotny w którym użyto sprawdzonej poprzednio metody MOK, a w drugiej wersji wykorzystano metodę BMES. Otrzymane wyniki porównano i obliczono błędy względem metody opartej o MOK.

Pomiary przeprowadzono na stanowisku badawczym, gdzie cylindryczny element pomiarowy był okresowo podgrzewany i chłodzony strumieniem powietrza. Powietrze o temperaturze 300°C było kierowane przez dysze normalnie do powierzchni zewnętrznej instrumentu pomiarowego przez okres czasu równy 30 s, następnie przeprowadzono chłodzenie strugą powietrza o temperaturze 50°C przez kolejne 30s. Proces ten był powtarzany trzykrotnie. Zebrane pomiary (przebiegi temperatur w punktach gdzie zamontowano termopary) posłużyły do wyznaczenia poszukiwanych wartości. Osiągnięto porównywalne wyniki dla obu metod przy siatce regularnej. Średni bezwzględny błąd procentowy wyznaczonej temperatury oraz gęstość strumienia ciepła dla reprezentatywnego węzła znajdującego się na powierzchni zewnętrznej wyniósł odpowiednio 0,26%, 6,51%. Obszerne i szczegółowe obliczenia testowe metody zostały pokazane w pracy [1,2].

Metodę BMES zastosowałem do rozwiązania odwrotnego problemu przewodzenia ciepła. Zapewnia zadowalającą zgodność wyznaczenia rozkładu temperatury i gęstości strumienia ciepła z zweryfikowaną metodą opartą na MOK. Ponadto metoda sprawdziła się zarówno dla siatki regularnej jak i zniekształconej. Metoda z powodzeniem nadaje się

do zastosowania w opracowanym mierniku strumienia ciepłego. Jest ona bardziej skomplikowana niż metoda MOK jednak pozwala na podniesienie dokładności instrumentu pomiarowego w przypadku stwierdzenia dyslokacji zamontowanych termopar, które mogą wystąpić np. przy montażu instrumentu pomiarowego.

Ad d)

W pracach [1,4,5] oraz w projekcie [15] przedstawiałem zastosowanie metody odwrotnej do określenia strumienia masy przepływającej cieczy w kanale cylindrycznym na podstawie pomiarów wykonanych na zewnętrznej powierzchni kanału. Przeprowadzono badania na skonstruowanym termicznym przepływomierzu do pomiaru niskiego natężenia przepływu cieczy. W przeprowadzonym eksperymencie strumień ciepła jest zadawany na zewnętrznej powierzchni przewodu/rurki cienkościennej, a temperatury są mierzone na zewnętrznej powierzchni przewodu za i przed grzałką. Woda przepływa przez przewód, a jej strumień masy określa się na podstawie różnicy temperatury ścianki kanału. Oprócz prac eksperymentalnych prezentowane są również wyniki obliczeń modelem analitycznym i numerycznym. W części doświadczalnej zmierzono temperaturę ścianki kanału i opracowano zależność masowego natężenia przepływu od różnicy temperatury powierzchni kanału $\dot{m} = f(\Delta T)$.

Przepływomierze termiczne znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, takich jak motoryzacyjny, chemiczny, medyczny, lotniczy i inne. Są one również używane do takich mediów, jak ciekłe metale i szkło [1]. Przepływomierze termiczne są często stosowane w przypadku przepływu cieczy o małym strumieniu objętościowym. Istnieją przepływomierze mierzące asymetrię profilu temperatury wokół ogrzewanego ciała oraz grupa przepływomierzy mierzących czas przejścia podgrzewanego impulsu na znaną odległość. Większość przepływomierzy termicznych służy do pomiaru i sterowania przepływem gazu. Wiele badań przeprowadzono w przypadku przepływu gazów natomiast mało jest prac związanych z cieczami. Analizowany przepływomierz należy do przepływomierzy kalorymetrycznych. Zasada działania analizowanego przepływomierza opiera się na wymianie ciepła między ścianą rury a płynącą cieczą, mierzona jest różnicą temperatur między dwoma punktami wzdłuż rury. Celem było zbadanie możliwości zastosowania przepływomierza termicznego do pomiaru przepływu cieczy dla małych wartości strumienia objętościowego $<0,01$ l/s. Masowe natężenie przepływu nie jest mierzone bezpośrednio, lecz jest określane na podstawie pomiarów temperatury ściany kanału, a wartość strumienia ciepła jest ustawiana na zewnętrznej powierzchni kanału. W pierwszej kolejności przedstawiono model analityczny, który służy do obliczania rozkładu temperatury wzdłuż ogrzewanej części kanału oraz części nieogrzewanej. Przedstawiono model numeryczny i porównano wyniki uzyskane za pomocą rozwiązania analitycznego z wynikami symulacji numerycznych. Następnie przeprowadzono badania eksperymentalne i pokazano zależność strumienia masy cieczy od różnicy temperatur na zewnętrznej powierzchni rury. Dodatkowo przedstawiono walidację modelu numerycznego za pomocą danych pomiarowych.

W modelu analitycznym rozpatrywany jest cylindryczny kanał o średnicy wewnętrznej d_{in} w przypadku gdy równomierny wartość strumień ciepła q jest zadana na części kanału o długości l . Ścianka poza obszarem o długości l (gdzie zadany jest strumień q) są adiabatyczne. Przyjmuje się, że ścianka kanału ma bardzo małą grubość i jest wykonana z materiału o wysokiej przewodności cieplnej. Dlatego pomija się spadek temperatury po grubości ścianki kanału. Założenia te umożliwiają wykorzystanie modelu analitycznego do określenia temperatury ścianki kanału. Rozpatrywany jest wymuszony przepływ laminarny o w pełni rozwiniętym profilu prędkości. Ciecz przepływa w kierunku osiowym wzdłuż osi kanału z masowym natężeniem przepływu \dot{m} . Temperatura ścianki jest wyliczana modelem analitycznym dla obszaru gdzie zadawana jest gęstość strumienia ciepła oraz w obszarze adiabatycznym. W modelu analitycznym został wykorzystany wzór Siegela oraz zasada superpozycji, co zostało szczegółowo pokazane w [1,4,5]. Wyniki przedstawiono dla liczby Re od 180 do 900.

