

Załącznik 2a

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Piotr Kolasiński
Katedra Termodynamiki, Teorii Maszyn i Urządzeń Ciepłych
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, 25.11.2016 r.



1. Imię i nazwisko:
Piotr Kolasiński

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

Dyplom ukończenia studiów wyższych magisterskich. Tytuł: magister inżynier. Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, Specjalność: Termoenergetyka, Specjalizacja: automatyka, 2005.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych w zakresie mechaniki, specjalności: termodynamika, teoria maszyn cieplnych, nadany uchwałą Rady Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej z dnia 16 czerwca 2010 roku; tytuł rozprawy doktorskiej: *Termodynamika układów konwersji energii o zmiennej ilości czynnika roboczego*.

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

- Od 01.07.2010 do 30.09.2010: specjalista naukowo-techniczny w Zakładzie Termodynamiki Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.

- Od 01.10.2010 do 29.02.2012: asystent naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Termodynamiki Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.

- Od 01.03.2012 do obecnie: adiunkt w Katedrze Termodynamiki, Teorii Maszyn i Urządzeń Ciepłych na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.

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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Cykl prac, składający się z 15 publikacji, 2 patentów i stanowiska badawczego powiązanych tematycznie: **Badania kogeneracyjnych hybrydowych układów ORC zasilanych z niskotemperaturowych źródeł ciepła i wykorzystujących rozprężarki wielołopatkowe.**

b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

H1. **Gnutek Zbigniew, Kolasiński Piotr:** Organic Rankine Cycle – technology, applications and current market overview. W: Proceedings of the XIIIth International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, Międzyzdroje 9—12.09.2010, A.A. Stachel and D. Mikielwicz (eds.). Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, 2010

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na przeprowadzeniu analizy literatury w zakresie budowy, technologii i zastosowań układów ORC, przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 70 %.

H2. Nemš Magdalena, Kolasiński Piotr, Kasperski Jacek: A solar high-temperature heat accumulation system with an ORC generator. W: ISES Solar World Congress: Kassel, 28.08-2.09.2011 / International Solar Energy Society.

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na analizie możliwości skojarzenia układu ORC z systemem akumulacji ciepła, analizie możliwych do zastosowania czynników roboczych i stworzeniu opisu matematycznego procesu rozładowywania akumulatora, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu oraz pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 40 %.

H3. Kolasiński Piotr: Use of the Renewable and Waste Energy Sources in Heat Storage Systems Combined with ORC Power Plants. Przegląd Elektrotechniczny, 2013, R.89, nr 7, 277—279. (punktacja MNiSW z 2013: 10)

H4. Gnutek Zbigniew, Kolasiński Piotr: The Application of Rotary Vane Expanders in ORC Systems – Thermodynamic Description and Experimental Results. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power – Transactions of the ASME, 2013, vol. 135(6), doi: 10.1115/1.4023534. (LF, punktacja MNiSW: 25, IF: 0,788)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu programu badań, modyfikacji konstrukcji rozprężarek w celu dostosowania ich do pracy z niskowrzącym czynnikiem roboczym, przeprowadzeniu analiz eksperymentalnych, opracowaniu wyników, przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 80 %.

H5. Kolasiński Piotr, Gnutek Zbigniew: Chosen problems of the dynamic heat source modulation in ORC systems. W: ASME-ORC 2013, 2nd International Seminar on ORC Power Systems, October 7th & 8th, 2013, Rotterdam, The Netherlands / ORC Power Systems Committee of the ASME International Gas Turbine Institute.

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu koncepcji wykorzystania różnych technik stabilizacji zmiennej charakterystyki źródeł ciepła wykorzystywanych do zasilania układów ORC, przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 70 %.

H6. Kolasiński Piotr, Rogala Zbigniew: The application of Rosenblad heat exchangers in the ORC domestic systems. W: ASME-ORC 2013, 2nd International Seminar on ORC Power Systems, October 7th & 8th, 2013, Rotterdam, The Netherlands / ORC Power Systems Committee of the ASME International Gas Turbine Institute.

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu koncepcji wykorzystania spiralnych wymienników ciepła w domowych układach ORC oraz analizie wyników uzyskanych na drodze obliczeniowej, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 50 %.

H7. Kolasiński Piotr: The Influence of the Heat Source Temperature on the Multivane Expander Output Power in an Organic Rankine Cycle (ORC) System. Energies. Organic Rankine Cycle (ORC) Special Issue, 2015, vol. 8(5), 3351—3369, doi: 10.3390/en8053351. (LF, punktacja MNiSW: 25, IF: 2,077)

H8. Błasiak Przemysław, Kolasiński Piotr: Modelling of the Mixed Convection in a Lid-driven Cavity with a Constant Heat Flux Boundary Condition. Heat and Mass Transfer, 2015, doi:10.1007/s00231-015-1583-6. (LF, punktacja MNiSW: 25, IF: 1,044)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na udziale w interpretacji wyników symulacji numerycznych, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 40 %.

H9. Kolasiński Piotr, Rogala Zbigniew: The use of Spiral Heat Exchangers in the ORC Domestic Systems. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika. 2015, z. 85, nr 1. (punktacja MNiSW z 2015: 7)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu koncepcji wykorzystania spiralnych wymienników ciepła w domowych układach ORC oraz analizie wyników uzyskanych na drodze obliczeniowej, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 60 %.

H10. Kolasiński Piotr, Kolasińska Ewa: Direct waste heat recovery via thermoelectric materials - chosen issues of the thermodynamic description. W: 8th National Scientific Conference Advances in Electrotechnology: Postępy w Elektrotechnologii, 23–25 September 2015, Jamrozowa Polana. IOP Publishing, Bristol, 2016.

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu modelu matematycznego procesów cieplnych zachodzących w materiałach o właściwościach termoelektrycznych (metale, stopy, polimery przewodzące), porównaniu wyników uzyskanych na drodze obliczeniowej z wynikami eksperymentu, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 50 %.

H11. Kolasińska Ewa, Kolasiński Piotr, Mazurek Bolesław: Polymer materials for the heat recovery. W: 8th National Scientific Conference Advances in Electrotechnology: Postępy w Elektrotechnologii, 23–25 September 2015, Jamrozowa Polana. IOP Publishing, Bristol, 2016.

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na przeprowadzeniu analizy literatury na temat źródeł odpadowej energii cieplnej, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 35 %.

H12. Kolasiński Piotr: The method of the working fluid selection for Organic Rankine Cycle (ORC) system with volumetric expander. W: Proceedings of the 3rd International Seminar on ORC Power Systems, ASME-ORC 2015, ed. V. Lemort [i in.]. Brussel: University of Liège and Ghent University, 2015

H13. Kolasiński Piotr, Błasiak Przemysław: Numerical and experimental investigation on the rotary vane expander operation in micro ORC system. W: Proceedings of the 3rd International Seminar on ORC Power Systems, ASME-ORC 2015, ed. V. Lemort [i in.]. Brussel : University of Liège and Ghent University, 2015

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na opracowaniu programu badań, przeprowadzeniu analiz eksperymentalnych, opracowaniu wytycznych do budowy modelu numerycznego ekspandera, analizie i interpretacji wyników doświadczalnych, porównaniu ich z wynikami obliczeń numerycznych, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 60 %.

H14. Nemś Magdalena, Kolasiński Piotr: Patent. Polska, nr 220136. Absorber promieniowania słonecznego do kolektora skupiającego punktowo: F24J 2/05, F24J 2/48, F24J 2/14, F24J 2/24, B64G 1/42, B64G 1/40. Zgłosz. nr 400811 z 18.09.2012. Opubl. 31.08.2015

Mój wkład w powstanie tego patentu polegał na opracowaniu idei absorbera promieniowania słonecznego do kolektora skupiającego punktowo, który może być zastosowany jako parowacz w układzie ORC, udziale w przygotowaniu tekstu patentu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tym patencie wynosi 60 %.

