

Załącznik nr 2
Autoreferat w języku polskim

Dr inż. Kamil Śmierciew

Katedra Budowy Maszyn i Techniki Ciepłej
Politechnika Białostocka
Ul. Wiejska 45C
15-351 Białystok

Śmierciew

Autoreferat

**Modelowanie i badania wybranych zjawisk ciepłno-przepływowych
w zastosowaniach optymalizacyjnych dla układów
stosowanych w energetyce**

Dr inż. Kamil Śmierciew



1. Imię i Nazwisko: **Kamil Śmierciew**

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

- 2007 tytuł **magister inżynier**, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej. Praca magisterska pt. "Projekt koncepcyjny klimatyzacji poddasza budynku wielorodzinnego adaptowanego na mieszkania" promotor pracy: prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal. Studia ukończone z wynikiem bardzo dobrym, praca magisterska została wyróżniona.
- 2011 stopień naukowy **doktor nauk technicznych**, dyscyplina Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Technika Ciepła, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku. Tytuł rozprawy doktorskiej: "Badania eksperymentalne i teoretyczne strumieni napędowych w układach klimatyzacji solarnej". Promotor pracy prof. dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- 01.04. 2007 - 31.10.2011, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku, asystent.
- 01.10.2008 - 30.06.2011, Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny (umowa zlecenie)
- 01.11.2011 - 31.08.2014, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku, adiunkt
- 01.10.2012 - obecnie, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn i Techniki Ciepłej (do 30.09.2017 Zakład Techniki Ciepłej i Chłodnictwa), adiunkt

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/artystycznego,

Modelowanie i badania wybranych zjawisk ciepłno-przepływowych w zastosowaniach optymalizacyjnych dla układów stosowanych w energetyce

- b) prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

- publikacje w czasopismach recenzowanych:

H1. Śmierciew K., Butrymowicz D., Kwidziński R., Przybyliński T. (2015). Analysis of application of two-phase injector in ejector refrigeration systems for isobutane, *Applied Thermal Engineering* 78, pp. 630-639

Czasopismo indeksowane w JCR, IF = 3.043, IF-5 = 3.269

lista MNiSW - 40 pkt.

H2. Śmierciew K., Butrymowicz D., Przybyliński T., Pawluczuk A. (2017). Investigations Of Heat And Momentum Transfer In Two-Phase Injector Operating With Isobutane, *Applied Thermal Engineering* 127, pp. 1495–1505

Czasopismo indeksowane w JCR, IF = 3.444 (2016), IF-5 = 3.684

lista MNiSW - 40 pkt.

H3. Śmierciew K., Kołodziejczyk M., Gagan J., Butrymowicz D. (2017). Numerical modelling of fin heat exchanger in application to cold storage, *Heat Transfer Engineering*, 39:10, 874-884

Czasopismo indeksowane w JCR, IF = 1.235 (2016), IF-5 = 1.431 lista MNiSW - 20 pkt.

H4. Śmierciew K., Kołodziejczyk M., Gagan J., Butrymowicz D. (2017). Numerical simulations of fin and tube air cooler and heat and mass transfer in cold storage, *Progress in Computational Fluid Dynamics*, <http://dx.doi.org/10.1504/PCFD.2017.10011663>

Czasopismo indeksowane w JCR, IF = 0.329 (2016), IF-5 = 0.641 lista MNiSW - 15 pkt.

H5. Kołodziejczyk M., **Śmierciew K.**, Gagan J., Butrymowicz D. (2016). Numerical modelling of heat and mass transfer in vegetables cold storage, *Procedia Engineering* 157, 279 – 284, IF 0.73

lista MNiSW - 15 pkt.

H6. Butrymowicz D., **Śmierciew K.**, Karwacki J. (2014). Investigation of internal heat transfer in ejection refrigeration systems, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 40, pp. 131-139

Czasopismo indeksowane w JCR, IF = 2.241 (2014), IF-5 = 2.437 lista MNiSW - 40 pkt.

- monografia:

M1. Śmierciew K., Wybrane zagadnienia cieplno-przepływowe urządzeń stosowanych w technice chłodniczej i ciepłej w ujęciu numerycznym i eksperymentalnym, ISBN 978-83-65596-50-5, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2018.

- Realizacja części zadań i współautorstwo raportów w projektach badawczych i wdrożeniowych:

P1. *Badania dwufazowej pompy strumieniowej dla obiegów z czynnikami łatwowrzęcymi*, Projekt badawczy PB 4891/B/T02/10/39 finansowany przez NCN

P2. *Opracowanie pośredniej metody numerycznego modelowania sit otworowych*, Projekt finansowany przez RAFAKO S.A., Umowa nr O/LP/0027/10.