Zbudowany został także model numeryczny, który posłużył do wstępnego zaprojektowania przepływomierza termicznego. Model numeryczny umożliwia obliczenie temperatury ściany przewodu cylindrycznego, obciążonego strumieniem ciepła q na części swojej długości l . Domena obliczeniowa jest osiowo symetryczną geometrią 2D. Domena reprezentuje prosty kanał o długości równej $20 \cdot d_{in}$ i $5 \cdot d_{in}$ odpowiednio przed i za ogrzewaną część przewodu o długości l . Siatka numerycznego modelu CFD jest regularna, zbudowana z elementów czworobocznych zagęszczonych w kierunku ścianki, ilość elementów wynosi $\sim 10^5$. Zadano przepływ płynu laminarny, własności płynu oraz warunki brzegowe przyjęto takie same jak w modelu analitycznym. Otrzymano bardzo dobrą zgodność wyników obliczeń za pomocą obu metod. Model numeryczny posłużył do określenia lokalizacji termopar na powierzchni przewodu przed i za grzałką. Do celów badawczych przyjęto dwa rozstawy termopar 25 mm oraz 35 mm [1,4,5].

Ad e)

Po przeprowadzeniu części obliczeniowej, która potwierdziła możliwość wykorzystania przepływomierza termicznego do pomiaru małego strumienia przepływu cieczy w zakresie laminarnym, zbudowany został model fizyczny przepływomierza w ramach projektu [15].

Główną częścią stanowiska badawczego jest miedziana rura o średnicy wewnętrznej równej $d_o=7,0$ mm i grubości ścianki 1,5 mm. Na rurce zainstalowano grzałkę elektryczną. Przewód został uzbrojony w cztery termopary rozmieszczone symetrycznie po obu stronach grzałki. Głównym celem eksperymentów było ustalenie zależności różnicy mierzonych temperatur od strumienia masy wody.

Zastosowano grzałkę opaskową o mocy 50 W, która zamontowano na zewnętrznym obwodzie rurki na długości 50,0 mm. Aby zmierzyć temperaturę zewnętrznej ścianki rury, zainstalowano termoelementy typu K o średnicy płaszcza 0,5 mm. Termoelementy zostały wcześniej skalibrowane i umieszczone w rowkach o wysokości i szerokości 1,0 mm na obwodzie rury. Następnie termoelementy owinięto wokół rury, przewody umieszczono wzdłuż przewidywanych izoterm i przylutowano. Takie rozwiązanie zapewnia dokładny pomiarów i zmniejsza opór kontaktowy między spoiną termopary a rurką. Zmontowany przepływomierz zainstalowany został na stanowisku badawczym. Przepływomierz został dokładnie zaizolowany aby zminimalizować straty ciepła do otoczenia. Aparaturę pomiarową i jej podłączenie do układu akwizycji danych przedstawiono w [1].

Podczas testów strumień masy wody był regulowany przez zawór sterujący. Pomiary przeprowadzono w zakresie laminarnego przepływu wody dla liczby Reynoldsa w zakresie $100 < Re < 2300$. Masowe natężenie przepływu wody zmierzono za pomocą laboratoryjnego przepływomierza masowego. Termopary mierzyły różnice temperatur między punktami znajdującymi się przed i za grzałką dla dwóch odległości 25 mm i 30 mm. Mierzone różnice temperatur posłużyły do opracowania zależności $\dot{m} = f(\Delta T)$. Dane eksperymentalne poddano aproksymacji i znaleziono funkcje potęgowe opisujące zależność między różnicą ΔT temperatury a strumieniem masy \dot{m} przy współczynniku determinacji R^2 równym 0,98.

Wyniki obliczeń numerycznych porównywano z pomiarami eksperymentalnymi. Obie krzywe są zbliżone do siebie i pokazują wykładniczą zależność różnicy temperatur od natężenia przepływu masowego. Niewielkie różnice między modelem numerycznym a eksperymentem wynikają z dyssypacji energii cieplnej poprzez izolację, podczas gdy w modelu numerycznym ścianki zewnętrzne są adiabatyczne [4-5]. Z przeprowadzonych analiz wynika, że masowe natężenie przepływu wody dla przepływu laminarnym może zostać wyznaczone w kategoriach zmierzonej różnicy temperatur. Aby zwiększyć czułość urządzenia, należy regulować wartość strumienia cieplnego zadawanego na powierzchni zewnętrznej [1]. Prace badawcze nad usprawnieniem konstrukcji przepływomierza są przeze mnie kontynuowane.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych – badawczych

5.1. Publikacje naukowe

Habilitant jest autorem 1 monografii i 6 prac naukowo badawczych (w tym 2 rozdziałów w Encyclopedii Thermal Stresses wydawnictwa Springer) oraz współautorem 41 prac naukowo-badawczych (w tym: 8 publikacji z listy filadelfijskiej o sumarycznym wskaźniku Impact Factor **8.135**, Impact Factor-5-letni **9.71**, 10 rozdziałów w monografiach/książkach).

Podsumowanie przebiegu pracy naukowo-badawczej habilitanta

Okres przed doktoratem :

Prace związane z moim doktoratem pt. „Teoretyczne i doświadczalne badania lokalnej wymiany ciepła na powierzchniach rur omywanych poprzecznie” wykonywałem w latach 1999 – 2004 w ramach studiów doktoranckich. Prace dotyczyły problemów wymiany ciepła zachodzącej w na powierzchniach ogrzewalnych w konwekcyjnej części kotłów energetycznych oraz zjawisk przeplywowo cieplnych w wymiennikach ciepła.

W pracy doktorskiej rozpatrywałem wymienniki występujące w konwekcyjnej części kotłów energetycznych. Część konwekcyjną stanowią wymienniki umieszczone w drugim ciągu spalin. Zalicza się do nich podgrzewacze wody oraz