H15. Kolasiński Piotr: Modułowe stanowisko badawcze ORC do badania generacji energii elektrycznej i ciepła użytkowego w skojarzeniu przy zastosowaniu źródeł ciepła o niskim potencjale, Wrocław, 2015

H16. Kolasińska Ewa, Kolasiński Piotr: A Review on Electroactive Polymers for Waste Heat Recovery. Materials. Electroactive Polymers Special Issue, 2016, vol. 9(6), 485, doi: 10.3390/ma9060485. (LF, punktacja MNiSW: **35**, IF: **2,728**)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na przeprowadzeniu analizy literatury na temat źródeł odpadowej energii cieplnej, analizy wydajności konwersji energii i zakresu temperatury stosowania polimerów przewodzących o właściwościach termoelektrycznych oraz porównaniu ich z tradycyjnymi technikami stosowanymi do odzysku odpadowej energii cieplnej udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 50 %.

H17. Kolasiński Piotr, Błasiak Przemysław, Rak Józef: Experimental and Numerical Analyses of the Rotary Vane Expander Operating Conditions in a Micro Organic Rankine Cycle System. Energies. Recent Advances in Organic Rankine Cycle Technology for Stationary Applications Special Issue, 2016, vol. 9(8), 606, doi: 10.3390/en9080606. (LF, punktacja MNiSW: **25**, IF: **2,077**)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na stworzeniu projektu i budowie stanowiska badawczego, opracowaniu programu badań, przeprowadzeniu eksperymentu, opracowaniu wytycznych do budowy modelu numerycznego ekspandera, analizie i interpretacji wyników doświadczalnych, porównaniu ich z wynikami obliczeń numerycznych, udziale w przygotowaniu tekstu manuskryptu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tej publikacji wynosi 60 %.

H18. Nemś Magdalena, Kolasiński Piotr: Patent. Polska, nr 222960. Wymiennik ciepła: F28D 7/00, F28F 1/40. Zgłosz. nr 400812 z 18.09.2012. Opubl. 30.09.2016

Mój wkład w powstanie tego patentu polegał na opracowaniu idei modułowego wymiennika ciepła który może być zastosowany jako parowacz w układzie ORC, udziale w przygotowaniu tekstu patentu i pracach redakcyjnych. Mój udział w tym patencie wynosi 60 %.

Łączna ilość punktów MNiSW dla cyklu publikacji: **152**

Łączna ilość punktów (z podziałem na autorów) MNiSW dla cyklu publikacji: **101,7**

Sumaryczny Impact Factor dla cyklu publikacji: **8,714**

c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania:

Jednym z największych wyzwań dla energetyki jest pokrycie zapotrzebowania energetycznego dynamicznie rozwijającej się gospodarki z jednoczesnym zachowaniem dbałości o środowisko naturalne. Łatwość dostępu do różnych produktów energetycznych i odbiorników energii przekłada się to na stale rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, energię cieplną i inne formy energii. Wzrost zapotrzebowania na energię dotyczy wszystkich

obszarów gospodarki tj. przemysłu, transportu i gospodarstw domowych. Rosnący popyt na energię wiąże się z koniecznością zwiększania mocy i wydajności źródeł wytwórczych. Konieczne są zatem inwestycje związane z budową nowych bloków energetycznych dużej mocy jak i siłowni generacji rozproszonej. Niechęć społeczeństw i władz państw do wysokowydajnej energetyki jądrowej, spowodowana obawami przed awariami powoduje, że pierwotne nośniki energii nadal stanowią podstawowe źródło energii chemicznej zarówno dla energetyki, przemysłu jak i gospodarstw domowych. Ograniczone zasoby paliw kopalnych i groźba ich wyczerpania w nieodległej przyszłości prowadzą do zwiększonej aktywności w obszarze badań nad nowymi, efektywnymi rozwiązaniami w dziedzinie technologii energetycznych. Realizowane są również liczne działania mające na celu edukowanie odbiorców o metodach racjonalizacji konsumpcji energii. Bardzo istotne pozostają również zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego tj. emisji do atmosfery gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń stałych, powstających w procesach spalania paliw kopalnych. Konieczność redukcji emisji tych substancji została uwarunkowana międzynarodowymi zobowiązaniami prawnymi (takimi jak dyrektywy UE obowiązujące w tym zakresie, normy EURO i in.). Prace nad technologiami umożliwiającymi redukcję emisji substancji szkodliwych do atmosfery stanowią jeden z trendów współczesnych badań w obszarze energetyki. Opracowane zostały m.in. technologie wychwytu i sekwestracji CO₂ oraz technologia OXY Fuel. Jednak spełnienie zastrzegających się norm emisji staje się obecnie coraz trudniejsze pod względem technicznym oraz coraz bardziej kosztowne i energochłonne. Jednym z możliwych rozwiązań jest ograniczenie udziału procesów wytwórczych wymagających spalania paliw kopalnych. Zadanie to w wielu przypadkach jest jednak bardzo trudne lub niemożliwe do wykonania z przyczyn technicznych (w wielu przypadkach technologicznych spalanie paliw kopalnych jest jedynym możliwym do zastosowania źródłem energii) i ekonomicznych, ponieważ wymaga zaangażowania znacznych środków finansowych. W przypadku wielu krajów rozwijających się, nieposiadających infrastruktury opartej na wykorzystaniu OZE lub energetyki jądrowej, zminimalizowanie udziału procesów spalania paliw jest bardzo ograniczone.

Perspektywiczną drogą ograniczenia konsumpcji paliw kopalnych są działania związane z dywersyfikacją systemu energetycznego, wspieraniem działalności prosumenckiej, wykorzystaniem odnawialnych i odpadowych źródeł energii, racjonalizacją gospodarki energetycznej i zwiększaniem efektywności procesów konwersji energii.

Wśród różnych form energii możliwych do pozyskania ze źródeł alternatywnych szczególnie interesujące pod względem różnorodności i możliwości wykorzystania są zasoby energii cieplnej. Energia cieplna charakteryzuje się łatwością w konwersji w inne formy takie jak np. energia elektryczna, chłód czy ciepło użytkowe. Procesy konwersji prowadzi się przy wykorzystaniu różnych technologii. Energia cieplna przenoszona jest przez nośniki, które charakteryzują się różnorodnością potencjałów termicznych i form fizycznych. Wyznacznikiem jakości i mocy źródła ciepła, a tym samym jego przydatności do wykorzystania, jest poziom temperatury nośnika i jego wydajność.

Wśród nośników odnawialnych i odpadowych wyróżnić można nośniki wysokotemperaturowe (500—1500 °C), średnitemperaturowe (250—500 °C) i niskotemperaturowe (40—250 °C). Najwyższą jakością charakteryzują się nośniki wysoko- i średnitemperaturowe, dlatego techniki umożliwiające konwersję zawartej w nich energii cieplnej w inne, użyteczne formy energii są obecnie przedmiotem wielu prac badawczych i wdrożeniowych prowadzonych na całym świecie. Jednym z przykładów wykorzystania nośników o wysokiej jakości, pochodzących z zasobów odnawialnych są kogeneracyjne i trigeneracyjne siłownie geotermiczne. Umożliwiają one konwersję energii cieplnej zawartej w wysoko- i średnitemperaturowych nośnikach ciepła geotermicznego w energię elektryczną,

chłód i ciepło użytkowe. W przemyśle prowadzone są procesy odzysku energii cieplnej zawartej w wysoko- i średniotemperaturowych nośnikach odpadowych przy zastosowaniu różnych technologii takich, jak np. kotły odzyskowe i siłownie parowe. Dzięki ich zastosowaniu energia ta może być odzyskana i wykorzystana do pokrywania potrzeb własnych procesów technologicznych np. do wytwarzania pary wodnej w kotłach odzyskowych, podgrzewania substratów spalania, procesów suszenia, generowania energii elektrycznej, ciepła użytkowego i chłodu. Wysoko- i średniotemperaturowe nośniki ciepła nie występują powszechnie a cechą charakterystyczną ich występowania jest agregacja przestrzenna. Nośniki odpadowe o wysokim i średnim potencjale termicznym występują na obszarach dużych zakładów przemysłowych, a obszarami występowania nośników odnawialnych o takim potencjale są obszary aktywne sejsmicznie.