P3. *Opracowanie innowacyjnego rozwiązania układu do produkcji chłodu (wody lodowej) z zastosowaniem strumieniowego urządzenia chłodniczego*, Projekt finansowany przez EDF Polska S.A., umowa C3Z1400127. Projekt zakończony wdrożeniem. **Karta wdrożenia stanowi załącznik nr 7e do wniosku habilitacyjnego**

W projektach [P1-P3] byłem wykonawcą części zadań, byłem jednocześnie odpowiedzialny merytorycznie za powierzone mi zadania. Jestem również jednym z głównych autorów raportów podsumowujących zrealizowane projekty. Prace wykonane w poszczególnych projektach przedstawiam w sekcji *Szczegółowe omówienie prac i uzyskanych wyników*

Załączam poświadczenie Kierownika Projektów [P1,P2,P3] potwierdzające mój udział w pracach badawczych w zakresie prezentowanym w Autoreferacie i podlegający ocenie jako osiągnięcie naukowe (**załącznik nr 4**).

Załączam poświadczenie Dyrektora Działu B+R potwierdzające mój udział w pracach badawczych w projekcie [P2] - **załącznik nr 7b** do wniosku habilitacyjnego

Załączam poświadczenie Z-cy Dyrektora Działu ds. Badań i Rozwoju potwierdzające mój udział w pracach badawczych w projekcie [P3] - **załącznik nr 7a** do wniosku habilitacyjnego

Z uwagi na szeroki zakres prac badawczych w projekcie [P3] jako osiągnięcie naukowe w myśl 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.) wskazuje prace z zakresu poprawy efektywności energetycznej układu. Materiał ten prezentowany jest w rozdziale 5 Monografii [M1].

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

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy stanowiący dzieło składa się z 6 publikacji, monografii, realizacji prac w projektach badawczych i wdrożeniowych i współautorstwo raportów w/w projektów. W pracach tych podjąłem wielowątkowe badania zarówno numeryczne jak i eksperymentalne dotyczące wybranych zagadnień ciepłno-przepływowych związanych z wymianą masy i ciepła w urządzeniach chłodniczych, jak również w urządzeniach stosowanych w energetyce. Prezentowane wyniki prac można podzielić tematycznie na:

- Wymiana ciepła w inżektorach dwufazowych
- Modelowanie numeryczne elementów o skomplikowanej geometrii metodami uproszczonymi
- Zastosowanie regeneracyjnych wymienników ciepła do poprawy współczynnika efektywności energetycznej strumienicowych urządzeń chłodniczych
- Zastosowanie wymienników minikanałowych w układach chłodniczych i pompach ciepła

Przedstawione powyżej cztery kategorie mieszczą się w zakresie prac ukierunkowanych w stronę poprawy efektywności energetycznej urządzeń stosowanych w technice cieplnej zarówno pod względem tematycznym jak i metodologicznym. Ponadto swym zakresem obejmują gospodarkę energetyczną źródła napędowego wykorzystywanego do zasilenia wspomnianych urządzeń.

Bezpośredni związek z poprawą efektywności energetycznej urządzenia chłodniczego lub pompy ciepła ma bowiem zastosowanie inżektora dwufazowego, z uwagi na redukcję zapotrzebowania na moc elektryczną wymaganą do zasilenia urządzenia chłodniczego. Zastosowanie wymiennika minikanałowego wpływa na efektywność urządzenia w dwojaki sposób: po pierwsze intensyfikuje wymianę ciepła poprzez rozwinięcie powierzchni wymiany ciepła, jest to istotne zwłaszcza przy zastosowaniu naturalnych czynników chłodniczych, które charakteryzują się dość słabymi właściwościami cieplnymi względem czynników syntetycznych. Po drugie gwarantuje minimalizację napętnienia, co ma przełożenie na redukcję zapotrzebowania na elektryczną moc napędową. Aplikacja wymienników regeneracyjnych w strumienicowych urządzeniach chłodniczych zasilanych energią cieplną poprawia efektywność energetyczną poprzez wykorzystanie przegrzania pary do podgrzania cieczy zasilającej generator pary. W efekcie obniża się zapotrzebowanie na moc napędową i przy okazji wykorzystuje się ciepło, które w normalnych warunkach, tj. rozwiązaniach klasycznych jest tracone. Opracowanie uproszczonej metody modelowania wybranych elementów urządzeń o skomplikowanej geometrii stosowanych w technice cieplnej i energetyce przyczynia się do poprawy efektywności tych urządzeń w sposób pośredni. Wynika to bowiem z faktu, że prezentowane metody mogą być wykorzystane do projektowania nowych i ulepszania już istniejących rozwiązań. Metody te mogą mieć zastosowanie w przypadkach, w których prowadzenie prac eksperymentalnych jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Opracowane przeze mnie metody można zastosować zarówno w technice cieplnej w chłodnictwie oraz w obiektach stosowanych w energetyce zawodowej.