powietrza. Stosowane konstrukcje oparte są na rurach stalowych gładkich lub żeliwnych ożebrowanych poprzecznie. Rury ożebrowane poprzecznie są podatne na szybkie zanieczyszczenie się popiołem. Zapylenie spalin kotłowych spowodowało konieczność poszukiwania odpowiednich konstrukcji wymienników ciepła nadających się do zastosowania w części konwekcyjnej kotła. Jednym z rozwiązań są wymienniki z rur ożebrowanych wzdłużnie. Rury wzdłużnie ożebrowane nazywane także pletwowymi zaopatrzone są w dwa wzdłużne żebra („pletwy”), ustawione symetrycznie i równoległe do kierunku przepływu czynnika. Powierzchnie membranowe konwekcyjne utworzone są z rur połączonych ze sobą za pomocą przyspawanych do nich płaskowników. Powierzchnie membranowe stosowane były do tej pory w konstrukcjach szczelnych ścian komór paleniskowych kotłów. W pracy doktorskiej podjąłem temat badań wymienników z rur ożebrowanych poprzecznie oraz wymienników z rur membranowych. Badania dotyczyły identyfikacji lokalnych i średnich wartości współczynnika wnikania ciepła na powierzchniach wymienionych rur wymienników. Znajomość współczynników wnikania ciepła jest niezbędna do prawidłowego zaprojektowania wymienników ciepła zarówno z rur gładkich, jak i o powierzchniach rozwiniętych. Przy znanym rozkładzie lokalnego współczynnika wnikania ciepła można obliczyć pole temperatury w rurach wymienników. Znajomość rozkładu temperatury pozwala na prawidłowe policzenie naprężeń cieplnych występujących w elementach konstrukcyjnych wymiennika. Identyfikacja cieplnych warunków pracy wymienników pod względem określenia występującego w nim rozkładu temperatury i naprężeń cieplnych pozwala na określenie miejsc najbardziej obciążonych cieplnie i narażonych na przegrzanie w przypadku konstrukcji istniejących oraz umożliwi w przypadku projektowania nowych wymienników wybór najkorzystniejszych geometrii pletw, membran i całych pęczków rur jak również prawidłowy dobór materiałów z których wykonane zostaną poszczególne elementy wymiennika. Zakres prac obejmował prace obliczeniowe, symulacje CFD oraz badania eksperymentalne.

W rozprawie opracowywałem metodę wyznaczania współczynnika wnikania ciepła na powierzchniach rozwiniętych rur analizowanych wymienników ciepła. Wyznaczone zostały lokalne i średnie współczynniki wnikania ciepła na obwodzie rur przy zastosowaniu odwrotnej metody przewodzenia ciepła. Dzięki zastosowaniu metod odwrotnych wyznaczono współczynniki wnikania ciepła z dużą dokładnością gdyż w przekroju rury rekonstruowany jest rzeczywisty dwuwymiarowy rozkład temperatury. W ten sposób uwzględniony został obwodowy przepływ ciepła w rurze spowodowany nierównomiernym współczynnikiem wnikania na obwodzie rury. W wielu dotychczasowych badaniach zjawisko to nie jest uwzględnione, gdyż zakłada się przepływ ciepła w rurze tylko w kierunku promieniowym. To niepoprawne założenie może prowadzić do wyznaczenia lokalnych współczynników wnikania ciepła różniących się nawet o kilkadziesiąt procent od wartości rzeczywistych. Rozkład temperatury wyznaczano przy zastosowaniu metody objętości kontrolnych dla których rozpisano równania bilansu energii. Składowe współczynniki wnikania ciepła otrzymano w taki sposób aby suma kwadratów różnic temperatury zmierzonej i obliczonej na powierzchniach badanych rur była najmniejsza. Nieliniowe zagadnienie najmniejszych kwadratów rozwiązano metodą Levenberga-Marquardta. Wyznaczone rozkłady współczynnika otrzymano na podstawie pomiaru temperatury rury, temperatury gazu czynnika oraz gęstości strumienia ciepła na powierzchni wewnętrznej. Otrzymane wyniki porównano z wynikami otrzymanymi metodą elementów skończonych. Stwierdzono bardzo dobrą zgodność wyników.

W części eksperymentalnej przeprowadzono szereg pomiarów dla różnej geometrii badanych pęczków rur wymienników. Badane pęczki rur różniły się średnicą zewnętrzną oraz podziałkami rozstawu rur poprzeczną S_1 i podłużną S_2 . Mierzony był spadek ciśnienia przy przepływie przez pęczki o różnej geometrii. Opracowano korelacje liczby Eulera (Eu) w funkcji liczby Reynoldsa dla badanych wymienników. W rezultacie badań cieplnych otrzymano szereg wyników eksperymentalnych, które pozwoliły na opracowanie korelacji na liczbę Nuselta (Nu) w funkcji liczby Reynoldsa. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania na rurach gładkich porównując wyniki z wynikami zaczerpniętymi z literatury. Następnie opracowano korelacje na $Nu = f(Re)$ dla wymienników z rur wzdłużnie ożebrowanych i membranowych. Badania przeprowadzono w zakresie zmienności liczby Reynoldsa od $Re = 5000$ do $Re = 50000$. Badania wykazały, że najbardziej efektywne pod względem cieplnym są wymienniki z rur wzdłużnie ożebrowanych.

Wyniki pozwoliły na otrzymanie rozkładów lokalnych wartości współczynnika wnikania ciepła na powierzchniach analizowanych rur: gładkiej, wzdłużnie ożebrowanej i membranowej znajdujących się w środku pęczka rur wymiennika.

Rezultaty prac były przede wszystkim prezentowane na 3 konferencjach krajowych przed obroną pracy doktorskiej.

W okresie przed doktoratem rozwijałem umiejętności w zakresie modelowania matematycznego zjawisk przepływowo cieplnych zachodzących w wymiennikach ciepła. Efektem tych prac były współtworzone publikacji z prof.dr

hab. inż. Dawidem Taler dotyczące kompaktowych wymienników ciepła, które prezentuję w swoim dorobku. Prace te dotyczyły użycia narzędzi CFD do analizy konstrukcji wymienników, dobór rodzaju rur cylindrycznych lub eliptycznych. Opracowane model były walidowane na stanowiskach badawczych.

Uczestniczyłem też w licznych projektach w ramach pracy w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych, wykonując zadania obliczeniowe oraz przeprowadzając symulacje za pomocą narzędzi CFD.

Okres po doktoracie:

Po ukończeniu doktoratu kontynuowałem temat badania zjawisk przepływowo cieplnych na powierzchniach rozwiniętych wymienników ciepła oraz wyznaczania współczynnika wnikania ciepła z użyciem metod odwrotnych. Zdobyte doświadczenie podczas realizacji doktoratu pozwoliły mi na pokierowanie pracami przy projekcie [12], w którym to projekcie kontynuowałem temat eksperymentalnego wyznaczania współczynnika wnikania na ciepła na powierzchniach rozwiniętych wymienników oraz zastosowania metod odwrotnych do identyfikacji zjawisk cieplnych na podstawie pomiaru przebiegu temperatury w dyskretnych punktach analizowanego obiektu.