Odnawialne i odpadowe nośniki niskotemperaturowe, w odróżnieniu od nośników wysoko- i średniotemperaturowych, występują powszechnie i cechuje je rozproszenie przestrzenne. Niskotemperaturowe nośniki odpadowe, które pod względem powszechności występowania stanowią najbogatszą grupę, są wykorzystywane rzadko, głównie przez ograniczoną dostępność technik umożliwiających prowadzenie procesów odzysku energii cieplnej w sposób efektywny. Efektywne wykorzystanie tych zasobów energii i ich konwersja w użyteczne formy o wysokiej jakości takie, jak energia elektryczna, ciepło użytkowe i chłód może przyczynić się do rozwoju energetyki rozproszonej i wzrostu udziału energii pochodzącej ze źródeł alternatywnych w rynku. Odzysk energii cieplnej z tych źródeł, może doprowadzić do zwiększenia efektywności energetycznej procesów konwersji energii i w sposób pośredni do zmniejszenia zużycia pierwotnych nośników energii, a tym samym do redukcji emisji gazów i związków szkodliwych do atmosfery.

Jedną z technik konwersji energii cieplnej pochodzącej ze źródeł alternatywnych w energię elektryczną, ciepło użytkowe i chłód są siłownie parowe pracujące wg obiegu Clausiusa-Rankine'a z niskowrzącymi czynnikami roboczymi (tzw. Organic Rankine Cycle – ORC). Badania i prace rozwojowe dotyczące układów ORC prowadzone są obecnie w wielu jednostkach naukowych i badawczo-rozwojowych na całym świecie, i są obecnie jednym z najaktywniej rozwijanych tematów badawczych w dziedzinie układów konwersji energii pochodzącej ze źródeł alternatywnych. Pomimo licznych badań wciąż nie opracowano niezawodnych i bezpiecznych układów ORC, które możliwe byłyby do zastosowania w generacji rozproszonej np. w warunkach domowych.

Obecny stan wiedzy dotyczący układów ORC przedstawiłem w publikacji przeglądowej *Organic Rankine Cycle – technology, applications and current market overview* (pozycja H1). Przegląd literatury wskazuje, że układy ORC klasyfikować można według różnych kryteriów. Biorąc pod uwagę temperaturę źródła ciepła, z którego zasilany jest układ ORC wyróżnić można układy zasilane ze źródeł wysoko-, średnio- i niskotemperaturowych. Pod względem mocy, układy ORC podzielić można na systemy o mocach dużych (500 kW i więcej), średnich (100—500 kW), małych (10—100 kW) i mikro (0,5—10 kW). Prowadząc analizę przy uwzględnieniu typu zastosowanej rozprężarki wyróżnić można układy ORC, w których stosowane są maszyny rotodynamiczne i układy ORC, w których stosowane są maszyny objętościowe. Analiza literatury wskazuje, że stopień zaawansowania i gotowości technicznej układów ORC zależy głównie od mocy układu i typu zastosowanej rozprężarki. W zależności od mocy układu różne są również problemy natury naukowej i technicznej napotymane w trakcie ich projektowania, konstruowania i eksploatacji.

Układy dużej mocy zasilane są przez źródła ciepła charakteryzujące się dużymi wydajnościami i wysokimi temperaturami nośnika (tj. źródła geotermalne i odpadowa energia cieplna występująca w przemyśle). W układach tych stosowane są rozprężarki

rotodynamiczne. Stopień gotowości technicznej układów ORC dużej mocy jest w chwili obecnej na poziomie umożliwiającym ich zastosowanie w aplikacjach przemysłowych. Biorąc pod uwagę konfigurację techniczną układy ORC dużej mocy można podzielić na siłownie, układy kogeneracyjne i trigeneracyjne. Prowadzone prace badawcze i rozwojowe dotyczące układów ORC dużej mocy obejmują optymalizację konfiguracji technicznej układów i podzespołów w celu maksymalizacji osiąganych sprawności. Opracowywane są również nowe czynniki robocze, których zastosowanie zapewnić ma bezpieczeństwo pracy siłowni i maksymalizację ich sprawności.

Układy ORC o mocy średniej zasilane są przez źródła ciepła charakteryzujące się średnimi wydajnościami i temperaturami nośnika. W układach tych stosowane są zarówno rozprężarki rotodynamiczne jak i objętościowe (głównie rozprężarki śrubowe). Stopień gotowości technicznej układów ORC średniej mocy pozwala na instalowanie instalacji pilotażowych w obiektach przemysłowych (m.in. do odzysku ciepła odpadowego). Prace badawcze dotyczące układów ORC średniej mocy obejmują zagadnienia doboru czynnika roboczego, doboru i konstrukcji rozprężarek oraz optymalizacji konfiguracji układów i podzespołów w celu maksymalizacji osiąganych sprawności.

Układy o mocy małej i układy o mocy mikro, docelowo skierowane do wykorzystania przez prosumentów, zasilane są przez źródła ciepła charakteryzujące się niskimi wydajnościami i temperaturami nośnika. Źródła te bardzo często charakteryzują się zmiennością charakterystyki temperaturowej i wydajności, co bezpośrednio przekłada się na niekorzystne i zmienne warunki dostarczania ciepła, a tym samym pracę układu ORC. W układach tych wykorzystywane są głównie rozprężarki objętościowe (m.in. maszyny spiralne), jednak istnieją również próby zastosowania maszyn rotodynamicznych. Układy te znajdują się w fazie badawczej i badań konstrukcji prototypowych. Nie istnieją obecnie komercyjnie dostępne rozwiązania. W zakresie konfiguracji technicznej podzielić je można na siłownie i układy kogeneracyjne. Prace badawcze nad konstrukcjami układów ORC małej i mikro mocy obejmują zagadnienia doboru czynników roboczych, doboru wymienników ciepła, pomp i konstrukcji rozprężarek.

Układy ORC o mocy małej i mikro, przeznaczone dla prosumentów powinny cechować się niskimi kosztami inwestycyjnymi. Głównymi składowymi kosztami układów ORC są koszty wytworzenia wymienników ciepła i rozprężarki. Konstrukcja rozprężarek rotodynamicznych wiąże się z koniecznością stosowania dużych dokładności wykonania i bezpośrednio przekłada się na wysokie koszty takich maszyn. W celu zapewnienia optymalnych warunków pracy i wysokiej sprawności rozprężarki rotodynamicznej, przepływ czynnika roboczego przez maszynę powinien cechować się dużą wydajnością i być utrzymywany na stabilnym poziomie. Zapewnienie takich warunków przepływu czynnika roboczego przez maszynę wiąże się z koniecznością stosowania wysokowydajnych pomp o specjalnej konstrukcji. W przypadku maszyn przeznaczonych do zastosowania w układach ORC o mocy małej i mikro konieczna jest minimalizacja mocy i gabarytów zewnętrznych rozprężarki. Maszyny rotodynamiczne małej i mikro mocy charakteryzują się bardzo dużymi prędkościami obrotowymi, co prowadzi do komplikacji w rozwiązaniu połączenia rozprężarki z generatorem prądu.

W porównaniu do rozprężarek rotodynamicznych, rozprężarki objętościowe cechują się znacznie mniejszym zakresem ciśnień pracy i mniejszym zapotrzebowaniem na przepływ czynnika roboczego. W prototypach układów ORC małej i mikro mocy stosowane są m.in. rozprężarki spiralne i tłokowe. Rozprężarki spiralne cechują się skomplikowaną konstrukcją, a ich fabrykacja wymaga zaawansowanego zaplecza maszynowego w celu zachowania wysokiej jakości wykonania spiral, która przekłada się bezpośrednio na wysokie koszty takich rozprężarek. Stosowane w układach ORC prototypowe rozprężarki spiralne wykonywane są również w wersjach niewymagających smarowania. W porównaniu do rozprężarek

spiralnych, rozprężarki tłokowe charakteryzują się znacznie prostszą konstrukcją, jednak wymagają one smarowania, stosowania rozrządu zaworowego, a podczas ich pracy generowane są wibracje związane z cyklicznością pracy.