- Uczestniczyłem w licznych pracach przeprowadzanych w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych PK w tym pracach nad układem monitorowania pracy bloków energetycznych. Mój wkład to opracowanie wzorów na wyznaczanie obciążenia cieplnego w elementach pomiarowych umieszczonych wewnątrz komory spalania. Elementy te stanowią jeden z głównych składników układu, który został wdrożony między innymi w elektrowni Skawina. Mój udział w pracach jest potwierdzony licznymi publikacjami, których jestem współautorem oraz wystąpieniami na konferencjach naukowych (załącznik 4 Wykaz dorobku, II.A 14, II.E 32, 36, 39, 41). Konsekwencją tych prac jest moje współautorstwo w patencie [J. Taler, B. Węglowski, P. Duda, W. Zima, S. Grądziel, T. Sobota, A. Cebula, D. Taler, patent nr 211059 na wynalazek pt. „Wstawka termometryczna do pomiaru lokalnego obciążenia cieplnego ekranu komory paleniskowej kotła”, 25 kwiecień 2011]
- Zajmowałem się modelowaniem zjawisk przepływowo cieplnych oraz badaniem wymienników kompaktowych. Ten temat badawczy rozpocząłem na etapie prowadzonego doktoratu. W rezultacie przeprowadzonych prac jako współautor z prof. dr hab. Inż. Dawidem Taler opublikowanych zostało szereg artykułów a rezultaty były prezentowane na konferencjach naukowych (załącznik 4 Wykaz dorobku, II.A 13,15, II.L15-16). Prace dotyczyły: określenia oporu kontaktowego pomiędzy rurami wymiennika a żebrami płytowymi, przepływu powietrza w szczelinach utworzonych przez płyty wymiennika opływ rur i identyfikacji współczynnika wnikania ciepła oraz obliczania spadku ciśnienia. Współtworzone prace pokazały wpływ parametrów geometrycznych takich jak: średnica rur, podziałka rur, usytuowanie (układ szeregowy, przestawny) na intensyfikację wymiany ciepła w wymiennikach kompaktowych rurowo płytowych.
- Współpracowałem przy tworzeniu modeli matematycznych pozwalających na obliczenie ilości ciepła przejmowanego przez przepływającą parę parownika kotłów energetycznych oraz na wyznaczenie parametrów końcowych pary. Analizowane zjawisko uwzględniało zmienne wzdłuż wysokości obciążenie cieplne parownika, analizowanym czynnikiem była para wodna. W analizach uwzględniana była przemiana fazowa pary a także jej przepływ w warunkach nadkrytycznych. Porównywane były w pracach model własne obliczeniowe oraz model z użyciem programów komercyjnych, wyniki konfrontowano z danymi z eksploatacji rzeczywistych bloków energetycznych. Uczestniczyłem w pracach pod kierownictwem dr hab. Inż. Wiesława Zimy oraz dr hab. Inż. Sławomira Grądziela, których efektem są wspólne publikacje (dorobek załącznik 4, II.E 29,33,37)
- W 2009 roku nawiązałem współpracę z ośrodkiem rozwojowo badawczym elektrowni atomowej Forsmark IV należącej do koncernu Vattenfall. Współpraca zaowocowała zleceniem na projekt dotyczący opracowania metody pozwalającej na obliczenie gęstości strumienia ciepła i/lub współczynnika wnikania ciepła na powierzchni pręta

kontrolnego reaktora atomowego. Metoda powinna uwzględniać uderzenie strugi wody o powierzchnie pręta, przepływ krzyżowo prądowy oraz szybkie zmiany temperatury w zakresie 50°C-300°C. dodatkowo pomiar od strony opływającego pręt czynnika nie był możliwy. Prace w ramach tak zdefiniowanego projektu zostały przeprowadzone pod moim kierownictwem [11] oraz przy kierownictwie opiekuna naukowego prof. dr hab. Inż. Jana Talera. Do rozwiązania problemu została użyta metoda odwrotna, której jestem współautorem. Metoda została zweryfikowana przy udziale R+D Forsmark Vatefall za pomocą testów obliczeniowych, przy użyciu wewnętrznych kodów obliczeniowych R+D Forsmark oraz programów obliczeniowych komercyjnych (CFX, Fluent i innych). Rezultaty prac zaowocowały współtworzonymi publikacjami i wystąpieniami na konferencjach [7-8].

Po pozytywnych testach opracowanej metody, nastąpiła dalsza współpraca między ośrodkiem Forsmark i zdefiniowany został kolejny projekt. Celem tego projektu było opracowanie miernika gęstości strumienia ciepła, który mierzyłby strumień ciepła na stanowisku badawczym. Stanowisko badawcze zbudowane w środku Forsmark służyło do pomiarów z użyciem wody o wysokiej temperaturze pod ciśnieniem przepływającej wokół modelu pręta i do walidacji modeli numerycznych CFD. Ponownie kierowałem pracami nad projektem [12], gdzie został zaprojektowany i wykonany element pomiarowy, ponadto powstało stanowisko pomiarowe na Politechnice krakowskiej, które posłużyło do testów opracowanego miernika. W ramach projektu powstały mierniki według dwóch konstrukcji, po testach wybrany został miernik wykonany metodą elektroerozyjną z otworami pod termopary co w szczególności pokazano w [1]. Po zakończeniu projektu miernik został przekazany do R+D Forsmark. Kontynuowałem prace badawcze związane z pomiarem gęstości strumienia ciepła i współczynnika wnikania ciepła z użyciem metod odwrotnych. Następnie rozwijałem opisany temat z użyciem opracowanego miernika w celu jego modernizacji i udoskonalenia działania oraz do studiowania konwekcyjnej wymiany ciepła to znaczy:

- metody obliczeniowe i ich zastosowanie w rozwiązaniu odwrotnego problemu przewodzenia ciepła,
- identyfikacja współczynnika wnikania ciepła/gęstości strumienia ciepła przy przepływie krzyżowo prądowym wokół cylindrycznej powierzchni,
- uderzenie strug płynu o powierzchnię cylindryczną, opracowanie korelacji na współczynnik wnikania w funkcji parametrów dysz.

W celu pogłębienia tematu złożony został wniosek [16], którego jestem autorem, w ramach konkursu OPUS 8 ogłoszony przez NCN. W projekcie, pod kierownictwem prof. dr hab. inż. J. Talera zostałem głównym wykonawcą projektu i kontynuowałem prace nad zagadnieniami identyfikacji gęstości strumienia ciepła na powierzchniach cylindrycznych.

Wynikiem prac przeprowadzonych nad tematem prowadzonym od 2009 roku są publikacje oraz wystąpienia na konferencjach naukowych, które ująłem w osiągnięciu naukowym [1-3, 6-8] oraz dorobku (załącznik 4 Wykaz dorobku punkt II. E pozycje 25-27) Omówione w tym punkcie zagadnienia zawierają się w moim osiągnięciu naukowym.

- Kontynuując temat odwrotnego wyznaczania poszukiwanych wartości na podstawie zmierzonych przebiegów temperatury podjąłem temat badawczy przepływomierza termicznego. Opracowałem model obliczeniowy przepływomierza termicznego. Powstał model analityczny gdzie posłużyłem się wzorem Siegela oraz zasadą superpozycji, zbudowałem osiowo symetryczny model numeryczny, który to model posłużył mi do projektowania modelu laboratoryjnego przepływomierza. W ramach kierowanego przeze mnie projektu [15] zaprojektowałem i nadzorowałem budowę stanowiska do testów przepływomierza termicznego. Obliczenia i test potwierdziły zdolność przepływomierza termicznego do pomiaru małych wartości natężenia przepływu wody w zakresie przepływu laminarnego. Wyniki prac zaprezentowałem jako autor publikacji [4,5]. Omówione w tym punkcie zagadnienia zawierają się w moim osiągnięciu naukowym.
- W okresie po doktoracie podjąłem zatrudnienie w Instytucie Lotnictwa, 02-256 Warszawa Al. Krakowska 110/114 dwukrotnie w latach 06.2007-05.2009 oraz w latach 09.2013-07.2015. W okresie 2007-2009 pracowałem na stanowisku samodzielnego inżyniera projektanta w dziale Turbin parowych, w którym zajmowałem się projektowaniem stopni energetycznych turbin parowych, profili łopatek kierowniczych i obrotowych, uszczelnień

wieńców łopatek i innych. Do realizacji zadań używałem narzędzi do symulacji przepływów w tym Fluent, CFX, ICEM oraz narzędzi wewnętrznych. W latach 2013-2015 pracowałem na pozycji samodzielnego inżyniera projektanta w dziale Komory Spalania – lotnicze turbiny gazowe. Zajmowałem się projektowaniem elementów pierścieniowych komór spalania, projektowaniem układów chłodzenia obciążonych cieplnie płomienic, deflektorów płomienia, osłon cieplnych. Pracowałem na stanowisku kierownika projektu jak i na pozycji członka zespołu projektowego. W pracy analizowałem zjawiska: przewodzenia, konwekcji i promieniowania. Korzystałem z narzędzi numerycznych w tym, Patran, P-therma, Hypermesh i innych wewnętrznych narzędzi do obliczeń wymiany ciepła i obliczeń termodynamicznych. Prace jakie wykonywałem przechodziły wielopoziomowe sprawdzenie przez ekspertów o wieloletnim doświadczeniu projektowym, obliczeniowym i badawczym. Wymagały tego prace dotyczące obiektów w branży lotniczej.

Prace w Instytucie Lotnictwa były przeprowadzane dla firmy General Electric, pozwoliły mi na zdobycie umiejętności w zakresie przeprowadzania obliczeń przeplywowo cieplnych trójwymiarowych obiektów przemysłowych, nabranie umiejętności inżynierskich, opanowanie na wysokim poziomie narzędzi obliczeniowo-projektowych, rozwiązywania zaawansowanych problemów projektowo inżynierskich. Pomimo licznych projektów, w którym brałem udział nie posiadam publikacji z przeprowadzonych prac ze względu na umowę poufności do której zostałem zobligowany. Ponadto część prac odnosiła się do technologii podwójnego zastosowania.

Tabela 1 Wykaz osiągnięć naukowych przed i po okresie doktoratu

	Łącznie	Przed doktoratem	Po doktoracie
Sumaryczna liczba punktów MNiSW	366	3	363
Sumaryczny IF	8,135	0	8,135
Sumaryczny IF-5	9,71	0	9,71
Publikacje ogółem:	14	0	14
Publikacje z listy A MNiSW	8	0	8
Publikacje z listy B MNiSW	6	0	6
Monografie	1	0	1
Rozdziały w monografiach:	10	1	9
Rozdziały monografiach w języku polskim	3	1	2
Rozdziały monografiach w języku angielskim	7	0	7
Publikacje w materiałach konferencyjnych:	22	6	16
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku angielskim	11	0	11
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku polskim	11	6	5
Rozprawa doktorska	1	1	0
Udział w konferencjach:	33	3	30
Konferencje krajowe	24	3	21
Konferencje zagraniczne	9	0	9
Projekty badawcze ogółem (kierowane)	24(5)	1(0)	23(5)
Zgłoszenia patentowe	1	0	1

Cytowania prac naukowych:a) Statystyka cytowania prac wg. bazy Publish or Perish (**Google Scholar**)

https://scholar.google.pl/citations?hl=pl&user=yXHYDdwAAAAJ&view_op=list_works&qmla=AJsN-F74eWnEA6VkufP7VqbvsOOfxnu3R6-bl1U0P2Amo0Je42J-hue3lx6ULIAcP3tKmtzqMJfg_t7cvo3SJbYUNzxJ4u49alDXD0ddV1DztrWKOty3svFrTr90nEXeHsWT3LyjWZYdcYcWIX6CnbEDb6FX-uwz1A

Publikacje indeksowane: **43**

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie	Od 2012
<u>Cytowania</u>	94	83
<u>h-indeks</u>	6	5
<u>i10-indeks</u>	2	2

b) Statystyka cytowania prac wg. bazy **Scopus**:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=26665144400&zone>

Publikacje indeksowane: **17**

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie	Od 2010
<u>Cytowania</u>	44	44
<u>h-indeks</u>	5	5

c) Statystyka cytowania prac wg. bazy **Web of Science**:

http://apps.webofknowledge.com/CitationReport.do?product=WOS&search_mode=CitationReport&SID=Z1CRTHVyKQgtxiscN8f&page=1&cr_pgqid=12&viewType=summary&from_ML=true&colName=WOS

Publikacje indeksowane: **11**

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie
<u>Cytowania</u>	33
<u>h-indeks</u>	4

5.2. Udział w konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych

Konferencje zagraniczne:

1. European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD, TU Delft, Delft, The Netherland, 2006
 - Referat: P. Duda, **A. Cebula**, R. Dwornicka: Optimization of heating and cooling operations of power block pressure elements
 - Referat: **A.Cebula**, T. Sobota: Determination of the heat transfer coefficient distribution on the longitudinal finned tubes in staggered arrangement using inverse and CFD method,

2. 38 Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 24-25 Oktober 2006 im Congress Center Dresden, Germany, Taler J., W. Zima, B. Węglowski, P. Duda, S. Grądziel, D. Taler, T. Sobota, **A. Cebula**: Monitoring of thermal-fluid and strength operating conditions of a power boiler in an online mode,.
3. 2nd International Conference on Engineering Optimization Instituto Superior Técnico Lisbon, Portugal. September 6-9, 2010, Taler D., **Cebula A.**: Determining thermal contact resistance of the fin-to-tube attachment in plate fin-and-tube heat exchanger
4. 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics, NURETH-14, 25-30.09.2011, Toronto, Canada, Referat: Taler J., **Cebula A.**, Marcinkiewicz J., Tinoco H. Heat flux and temperature determination on the control rod outer surface
5. The 6th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation", 21-25 May, 2012 Antalya, Turkey, Referat: **A. Cebula**, J. Taler :Temperature and heat flux determining at the surface of control rods in nuclear reactors using an inverse space marching method,
6. 4th Inverse Problems, Design and Optimization Symposium (IPDO-2013) Albi, France, 26-28.06, 2013, Referat: **Cebula A.**, Taler J.: A measuring technique for experimental determination of transient heat flux on the control rod surface based on the solution of the inverse problem
7. International conference on computational heat and mass transfer ICCHMT 2017, Seoul, Korea Referat: **Cebula A.**, Taler J., Ocloń P.: Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of Finite Volume Finite Element Method
8. International conference on computational heat and mass transfer ICCHMT 2018, Cracow, 21-24.05.2018 Referat: **Cebula A.**, Taler J., P. Ocloń: Predictions of air impingement heat transfer at cylindrical surface with crossflow.
9. Technological Innovations in Metals Engineering, (TIME 2018), 30–31.05.2018 Haifa, Israel, Kowalczyk S., **Cebula A.**: Numerical analysis of intake manifold and its manufacturing in additive manufacturing.

Konferencje krajowe:

10. V Konferencja Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej; 4-7.12.2001 Warszaw: Referat Taler J., Cebula A. „Badania aerodynamiczne i cieplne kotłowych wymienników ciepła z rur gładkich i wzdłużnie ożebrowanych” (**przed doktoratem**)
11. IX Heat transfer and renewable sources of Energy; HTRSE, 12-15.09.2002 Szczecin-Międzyzdroje: Referat Cebula A. Taler J.: Determining local heat transfer coefficients in heat exchangers with expand surface” (**przed doktoratem**)
12. VI Konferencja problemy badawcze energetyki ciepłej, 2003 Warszawa, Referat: Taler J., Cebula A: Badania aerodynamiczne i cieplne kotłowych wymienników ciepła z rur gładkich i wzdłużnie ożebrowanych. (**przed doktoratem**)
13. XII Sympozjum Wymiany Ciepła I Masy, 15-18.06.2004 Kraków, Modeling of air flow and heat transfer in compact heat exchangers. Referat **Cebula A.**, Taler D.: Modeling of air flow and heat transfer in compact heat exchangers
14. X Heat transfer and renewable sources of Energy; 08-1.09.2004 Szczecin-Międzyzdroje: Referat Taler J. **Cebula A.**: Numerical simulation of heat transfer in finned tube bundles
15. XIX Zjazd Termodynamików 5-8.09.2004 Sopot, Referat: J. Taler, B. Węglowski, **A. Cebula**, Eksperymentalne wyznaczenie obciążeń cieplnych ekranów komór paleniskowych kotłów
16. Energetyka 2004, Wrocław,
-Referat:Taler D., Sobota T., **Cebula A.**: Teoretyczna i eksperymentalna analiza pracy sprzęgieł hydraulicznych

- Referat: Taler D., Sobota T., **Cebula A.**: Modelowanie procesów przepływowo-ciepłych w wymiennikach kompaktowych
17. VII Konferencja: Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej, Warszawa, 2005, J. Taler, B. Węglowski, **A. Cebula**, P. Duda, S. Grądział, T. Sobota, D. Taler, W. Zima: Komputerowy układ monitorowania eksploatacji kotła,
 18. EURO THERM Seminar 82, Numerical Heat Transfer, Gliwice-Kraków 2005; Referat: **A. Cebula**, T. Sobota: Inverse and CFD determination of the heat transfer coefficient distribution on the longitudinal finned tubes in staggered arrangement
 19. International Conference on Boiler Technology, Poland, Szczyrk 2006
-J.Taler, W.Zima, B.Węglowski, P.Duda, **A.Cebula**, T.Sobota, S.Grażdział, D.Taler: Kontrola cieplno-wytrzymałościowych warunków pracy kotła w trybie on-line,
-S.Grażdział, W.Zima, **A.Cebula**: Modelowanie nieustalonych procesów zachodzących w ogrzewanych powierzchniach kotłów,
 20. X Forum Energetyków GRE, Opole, Polska, 2006, Taler J., Węglowski B., Duda P., Zima W., **Cebula A.**, Grądział S., Sobota T., Taler D.: Monitorowanie cieplno-przepływowych warunków pracy parownika kotła,
 21. Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, HTRSE 2006, Międzyzdroje, Polska, 13 – 16.09.2006 Taler J., **Cebula A.**: Comparison of inverse heat conduction methods for determining local heat transfer coefficient
 22. XIII Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Koszalin 2007, J. Taler, T. Sobota, **A. Cebula**, B. Węglowski, P. Duda: Identyfikacja cieplnych warunków pracy powierzchni ekranowych kotła energetycznego
 23. Problemy badawcze energetyki ciepłej, PBEC 2009, 08-11.12.2009, Warszawa, Referat: **Cebula A.**, D. Taler: Modeling of air flow and heat transfer in compact heat exchangers
 24. VI Energetyka, 3-5.11.2010, Wrocław, Referat Taler D., **Cebula A.**: Nowa metoda wyznaczania oporu kontaktowego między połączeniem rury a żebrzem w kompaktowym wymienniku ciepła
 25. II Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne, WTUE II, 2010, Kraków, Referat: Zima W., Grądział S., **Cebula A.**: Symulowanie procesów przepływowo-ciepłych w ekranach komór paleniskowych kotłów na parametry nadkrytyczne
 26. Problemy badawcze energetyki ciepłej, PBEC 2011, 13-16.12.2011, Warszawa, Referat: Taler J., **Cebula A.**: Verification of Heat flux and temperature calculation on the control rod outer surface
 27. 3rd International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering, September 18-20, 2012, Gliwice, Poland, Referat: Taler J., **Cebula A.**: Experimental and numerical determination of heat flux at the outer surface of the control rod
 28. ECCOMAS Conference, Numerical Heat Transfer, 4-6 September 2012, Gliwice-Wrocław, Poland, Referat: **A. Cebula**, J. Taler : Measuring instrument for heat flux and temperature determination at the control rod surface in a nuclear reactor
 29. III Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne, WTUE II, 2013, Kraków, Referat: **Cebula A.** Eksperymentalna i numeryczna analiza przepływomierza termicznego
 30. Problemy badawcze energetyki ciepłej, PBEC 2015, 08-11.12.2015, Warszawa, Referat **Cebula A.** Experimental and numerical investigation of thermal flow meter
 31. XVI International Symposium Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, HTRSE–2016, Międzyzdroje-Szczecin, Referat: Jaremkiewicz M., **Cebula A.**, Determination of transient three-dimensional temperature distribution in the thick-walled flat element
 32. IV Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne 12-14.10.2016, Kraków, Referat: **Cebula A.**, Świątek P., Kowalczyk S.: Numerical investigation and redesign of the aviation SI engine intake manifold
 33. Energy and Fuels 2018, Krakow, 9-21.09.2018, Referat: **Cebula A.**, Kowalczyk S, Szufa S, Piersa P, Adrian Ł.: The regenerative air heating for a biomass burning furnace.