Maszyny wielołopatkowe cechują się z kolei bardzo prostą konstrukcją, przekładającą się bezpośrednio na niskie koszty wytwarzania, i korzystnym stosunkiem uzyskiwanej mocy do gabarytów zewnętrznych. Zastosowanie odpowiednich materiałów konstrukcyjnych do wykonania maszyny może pozwolić na eliminację konieczności smarowania. Maszyna wielołopatkowa, w porównaniu do innych typów maszyn objętościowych i maszyn rotodynamicznych, cechuje się też mniejszym zapotrzebowaniem na przepływ czynnika roboczego i mniejszym zakresem ciśnień pracy. Jednocześnie, jest to konstrukcja, którą w sposób nieskomplikowany można zhermetyzować, co w przypadku układów ORC jest jednym z kluczowych zagadnień konstrukcyjnych. Maszyna wielołopatkowa jest niewrażliwa na rozprężanie mieszaniny ciec-z-gaz co, w przypadku zasilania układu ORC przez źródło ciepła o zmiennej charakterystyce termicznej, jest jej bardzo dużą zaletą. Sprężarki i rozprężarki wielołopatkowe stosowane są w wielu aplikacjach przemysłowych m.in. w górnictwie, chłodnictwie i układach pneumatycznych. Rozprężarki wielołopatkowe cechują się mocami od kilkuset W do ok. 5 kW. Maksymalne ciśnienia zasilania maszyn wielołopatkowych to ciśnienia rzędu ok. 10 bar. Maszyny te charakteryzują się prędkościami obrotowymi rzędu 3000 obr/min.

Wymienione wyżej cechy rozprężarek wielołopatkowych wskazują, że maszyna ta może być bardzo interesującą alternatywą dla maszyn rotodynamicznych i innych typów maszyn objętościowych stosowanych w układach ORC małej i mikro mocy przeznaczonych do generowania energii elektrycznej i ciepła użytkowego przez prosumentów. Przeprowadzone rozeznanie literaturowe wskazuje, że zagadnienia dotyczące wykorzystania maszyn rotacyjnych wielołopatkowych jako rozprężarek w układach ORC małej i mikro mocy są nowatorskie, nie w pełni opisane naukowo i mają potencjał wdrożenia w praktyce. Dodatkowo przegląd literatury wskazuje, że niedostatecznie rozpoznane i opisane naukowo są zagadnienia doboru czynnika roboczego, minimalizacji gabarytów układu ORC, minimalizacji kosztów układu i eliminacji negatywnego wpływu zmiennej charakterystyki źródła ciepła na pracę układu.

Rozwiązanie postawionych zagadnień wymaga jednak obszernej analizy studialno-doświadczalnej. Dlatego też w oparciu o swoje zainteresowania naukowe zdecydowałem się podjąć prace badawcze dotyczące możliwości wykorzystania maszyn wielołopatkowych jako rozprężarek w domowych, hybrydowych kogeneracyjnych układach ORC zasilanych z niskotemperaturowych źródeł ciepła.

Wynikiem przeprowadzonych przeze mnie analiz jest cykl prac (składający się z 15 publikacji, 2 patentów i stanowiska badawczego), powiązanych tematycznie z tytułowany: **Badania kogeneracyjnych hybrydowych układów ORC zasilanych z niskotemperaturowych źródeł ciepła i wykorzystujących rozprężarki wielołopatkowe.**

W cyklu prac prezentowanym jako osiągnięcie habilitacyjne, przeanalizowałem i zaprezentowałem zagadnienia dotyczące:

- Modelowania termodynamicznego i numerycznego zjawisk fizycznych zachodzących w rozprężarkach wielołopatkowych stosowanych w układach ORC mikro mocy,
- Minimalizacji wpływu zmiennej charakterystyki niskotemperaturowego źródła ciepła na pracę układu ORC przy zastosowaniu akumulatorów ciepła i technik modulowania charakterystyki źródła,
- Badań doświadczalnych na układach ORC mikro mocy obejmujących analizę pracy rozprężarek wielołopatkowych,

- Wykorzystania polimerów przewodzących o właściwościach termoelektrycznych do budowy hybrydowych układów ORC.

W publikacji *A solar high-temperature heat accumulation system with an ORC generator* (pozycja H2) przedstawiłem koncepcję wykorzystania układu ORC mikro mocy do zasilania w energię elektryczną autonomicznego domu solarnego, w którym energia cieplna jest pozyskiwana z energii promieniowania słonecznego w liniowym kolektorze skupiającym i akumulowana w granitowym akumulatorze ciepła o wysokiej pojemności. W założeniu, energia cieplna zmagazynowana w akumulatorze zapewniać ma ciągłość pracy układu ORC w ciągu doby, w tym także w okresie nocnym. W publikacji przeanalizowane zostały różne warianty konfiguracji układu ORC i akumulatora ciepła i przedstawione zostały wyniki symulacji rocznej pracy układu akumulacji ciepła oraz modele rozładowywania akumulatora. Przeprowadzona została analiza porównawcza czynników roboczych możliwych do zastosowania w układzie ORC i na podstawie tej analizy, jako potencjalny do zastosowania w rozwiązaniu aplikacyjnym wytypowany został czynnik R245fa. Uzyskane wyniki wskazały na możliwość zasilania układów ORC przez akumulatory ciepła i zachęciły mnie do prowadzenia dalszej analizy tego zagadnienia.

W publikacji *Use of the Renewable and Waste Energy Sources in Heat Storage Systems Combined with ORC Power Plants* (pozycja H3) przeanalizowałem możliwości skojarzenia pracy układów ORC z systemami akumulacji ciepła. Wskazałem, że możliwe jest wykorzystanie energii cieplnej zakumulowanej w systemie akumulacji do stabilizowania przebiegu zmiennej charakterystyki źródła ciepła i niwelowania jej negatywnego wpływu na ciągłość pracy układu ORC poprzez modulowanie charakterystyki źródła lub realizowanie dodatkowego doprowadzenia czynnika roboczego do rozprężarki. Zaproponowałem też rozwiązania dotyczące wykorzystania systemów akumulacji ciepła do wstępnego podgrzewania czynnika roboczego i podgrzewania wody obiegowej kierowanej do systemu centralnego ogrzewania. W publikacji przedstawiłem również modele opisujące sprawność układów ORC skojarzonych z systemami akumulacji ciepła, za pomocą których przeanalizowałem możliwą poprawę sprawności tych układów dzięki wykorzystaniu systemów akumulacji ciepła.

W publikacji *The Application of Rotary Vane Expanders in ORC Systems – Thermodynamic Description and Experimental Results* (pozycja H4) przedstawiłem model matematyczny ekspandera wielołopatkowego i przeprowadziłem doświadczalną próbę możliwości zastosowania tych maszyn ekspansyjnych w układach ORC. Badania doświadczalne przeprowadziłem na stanowisku badawczym znajdującym się w Laboratorium Procesów Termodynamicznych i Badań Własności Ciepłych Substancji, Katedry Termodynamiki, Teorii Maszyn i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej. Głównym celem badań było przeprowadzenie serii doświadczeń i analiz dotyczących charakteru pracy rozprężarek wielołopatkowych zasilanych czynnikiem niskowrzącym oraz ocena ich niezawodności. W doświadczeniu wykorzystałem silniki pneumatyczne wielołopatkowe, które zostały przystosowane do pracy z czynnikiem niskowrzącym poprzez zastosowanie łożysk kulkowych wykonanych ze stali kwasoodpornej, łopatek wykonanych z teflonu modyfikowanego grafitem i teflonowych uszczelnień korpusu. Badania prowadzone były w 6,5 godzinnych seriach pomiarowych, a czynnikiem roboczym układu ORC był R123. W trakcie pomiarów rejestrowane były najważniejsze parametry pracy układu ORC, w tym ciśnienie, temperatura, natężenie przepływu czynnika niskowrzącego i czynnika chłodzącego oraz obserwowany był przebieg pracy ekspanderów. W trakcie badań nie zaobserwowano uszkodzenia i nieprawidłowości w pracy rozprężarek. Po wykonaniu badań eksperymentalnych rozprężarki zostały rozmontowane i poddane ocenie pod względem zużycia elementów. Stwierdzono, że elementy konstrukcyjne maszyn nie noszą śladów

zużycia. Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych udowodniły, że rozprężarki wielołopatkowe mogą być stosowane w układach ORC i są interesującą alternatywą dla innych typów rozprężarek wykorzystywanych w układach ORC.

W publikacji *Chosen problems of the dynamic heat source modulation in ORC systems* (pozycja H5) przedstawiłem istotność problemów związanych ze zmiennością charakterystyki źródła ciepła zasilającego układ ORC i jego negatywnego wpływu na warunki pracy układu i zaproponowałem metody umożliwiające modulowanie zmiennej charakterystyki źródła ciepła. Wykazałem, że możliwe jest modulowanie charakterystyki źródła poprzez wykorzystanie dwóch źródeł ciepła o różnych charakterystykach, jak również poprzez spalanie paliw odpadowych generowanych w procesach przemysłowych i wykorzystanie akumulatorów ciepła.

W publikacji *The application of Rosenblad heat exchangers in the ORC domestic systems* (pozycja H6) przedstawiłem analizę możliwości zastosowania kompaktowych, spiralnych wymienników ciepła w domowych układach ORC małej i mikro mocy. Jednym z najważniejszych problemów dotyczących minimalizacji gabarytów zewnętrznych takich układów jest minimalizacja gabarytów wymienników ciepła. Spiralne wymienniki ciepła charakteryzują się dużymi współczynnikami przenikania ciepła i małymi gabarytami zewnętrznymi w stosunku do mocy wymiennika. W publikacji przedstawiony został model matematyczny zjawiska przepływu ciepła w wymienniku i iteracyjna metoda obliczeniowa wymiennika. Wymiennik był analizowany dla przeciwprądowego przepływu wody stanowiącej nośnik ciepła zasilającego układ ORC i niskowrzącego czynnika roboczego R245fa będącego proekologicznym i jednym z powszechnie stosowanych czynników roboczych w prototypowych układach ORC małej i mikro mocy. Analiza obliczeniowa była przeprowadzona w oparciu o porównanie gabarytów zewnętrznych wymiennika płaszczowo-rurowego i wymiennika spiralnego dla tych samych warunków dostarczania ciepła. Wyniki analizy wskazały, że wymiennik spiralny charakteryzuje się znacznie mniejszymi gabarytami zewnętrznymi od wymiennika płaszczowo-rurowego a jego zastosowanie może doprowadzić do znacznej minimalizacji gabarytów zewnętrznych układów ORC przeznaczonych do zastosowań w rozproszonej, domowej kogeneracji energii elektrycznej i ciepła.

Przedstawione w publikacji H6 zagadnienia zostały rozwinięte i przedstawione w artykule *The use of Spiral Heat Exchangers in the ORC Domestic Systems* (pozycja H9).

W publikacji *The Influence of the Heat Source Temperature on the Multivane Expander Output Power in an Organic Rankine Cycle (ORC) System* (pozycja H7) przedstawiłem wyniki badań eksperymentalnych dotyczących wpływu zmiennej temperatury źródła ciepła na moc ekspandera wielołopatkowego pracującego w układzie ORC. Głównym celem badań była obserwacja warunków pracy rozprężarki wielołopatkowej i wyznaczenie jej mocy w trakcie pracy układu przy zmiennych warunkach dostarczania ciepła. Źródłem ciepła dla układu była woda z obiegu centralnego ogrzewania kotła gazowego o mocy 24 kW. Układ ten pozwala na dynamiczne symulowanie zmienności charakterystyki termicznej źródła ciepła dzięki regulacji temperatury wody w zakresie 40—90 °C. Umożliwia to symulację różnych odnawialnych i odpadowych źródeł ciepła o zmiennych charakterystykach (np. ciepła promieniowania słonecznego z kolektorów). Badania prowadzono w kilkugodzinnych kampaniach pomiarowych. Wyniki przeprowadzonych badań poszerzyły zakres badawczy przedstawiony w publikacji H4. Dodatkowo umożliwiły poznanie wpływu zmiennej temperatury źródła ciepła na warunki pracy układu ORC. W trakcie badań rejestrowałem parametry pracy rozprężarki i obserwowałem jej działanie. Zauważyłem, że niezależnie od temperatury źródła ciepła rozprężarka pracowała bez awarii. Uzyskane wyniki potwierdziły wnioski z analizy przedstawionej w publikacji H4 i dowiodły, że rozprężarka wielołopatkowa jest bardzo interesującą alternatywą dla obecnie stosowanych rozprężarek i istnieje możliwość zastosowania tej maszyny w domowych układach ORC. Dodatkowo, wynikiem badań był

doświadczalny dowód możliwości realizacji obiegu ORC w zakresie temperatur źródła ciepła od 40—60 °C. Z mojej wiedzy wynika, że do chwili obecnej są to jedyne tego typu badania przeprowadzone w skali światowej. Realizacja obiegu ORC w niskim zakresie temperatur źródła ciepła możliwa była dzięki zastosowaniu rozprężarki wielołopatkowej, która cechuje się niskim zapotrzebowaniem na przepływ czynnika roboczego i niskim zakresem ciśnień pracy.

Jednym z najistotniejszych problemów związanych z modelowaniem maszyn wielołopatkowych jest zagadnienie dotyczące wymiany ciepła i przecieków czynnika roboczego pomiędzy łopatkami maszyny a cylindrem. Warunki wymiany ciepła na tej powierzchni i przecieki mają istotny wpływ na sprawność ekspandera. Zagadnienia te nie są dostatecznie opisane naukowo i istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań w tym kierunku. Analizy doświadczalne w tym obszarze są trudne ze względu na szybkość zachodzenia procesów i wymagają zastosowania wyrafinowanych technik pomiarowych. Jedną z dróg poznania tych zjawisk jest symulacja numeryczna, z metodami której zapoznałem się w trakcie prac nad publikacją *Modelling of the Mixed Convection in a Lid-driven Cavity with a Constant Heat Flux Boundary Condition* (pozycja H8). Doświadczenie zdobyte w trakcie realizacji badań numerycznych przedstawionych w tej publikacji pomogło mi w sformułowaniu wytycznych do budowy trójwymiarowego modelu numerycznego ekspandera wielołopatkowego i przeprowadzenia serii symulacji numerycznych, których wyniki przedstawiono w publikacjach *Numerical and experimental investigation on the rotary vane expander operation in micro ORC system* (pozycja H13) i *Experimental and Numerical Analyses of the Rotary Vane Expander Operating Conditions in a Micro Organic Rankine Cycle System* (pozycja H17), opisanych szczegółowo w dalszej części niniejszego wniosku.

Kolejnym istotnym zagadnieniem związanym z domowymi układami ORC małej i mikro mocy jest konieczność pokrycia potrzeb własnych układu tj. zasilania pompy i układu automatycznej regulacji. W przypadku układów pracujących z ekspanderami wielołopatkowymi, moc niezbędna do zasilania tych układów jest relatywnie mała, ze względu na niskie zapotrzebowanie na przepływ czynnika roboczego i niski zakres ciśnień pracy. Zapotrzebowanie to może być pokrywane poprzez dostarczanie energii elektrycznej z sieci lub wykorzystanie innych technik. Nowatorską techniką konwersji energii cieplnej w energię elektryczną jest zastosowanie materiałów polimerowych o właściwościach termoelektrycznych. Materiały te umożliwiają bezpośrednią konwersję energii cieplnej w energię elektryczną. W przypadku domowych układów ORC istnieje możliwość budowy układów hybrydowych poprzez naniesienie takich materiałów bezpośrednio na gorące powierzchnie maszyn i armatury i tym samym generowanie energii elektrycznej służącej do pokrycia potrzeb własnych układu ORC. Zagadnieniom wykorzystania do tego celu materiałów polimerowych o właściwościach termoelektrycznych poświęcone są publikacje H10, H11 i H16, które powstały w ramach współpracy z dr inż. Ewą Kolasińską i prof. Bolesławem Mazurkiem z wrocławskiego Oddziału Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego Instytutu Elektrotechniki.

W publikacji *Direct waste heat recovery via thermoelectric materials - chosen issues of the thermodynamic description* (pozycja H10) przedstawione zostały wyniki badań doświadczalnych na materiale polimerowym o właściwościach termoelektrycznych przeprowadzonych w Instytucie Elektrotechniki. Wyniki tych badań pozwoliły mi na stworzenie modelu matematycznego wiążącego ze sobą parametry elektryczne, materiałowe i warunki wymiany ciepła w materiale. Za pomocą modelu matematycznego przeanalizowałem wpływ zastosowanego materiału na własności termoelektryczne próbki. Uzyskano dobrą zgodność wyników otrzymanych z modelu z wynikami badań doświadczalnych. Zbudowany model matematyczny umożliwia symulowanie wpływu różnych warunków pracy, własności materiałowych i geometrii na napięcie generowane w materiale. Model ten jest przydatnym

narzędziem w przypadku analizy możliwości zastosowania takich materiałów w układach ORC charakteryzujących się mnogością kształtów powierzchni armatury i urządzeń.