Łączna ilość konferencji z moim udziałem to 33, na których przedstawiłem 26 referatów.

5.2. Recenzje artykułów w czasopismach z ministerialnej listy A:

Lista czasopism, rok i ilość artykułów, dla których wykonywałem recenzje:

1. Applied Thermal Engineering, 2018, 1, data wykonania 13/05/2018
2. Heat Transfer Engineering, 2018, 1
3. Konferencja International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer ICCHMT, 2016-2018, Publikacje konferencyjne, 8

5.3. Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

1. Kocioł opalany biomasą do zastosowań suszarniczych, POIR.01.01.01-00-0460/17, Numer naboru: 3/1.1.1/2017, 01.10.2017 – 31.10.2018, NCBiR, **kierownik B+R**
2. High-performance hybrid solar system for generation of thermal and electrical energy applied for buildings, HYSOL, Projekt badawczy międzynarodowy polsko-niemiecki STAIR II, nr umowy STAIR/9/NCBiR/2017, 01.10.2016 - 31.09.2019, NCBiR, wykonawca
3. Metoda identyfikacji gęstości strumienia ciepła na powierzchni ciała stałego w warunkach szybkozmiennego pola temperatury przepływającego płynu, Opus 8 nr umowy UMO-2014/15/B/ST8/03170, 10.07.2015 – 09.05.2018, Narodowe Centrum Nauki (NCN) wykonawca (uwzględnione w osiągnięciu naukowym)
4. Modelowanie matematyczne zjawisk przepływowo-ciepłnych oraz analizy wytrzymałościowe wymienników ciepła z rurami ożebrowanym, Opus nr umowy UMO-2013/11/B/ST8/00340, NCN, 2014 – 2017, wykonawca
5. Systemy do oceny materiałów konstrukcyjnych urządzeń pracujących w warunkach zmiennych obciążeń i w wysokich temperaturach, NR07-0046-10/2010 (0946/R/T02/2010/10), 01.10.2010 - 30.09.2012, KBN, wykonawca
6. Dynamika układu: kocioł na biopaliwo-kolektory słoneczne - zasobniki ciepłej wody użytkowej, N513 332538 (3325/B/T02/2010/38), 13.04.2010 - 12.04.2013, NCN, wykonawca
7. Flexibility increasing of steam power blocks (Poprawa elastyczności pracy parowych bloków energetycznych) M-9/238/2015/P, 09.04.2015 - 30.09.2016, EDF (Électricité de France), wykonawca
8. Opracowanie nowoczesnych metod oceny trwałości resztkowej elementów ciśnieniowych instalacji energetycznych PBS1/A4/4/2012, 01.11.2012 - 31.10.2015 NCBiR, wykonawca
9. Improving dynamic properties of steam boilers” (Poprawa własności dynamicznych kotłów parowych) M9/492/2012, 21.09.2012 - 30.06.2014, EDF, wykonawca
10. The system for monitoring the fouling of the boiler furnace chamber, superheaters, reheaters, and other heating surfaces (FOULING INSPECTOR) - System monitorowania zanieczyszczenia komory paleniskowej, przegrzewaczy i innych powierzchni ogrzewalnych w kotle M-9/491/2012/P, 11.09.2012 – 30.12.2013, wykonawca
11. Ocena zachowania się i prognoza długotrwałej pracy stali nowych generacji na elementy kotłów eksploatowanych powyżej temperatury granicznej NR15 0060-10/2011 (1083/R/T02/2010/10), 03.03.2011 – 31.10.2013, KBN, wykonawca
12. Odwrotne zagadnienia w konwekcyjnej wymianie ciepła M9/470/DS-M/2011, 01.09.2011-9.12.2011, Politechnika Krakowska, **kierownik** (uwzględnione w osiągnięciu naukowym)
13. Heat flux measurement on the control rod surface M-9/459/2010, 01.08.2009 - 01.10.2010, Vattenfall AB, Forsmark NPP, Szwecja, **kierownik** (uwzględnione w osiągnięciu naukowym)
14. Design and manufacturing of measuring inserts and software for determination of heat flux and temperature measurement on the insert outer surface M-9/58/2011/P („Wykonanie wstawek pomiarowych oraz oprogramowania do wyznaczenia wartości gęstości strumienia ciepła na powierzchniach zewnętrznych badanych wstawek”), 01.09.2010 - 01.07.2011, Vattenfall AB, Forsmark NPP, Szwecja, **kierownik** (uwzględnione w osiągnięciu naukowym)
15. Nadkrytyczne bloki węglowe- Projekt badawczy zamawiany nr M5/372/PBZ/2007, 20.04.2007 – 19.04.2010, KBN, wykonawca
16. Monitorowanie zjawisk przepływowo-ciepłnych zachodzących w parowniku kotła energetycznego z naturalną cyrkulacją, Projekt rozwojowy nr 0556/T02/2007/02 (0556/R/2/T02/07/02), 11.01.2007 – 10.01.2010, MNiSzW, wykonawca