W publikacji *Polymer materials for the heat recovery* (pozycja H11) przeprowadzono wstępną analizę możliwości zastosowania polimerowych materiałów o właściwościach termoelektrycznych do odzysku odpadowej energii cieplnej, zwłaszcza ze źródeł niskotemperaturowych. Przedstawiono przegląd literatury dotyczący źródeł odpadowej energii cieplnej i dokonano ich klasyfikacji pod względem temperatury nośnika. Zagadnienia te rozwinęto i przedstawiono w pozycji *A Review on Electroactive Polymers for Waste Heat Recovery* (pozycja H16). W publikacji tej wskazano możliwość wykorzystania polimerowych materiałów o właściwościach termoelektrycznych do bezpośredniego pozyskiwania ciepła ze źródeł ciepła odpadowego i częściowego pokrycia zapotrzebowania własnego układów ORC.

W publikacji *The method of the working fluid selection for Organic Rankine Cycle (ORC) system with volumetric expander* (pozycja H12) przedstawiłem parametryczną metodę doboru czynnika roboczego do układu ORC pracującego z rozprężarką objętościową. Na przykładzie wybranych niskowrzących czynników roboczych przeprowadziłem analizę doboru czynnika roboczego do układu ORC zasilanego z niskotemperaturowego źródła ciepła. Przedstawiona metoda doboru czynnika roboczego może być pomocnym narzędziem przy zagadnieniach związanych z projektowaniem układów. Metoda umożliwia prowadzenie analizy porównawczej czynników roboczych pod względem różnych parametrów, z których najważniejsze to moc ekspandera i sprawność układu.

Wstępne wyniki badań eksperymentalnych i numerycznych dotyczących analizy pracy ekspandera wielołopatkowego w układzie ORC przedstawiłem w publikacji *Numerical and experimental investigation on the rotary vane expander operation in micro ORC system* (pozycja H13). Wyniki badań eksperymentalnych pozyskanych na stanowisku badawczym wykorzystane zostały jako dane służące do walidacji trójwymiarowego modelu numerycznego rozprężarki. Badania numeryczne przeprowadzone w oprogramowaniu ANSYS CFX pozwoliły na rozpoznanie charakteru zjawisk zachodzących w komorach roboczych ekspandera. Wyniki analizy wskazały na istnienie niedoskonałości konstrukcyjnych maszyny ograniczających jej wydajność w postaci ostrych krawędzi okna wlotowego i wylotowego powodujących zawirowania czynnika roboczego i przecieków wewnętrznych.

W ramach prowadzonych prac badawczych zaproponowałem również nowatorskie konstrukcje wymienników ciepła przeznaczonych do wykorzystania w systemach ORC. Konstrukcje te przedstawiłem w dwóch patentach.

W patencie *Absorber promieniowania słonecznego do kolektora skupiającego punktowo* (pozycja H14) zaproponowałem nową konstrukcję absorbera promieniowania słonecznego do kolektora skupiającego punktowo, przeznaczonego do zastosowania jako parowacz układu ORC.

W patencie *Wymiennik ciepła* (pozycja H18) zaproponowałem nową konstrukcję modułowego wymiennika ciepła do odzysku niskotemperaturowego ciepła odpadowego. Wymiennik ten może być zastosowany jako parowacz układu ORC.

Doświadczenie zdobyte w trakcie prac badawczych przeprowadzonych na prototypowym stanowisku badawczym pozwoliły mi na zdefiniowanie założeń projektowych i optymalizacyjnych, którymi posłużyłem się w trakcie budowy *Modułowego stanowiska badawczego ORC do badania generacji energii elektrycznej i ciepła użytkowego w skojarzeniu przy zastosowaniu źródeł ciepła o niskim potencjale* (pozycja H15). Stanowisko to, zbudowane w sierpniu 2015 roku jest prototypem kompaktowego modułowego, domowego układu ORC wykorzystującego rozprężarkę wielołopatkową. Istotnymi zmianami w odniesieniu do wcześniejszego stanowiska jest optymalizacja konstrukcji dzięki minimalizacji gabarytów zewnętrznych układu i zmniejszenie napełnienia stanowiska

badawczego czynnikiem niskowrzącym, co możliwe było m.in. poprzez zastosowanie kompaktowych wymienników płytowych. Pierwsze badania przeprowadzone na prototypie pokazały, że stanowisko to bardzo szybko odpowiada na zmieniające się warunki dostarczania ciepła ze źródła. Duża pojemność zastosowanego w stanowisku parowacza pozwala na sterowanie czasem pracy pompy, co z kolei pozwala na ograniczenie ilości energii elektrycznej pobieranej przez pompę z sieci. Zaobserwowałem, że po wyłączeniu pompy zasób gazu w wymienniku jest na tyle duży, że zapewnia pracę rozprężarki przez ok. 2 minuty bez spadku ciśnienia wlotowego.

W ramach badań doświadczalnych przeprowadzonych na nowym stanowisku pozyskałem serię danych pomiarowych, na podstawie których przeprowadzono prace nad ulepszeniem modelu numerycznego ekspandera, opracowanego w ramach realizacji prac nad publikacją H13. Model ten wraz z wynikami analizy eksperymentalnej i numerycznej przedstawiono w publikacji *Experimental and Numerical Analyses of the Rotary Vane Expander Operating Conditions in a Micro Organic Rankine Cycle System* (pozycja H17). Na zmodyfikowanym modelu numerycznym przeprowadzono serię analiz obliczeniowych mających na celu określenie warunków pracy rozprężarki. W wyniku symulacji numerycznych otrzymano mapy rozkładu temperatury, ciśnienia i prędkości czynnika roboczego w komorach roboczych rozprężarki. Analiza numeryczna wskazała na istnienie zjawiska rekompresji czynnika roboczego w końcowej fazie cyklu rozprężarki przed jego wytłoczeniem z maszyny. Jest to zjawisko niekorzystne, ponieważ prowadzi do zmniejszenia spadku ciśnienia czynnika roboczego i tym samym do zmniejszenia mocy maszyny. Zmniejszenie wpływu tego zjawiska jest możliwe poprzez odpowiednią modyfikację konstrukcji maszyny w szczególności zmiany położenia portu wylotowego z ekspandera i przesunięcia położenia wirnika. Analiza uzyskanych danych pozwoliła na zdefiniowanie wytycznych dotyczących optymalizacji konstrukcji rozprężarek łopatkowych stosowanych w układach ORC.

Badania przeprowadzone w ramach pracy habilitacyjnej pozwalają na sformułowanie następujących wniosków ogólnych:

- Domowe kogeneracyjne układy ORC znajdują się obecnie w fazie intensywnych prac badawczych prowadzonych w wielu jednostkach badawczych na całym świecie. Konstrukcja tych układów jest jednym z wiodących tematów badawczych prowadzonych obecnie w zakresie wykorzystania odnawialnych i odpadowych źródeł energii.
- Rozprężarki wielołopatkowe stanowią interesującą alternatywę dla innych stosowanych w układach ORC małej i mikro mocy rozprężarek objętościowych i rotodynamicznych. Rozprężarki te charakteryzują się prostą konstrukcją, są łatwe w uszczelnieniu i tanie w budowie oraz eksploatacji.
- Możliwa jest praktyczna realizacja obiegu ORC dla niskiej temperatury źródła ciepła (40—60 °C).
- Do najważniejszych problemów eksploatacyjnych układów ORC małej i mikro mocy zaliczyć można zmienność charakterystyk: wydajności i termicznej źródła ciepła. Wpływ tej zmienności można zminimalizować za pomocą metod zaproponowanych w publikacjach H3 i H5 (np. modulowanie charakterystyki przy wykorzystaniu akumulatorów ciepła).
- Wykorzystanie spiralnych wymienników ciepła może pozwolić na znaczną minimalizację gabarytów zewnętrznych układu ORC przy zachowaniu takiej samej mocy.
- Dobór czynnika roboczego do układu ORC z rozprężarką objętościową można prowadzić przy pomocy metody parametrycznej, przedstawionej w publikacji H12 i opartej na analizie porównawczej parametrów termodynamicznych czynników.

- Polimerowe materiały o właściwościach termoelektrycznych stanowią bardzo interesującą perspektywę do budowy hybrydowych układów ORC. Wskazane jest prowadzenie dalszych prac nad ich rozwojem a w szczególności zwiększenia wydajności konwersji, poszukiwania metod formowania i nanoszenia tych materiałów na powierzchnie o różnej geometrii.
- Optymalizacja procesów termodynamicznych zachodzących w ekspanderze możliwa jest na drodze zmiany jego konstrukcji i geometrii.
- Możliwa jest budowa domowych kogeneracyjnych układów ORC z wykorzystaniem maszyn wielołopatkowych.
- Maszyny wielołopatkowe pracują w zakresie niskich ciśnień roboczych i małych przepływów czynnika roboczego.
- Niskie ciśnienia pracy maszyny bezpośrednio przekładają się na bezpieczeństwo układu oraz możliwość stosowania powszechnie znanych i tanich technik łączenia rurociągów (np. lutowanie).
- Mały przepływ czynnika roboczego, który jest niezbędny do zasilania rozprężarki daje możliwość stosowania tanich i powszechnie dostępnych pomp obiegowych (np. pomp wielołopatkowych) charakteryzujących się niskim zapotrzebowaniem na moc napędową.
- W celu zapewnienia minimalizacji kosztów domowych układów ORC, ich gabarytów zewnętrznych i ciężaru, w układach takich powinny być stosowane wymienniki charakteryzujące się kompaktową konstrukcją przy jednoczesnym zachowaniu dużej mocy. Wymiennikami takimi mogą być wymienniki płytowe lub wymienniki spiralne.
- Zastosowanie parowacza o wysokiej pojemności daje możliwość stosowania cyklicznej pracy pompy obiegowej układu, a co za tym idzie minimalizacji ilości energii potrzebnej do jej napędu.
- Wyniki prac przedstawionych w osiągnięciu habilitacyjnym mogą być wykorzystane w praktyce, w szczególności przy projektowaniu rozprężarek wielołopatkowych i wdrażaniu domowych kogeneracyjnych układów ORC.

Prace przedstawione w osiągnięciu habilitacyjnym były cytowane 6 razy wg bazy danych Web of Science, 10 razy wg bazy danych Scopus i 14 razy wg bazy danych Google Scholar.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych:

Zakres tematyczny mojej działalności naukowo-badawczej obejmuje techniki wykorzystania odnawialnych i odpadowych źródeł energii w przemyśle oraz energetyce zawodowej i rozproszonej. Zagadnieniami tymi zainteresowałem się w czasie studiów magisterskich, które realizowałem w latach 2001-2005 na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej, i które ukończyłem w 2005 roku realizując pracę magisterską pt. *Projekt realizacji obiegu ORC* pod kierunkiem dra. inż. Sławomira Pietrowicza. Tematyka ta bardzo mnie zainteresowała, dlatego w 2005 roku podjąłem studia doktoranckie, które ukończyłem w 2010 roku obroną pracy doktorskiej pt. *Termodynamika układów konwersji energii o zmiennej ilości czynnika roboczego* napisaną pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gnutka. Praca ta uzyskała wyróżnienie Rady Naukowej Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej. W obszarze mechaniki i budowy maszyn szczególnie interesujące stały się dla mnie zagadnienia związane z budową i eksploatacją nowoczesnych i zaawansowanych zespołów maszyn, urządzeń i materiałów służących do wykorzystania zasobów energii odpadowej.

Oprócz problematyki poruszanej w publikacjach włączonych do osiągnięcia habilitacyjnego, po uzyskaniu stopnia doktora, prowadziłem również badania w innych obszarach dotyczących wykorzystania alternatywnych źródeł energii i maszyn energetycznych.

Pierwszym obszarem badawczym, któremu poświęciłem swoją uwagę były prace związane z autonomicznymi regionami energetycznymi i energetyką lokalną. Zagadnienia te analizowałem w latach 2011—2015 w ramach projektu *ENERGYREGION – Effective development of dispersed renewable in combination with conventional energy in Regions*, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu Central Europe i realizowanego wspólnie z 4 partnerami z Niemiec (KEEA – Klima und Energieeffizienz Agentur, Cölbe, Stadt Baunatal, Parish Council of Niestetal), 3 z Czech (Porsenna o.p.s, Local action group Moravian Karst), 1 ze Słowenii (E-zavod Institute for Comprehensive Development Solutions) i 3 z Polski (Poltegor Instytut, Instytut Automatyki Systemów Energetycznych, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego). W projekcie tym pełniłem rolę członka komitetu sterującego, głównego wykonawcy i eksperta. Udział w tym projekcie dał mi możliwość pracy w międzynarodowym zespole badawczym składającym się ze specjalistów z różnych dziedzin i w znaczący sposób przyczynił się do podniesienia moich kwalifikacji zawodowych oraz pozwolił na zapoznanie się z warunkami i metodami pracy w jednostkach zagranicznych. Ponadto, udział w projekcie *ENERGYREGION* poświęconym zagadnieniom autonomicznych regionów energetycznych i energetyki lokalnej opartej o rozproszoną generację energii, utwierdził mnie w słuszności wyboru kierunku prowadzonych prac naukowych ujętych w osiągnięciu habilitacyjnym.

Wyniki prac przeprowadzonych w ramach projektu *ENERGYREGION* zaprezentowane zostały w 1 artykule opublikowanym w czasopiśmie *Energetyka Ciepła i Zawodowa*, 6 publikacjach podczas międzynarodowej konferencji pt. *Fostering communities on energy transition, climate protection and regional development*, która odbyła się we Wrocławiu w dniach 25-26 listopada 2014 roku i w 13 pracach niepublikowanych, których jestem współautorem. Planuję wydanie kolejnych publikacji związanych z tą tematyką.

Drugim obszarem mojej działalności naukowo-badawczej były analizy dotyczące własności cieplnych materiałów. W tym zakresie prowadziłem badania dotyczące wyznaczania emisyjności metali przy zastosowaniu technik termowizyjnych oraz możliwości wykorzystania roztworów przesyconych do pozyskiwania ciepła ze źródeł alternatywnych o niskich potencjałach. Wyniki badań dotyczących wyznaczania emisyjności mosiądzu polerowanego przy zastosowaniu termowizji przedstawiłem, wspólnie z dr inż. Michałem Pomorskim w publikacji pt. *Wyznaczanie współczynnika emisyjności w kierunku normalnym dla mosiądzu polerowanego przy zastosowaniu termowizji*, przedstawionej na konferencji międzynarodowej *1st International Congress on Thermodynamics*, która odbyła się w Poznaniu w dniach 4—7 września 2011 roku. Badania nad wykorzystaniem roztworów przesyconych do pozyskiwania ciepła ze źródeł alternatywnych o niskich potencjałach prowadziłem we współpracy z dr inż. Ewą Kolasińską (Zawadzka) z Instytutu Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu. Ich wyniki przedstawione zostały w publikacji pt. *Wstępna analiza możliwości wykorzystania roztworów przesyconych do pozyskiwania ciepła ze źródeł alternatywnych o niskich potencjałach*, przedstawionej na konferencji XIV Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, która odbyła się w dniach 6—9 września 2010 roku. Publikacja ta została nagrodzona przez Komitet Naukowy Konferencji nagrodą za najlepszy poster.

Trzecim obszarem badawczym, któremu poświęciłem swoją uwagę były zagadnienia dotyczące metod oceny efektywności energetycznej procesów konwersji energii w

budownictwie i energetyce rozproszonej oraz jej zwiększania przy wykorzystaniu aglomeracji przestrzennej układów konwersji energii. Wyniki analiz prowadzonych w tym obszarze przedstawiłem, wspólnie ze współautorami w rozdziale pt. *Charakterystyka energetyczna budynku jako narzędzie służące do doboru systemu grzewczego* i w rozdziale pt. *Wybrane zagadnienia aglomeracji przestrzennej układów konwersji energii pochodzącej ze źródeł alternatywnych* opublikowanych w książce pod red. prof. Jana Talera pt. *Systemy, technologie i urządzenia energetyczne: praca zbiorowa*, wydanej w roku 2010.