17. Nowy sposób nagrzewania i ochładzania elementów ciśnieniowych bloku energetycznego z uwagi na naprężenia cieplne- Projekt badawczy rozwojowy nr 0540/R/T02/2007/03, MEiN, 2007-2010, wykonawca
18. Określanie stopnia zużycia wybranych ciśnieniowych, grubościennych elementów dużych kotłów energetycznych i rurociągów parowych 1280/T10/2005/28, 09.03.2005 – 08.02.2008, KBN, wykonawca
19. Opracowanie układu do ekonomicznej i bezpiecznej eksploatacji kotłów energetycznych podwyższającego ich sprawność i trwałość M5/698/PBZ/2006 - PBZ, 2007 – 2008, MEiN, wykonawca
20. Model matematyczny niestabilnych procesów zachodzących w konwekcyjnych powierzchniach ogrzewalnych kotłów energetycznych oraz jego weryfikacja 1282/T10/2005/28, 09.03.2005 – 08.03.2008, KBN, wykonawca
21. Monitoring system for stress calculation and residual lifetime prediction COST 538 High Temperature Plant Lifetime Extension M-5/554/SPB/2005, okres realizacji: 2005 – 2008, Specjalny Program Badawczy UE, wykonawca
22. Teoretyczne i doświadczalne badania lokalnej wymiany ciepła na powierzchniach rur omywanych poprzecznie, 1484/T10/2005/29, 31.10.2005 – 30.10.2008, MNiI, **kierownik** (uwzględnione w osiągnięciu naukowym)
23. Monitorowanie cieplno-wytrzymałościowych warunków pracy ciśnieniowych elementów urządzeń energetycznych 1337/T10/2004/26, 2.04.2004 – 1.04.2007, MEiN, wykonawca
24. Identyfikacja cieplno-przepływowych warunków pracy węzłownicowych wymienników ciepła, PB-758/T10/2002/23 PBZ, 1.07.2002 – 31.12.2005, MEiN wykonawca

Prace badawcze i wdrożeniowe realizowane na zlecenie przemysłu

1. Umowa nr M-9/564/2009 *Obliczenia uszczelnienia pneumatycznego separatora cyklonowego*. Praca realizowana na zlecenie ComexAS, Norwegia -06.09.2009-26.09.2009- **kierownik**
2. Umowa nr 1/2012/SBMMiUE Analiza pracy przewodu kominowego typu Schiedel- Rozkład temperatury na powierzchni zewnętrznej przewodu kominowego typu Schiedel Quadro, praca badawcza dla Schiedel Sp. z o.o., 2012- kierownik
3. Umowa nr UZ/ZK2/0791/AP „Analiza dynamiczna kotła BP-2450”, praca badawcza dla RAFAKO S.A., czas realizacji: 2016 – wykonawca

5.4. Współpraca krajowa i międzynarodowa

Współpraca z przemysłem:

Firmy z branży energetycznej

- EDF Polska: (udział projektach dotyczących poprawy elastyczności bloków energetycznych, monitorowania elementów instalacji energetycznych oraz poprawy własności dynamicznych kotłów parowych projekt nr 7,9),
- Forsmark, Vattenfall AB, nawiązanie współpracy z ośrodkiem, (kierowanie dwoma projektami dotyczącym opracowania oprogramowania oraz wstawek do wyznaczenia gęstości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej wstawek pomiarowych), dwie wspólne publikacje na konferencjach międzynarodowych wymienione w punkcie 4.2 d) [7,8]

5.5. Nagrody i odznaczenia :

1. Nagroda Zespołowa za osiągnięcia naukowe, 2015, Rektor Politechniki Krakowskiej,
2. Nagroda Zespołowa I stopnia za osiągnięcia naukowe, 2012, Rektor Politechniki Krakowskiej,

6. Omówienie osiągnięć organizacyjnych i dydaktycznych

6.1. Osiągnięcia organizacyjne

Organizacja współpracy zagranicznej

Jestem współinicjatorem współpracy Instytutu Maszyn I Urządzeń Energetycznych z następującymi ośrodkami naukowymi z zagranicy:

1. Technische Universitaet Braunschweig (Niemcy)
2. Technische Universitaet Bergakademie Freiberg (Niemcy)
3. Uniwersytet w Calgary (Kanada)
4. Velammal College of Engineering and Technology (Indie)

Ponadto organizowałem współpracę z Munich University of Applied Sciences (MUAS) z Niemiec. Współpraca zaowocowała złożeniem wspólnego wniosku w ramach konkursu Polsko-Niemiecka współpraca na rzecz zrównoważonego rozwoju (STAIR II) – Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Złożony wspólny wniosek, którego byłem współautorem "IWeS – Highly efficient technology to recover electrical energy from industrial waste heat" został rekomendowany do dofinansowania przez NCBiR.

6.2. Osiągnięcia dydaktyczne

Prowadziłem następujące zajęcia dydaktyczne,

1. Termodynamika (wykłady, ćwiczenia)
2. Elektrownie i elektrociepłownie (laboratoria, ćwiczenia)
3. Urządzenia pomocnicze elektrowni (wykłady, ćwiczenia)
4. Modelowanie CFD (laboratorium komputerowe)
5. Wymienniki ciepła (wykład, projekty, laboratoria)
6. Kotły parowe (laboratorium, projekty)

Jest organizatorem laboratoriów wyjazdowych z przedmiotów Elektrownie i elektrociepłownie-laboratorium oraz Kotły parowe-laboratorium. Laboratoria są współprowadzone przez pracowników Elektrociepłowni Kraków z wykorzystaniem rzeczywistych danych z monitoringu oraz oprowadzaniem po obiektach, które występują w opracowanych przeze mnie arkuszach laboratoryjnych.

Byłem opiekunem koła naukowego Koło Naukowe Energetyki i Ochrony Środowiska (KNEiOŚ) w latach 2004-2011.

Pełnię funkcję promotora pomocniczego pani Moniki Rerak, doktorantki na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej (od kwietnia 2018 roku) tytuł jej pracy to „Nowy algorytm wspomagający projektowanie podziemnych linii kablowych z uwagi na ich cieplne warunki pracy”



.....
Podpis wnioskodawcy