Zagadnieniom tym poświęcona była również publikacja opracowana wspólnie z prof. Zbigniewem Gnutkiem i dr inż. Michałem Pomorskim pt. *Ocena nakładów energetycznych na stabilizację temperatury w komorze izotermicznej*, przedstawiona na konferencji międzynarodowej *1st International Congress on Thermodynamics*, która odbyła się w Poznaniu w dniach 4—7 września 2011 roku.

Na całokształt mojego dorobku naukowego składa się 48 prac publikowanych (w tym 30 opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora), 31 prac niepublikowanych stanowiących sprawozdania z przeprowadzonych badań (w tym 19 opracowanych po uzyskaniu stopnia doktora) i 2 patenty przyznane po uzyskaniu stopnia doktora.

W okresie październik-listopad 2010 roku przebywałem na podoktorskim stażu szkoleniowym z zakresu energetyki jądrowej. Staż ten odbywał się w Instytucie ISaR (Institute for Safety and Reliability) Politechniki Monachijskiej (Technische Universität München). Udział w tym stażu w znaczący sposób przyczynił się do podniesienia moich kwalifikacji zawodowych i dydaktycznych oraz umożliwił zapoznanie się z warunkami i metodami pracy obowiązującymi na uczelniach zagranicznych.

Biorę również czynny udział w opracowywaniu wniosków o granty i w realizacji projektów badawczych i dydaktycznych.

W 2010 roku pełniłem rolę członka komitetu sterującego i wykonawcy projektu pt. *Nowoczesne technologie w systemach grzewczych dla odbiorców indywidualnych - szkolenie dla pracowników i pracodawców z branży instalacyjnej* współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu Kapitał Ludzki i realizowanego we współpracy z firmą GALMET Sp. z o. o. W ramach realizacji tego projektu brałem udział w opracowywaniu niepublikowanych materiałów dydaktycznych dla uczestników szkoleń.

W latach 2011—2015 realizowałem wspólnie z międzynarodowym zespołem badawczym (składającym się z 11 partnerów z Niemiec, Czech, Słowenii i Polski) projekt *ENERGYREGION – Effective development of dispersed renewable in combination with conventional energy in Regions*, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu Central Europe. W projekcie tym pełniłem rolę członka komitetu sterującego, głównego wykonawcy i eksperta.

W 2014 roku, w ramach *Dolnośląskiego Bonu na Innowacje*, realizowałem prace dotyczące wpływu modyfikacji panelu podłogowego poprzez wykonanie otworów nieprzelotowych na współczynnik przewodzenia ciepła.

Od 2015 roku pełnię rolę wykonawcy w projekcie badawczo-rozwojowym CuBr pt. *Opracowanie innowacyjnej technologii magazynowania energii z wykorzystaniem technik sztucznej inteligencji* współfinansowanego wspólnie przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz KGHM SA.

Od 2016 roku pełnię rolę wykonawcy w projekcie badawczo-rozwojowym pt. *Opracowanie innowacyjnej w skali świata metody miejscowego odbioru ciepła w urządzeniach mieszkających z zastosowaniem pulsacyjnych rurek ciepła oraz materiałów zmiennofazowych (PCM)* finansowanym w ramach Programu Inteligentny Rozwój.

Prowadziłem również prace badawcze i badawczo-rozwojowe w ramach prac zleconych przez różne podmioty gospodarcze m.in. przez KGHM SA, ZM SILESIA SA, Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Wałbrzychu, Ciepłownictwo Sp. z o.o. w Nowej Rudzie i in.

Od 2013 roku czynnie angażuję się w działalność redakcyjną czasopism z Listy Filadelfijskiej. Pełnię rolę recenzenta w następujących czasopismach naukowych: *Applied Thermal Engineering*, *Energy Conversion and Management*, *Energies*, *Science Bulletin* i *Symmetry*. Łącznie od 2013 roku zrecenzowałem 39 artykułów zgłoszonych do tych czasopism. W grudniu 2014 roku wydawnictwo Elsevier nagrodiło mnie certyfikatem „*Outstanding Contribution in Reviewing*” za wkład w jakość czasopisma *Applied Thermal Engineering*.

Od początku swojej kariery naukowej aktywnie uczestniczę w krajowych i zagranicznych konferencjach i spotkaniach naukowych oraz biorę udział w ich organizacji. W 2008 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego *XX Zjazdu Termodynamików*, który odbył się w dniach 2-9.09.2008 roku we Wrocławiu. W 2011 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowego spotkania organizowanego w ramach projektu *ENERGYREGION*, które odbyło się w dniach 22-23.03.2011 we Wrocławiu. W 2011 roku byłem członkiem Komitetu Naukowego Konferencji *II Warsztaty Energetyczne*, organizowanej wspólnie przez SKN Energetyki i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej i SKN „Płomień” Politechniki Wrocławskiej, która odbyła się w dniach 11-13.03.2011 roku. W 2016 roku byłem członkiem Komitetu Naukowego *Międzynarodowej Konferencji Naukowej Studentów (14th Students' Science Conference)*, organizowanej przez Politechnikę Wrocławską, która odbyła się w dniach 22-25.09.2016 roku we Wrocławiu.

Pracę badawczą łączę z działalnością dydaktyczną. Opracowuję programy nowych kursów i materiały dydaktyczne. Prowadzę zajęcia tematycznie związane z techniką ciepłą i wykorzystaniem źródeł energii odpadowej na studiach stacjonarnych, niestacjonarnych i podyplomowych. Podejmuję się promotorstwa prac inżynierskich i magisterskich. Ponadto, jestem promotorem pomocniczym w ramach trzech przewodów doktorskich realizowanych na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym.

Współpracuję z licznymi jednostkami naukowo-badawczymi i firmami. Są to m.in. Instytut Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej, Instytut Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu, Poltegor Instytut, Instytut Automatyki Systemów Energetycznych, KEEA Klima und Energieeffizienz Agentur (Niemcy), e-Zavod Institute (Słowenia), Porsenna o. p. s (Czechy), KGHM SA, Huta Oława, Termocycle (Holandia), Termo2Power SA, LNS Sp. z o.o. i in. Szczegółowo moja działalność dydaktyczna i współpraca z ośrodkami naukowo-badawczymi opisana została w załączniku 4.

Od 2013 roku jestem członkiem ASME – American Society of Mechanical Engineers.

W ramach prac badawczych realizowanych w Zakładzie Termodynamiki Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, a później w Katedrze Termodynamiki, Teorii Maszyn i Urządzeń Ciepłych, brałem udział w projektowaniu i budowie stanowisk badawczych i dydaktycznych. W ramach tych prac uruchomiłem dwa stanowiska w postaci siłowni parowych typu ORC. Stanowiska te są wykorzystywane zarówno do prowadzonych przeze mnie badań naukowych, jak też przez doktorantów realizujących prace doktorskie i studentów realizujących prace inżynierskie i magisterskie.

Jestem również zaangażowany w działalność organizacyjną na rzecz Wydziału Mechaniczno-Energetycznego. Od 2015 roku pełnię funkcję kierownika Laboratorium Procesów Termodynamicznych i Badań Własności Ciepłych Substancji. Wspólnie z Władzami Wydziału wielokrotnie uczestniczyłem w rozmowach dotyczących współpracy badawczej i dydaktycznej z firmami zewnętrznymi, m.in. z Lufthansa, ZPAS, TERMET, PCC Rokita, KGHM SA, ZM Silesia, Świdnicka Fabryka Urządzeń Przemysłowych i in.

Dwukrotnie, w 2011 i 2014 byłem laureatem programu stypendialnego Młoda Kadra 2015 Plus Politechniki Wrocławskiej. Trzykrotnie, w 2014, 2015 i 2016 roku byłem laureatem konkursu Dziekana Wydziału na dofinansowanie prac badawczych prowadzonych przez Młodych Naukowców.

W 2013 i 2015 roku podczas oceny pracowniczej uzyskałem ocenę wyróżniającą we wszystkich trzech obszarach działalności.

Dwukrotnie, w latach 2011 i 2014 otrzymałem Nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej za wyróżniający wkład w działalność Uczelni.

25. XI. 2016
Piotr Kolasinski