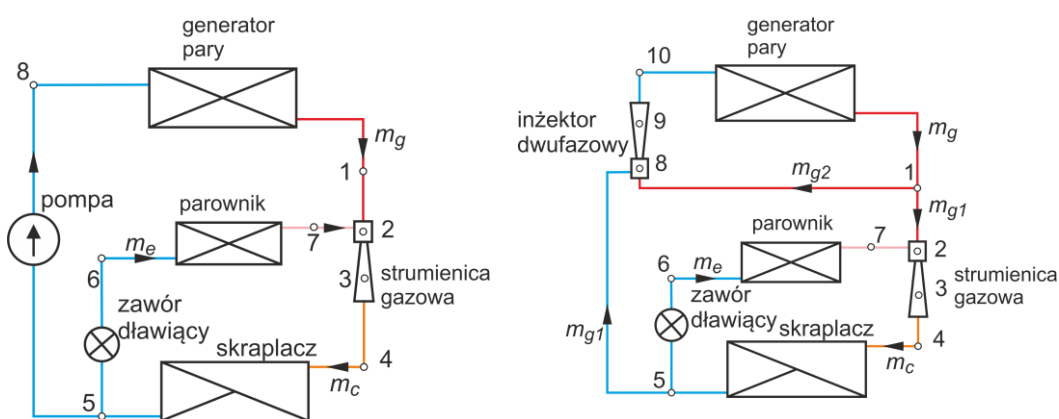
Szczegółowe omówienie prac i uzyskanych wyników:

- a) Wymiana ciepła w inżektorach dwufazowych

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii bądź ciepła odpadowego na potrzeby produkcji energii elektrycznej, ciepła w kogeneracji oraz chłodu - jest aktualnie jednym z najbardziej kluczowych wyzwań dla

współczesnej energetyki. Szczególne znaczenie przy wykorzystaniu zasobów energii odnawialnej mają przy tym obiegi cieplne wykorzystujące odnawialne zasoby nisko- bądź średnitemperaturowego ciepła do produkcji energii elektrycznej oraz chłodu. Jednym z kluczowych problemów związanych z wykorzystaniem energii niskotemperaturowej w tym energii odnawialnej jest opracowanie odpowiedniej pompy ciekłego czynnika. Problem ten dotyczy zarówno obiegów ciepłych prawobieżnych – służących do produkcji energii elektrycznej, jak również obiegów lewobieżnych – służących do produkcji chłodu. Warto zwrócić uwagę na to, iż konsumpcja energii napędowej nie jest tu zasadniczym problemem, bowiem w zdecydowanej większości przypadków nakład energii elektrycznej niezbędny do napędu pompy mechanicznej stanowi wkład na poziomie co najwyżej kilku procent w ogólnym bilansie energetycznym obiegu. Jednak zasadniczym problemem jest to, iż szczególnie w przypadku układów o małej i średniej mocy, charakterystycznych dla energetyki rozproszonej – występują szczególne trudności w doborze dostępnych na rynku pomp ciekłego czynnika. Pompy takie powinny charakteryzować się małym wydatkiem oraz wysokim sprężem, a zarazem niską ceną, małymi gabarytami - odpowiednimi do aplikacji w małych i z zasady atrakcyjnych cenowo układach energetyki rozproszonej. Powinny one także być dostosowane do pracy w szczególnie uciążliwych warunkach – wynikających z zastosowania w tychże układach czynnika łatwoprężnego, co wiąże się z bardzo wysoką przenikliwością czynnika, wysoką agresywnością chemiczną oraz wysoką podatnością na niszczenie erozyjne wywołane kawitacją. Sprawia to ogromne trudności w zakresie budowy układów energetycznych napędzanych ciepłem niskotemperaturowym. Dostępne na rynku bardzo kosztowne pompy niedostosowane gabarytowo sprawiają, że wkład kosztów pompy jest dominujący w całkowitym koszcie instalacji, czyniąc całe przedsięwzięcie wykorzystania zasobów odnawialnych - nieopłacalnym oraz nieatrakcyjnym.

Pompa mechaniczna ciekłego czynnika jest jedynym elementem układu konsumującym energię dostarczaną z zewnątrz w postaci energii elektrycznej w układach chłodniczych o napędzie cieplnym (absorpcyjnych lub strumieniowych). Z punktu widzenia aplikacyjnego jest wysoce pożądane, aby cały obieg był napędzany wyłącznie ciepłem pochodzącym ze źródeł odnawialnych bądź wykorzystywał niskotemperaturowe ciepło odpadowe, bez udziału energii elektrycznej. Jedną z możliwości alternatywnego rozwiązania wobec pompy mechanicznej jest zastosowanie inżektora dwufazowego. Analiza pracy obiegu urządzenia strumieniowego pracującego z izobutanem wyposażonego w inżektor dwufazowy do przetwarzania czynnika roboczego przedstawiona jest w pracy [H1]. Schemat takiego układu przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Układ chłodniczy strumieniowy: a) klasyczny, b) zmodyfikowany – z pompą inżektorową

Praca [H1] stanowi nowość w zakresie zastosowania inżektorów w układach pracujących z węglowodorami.

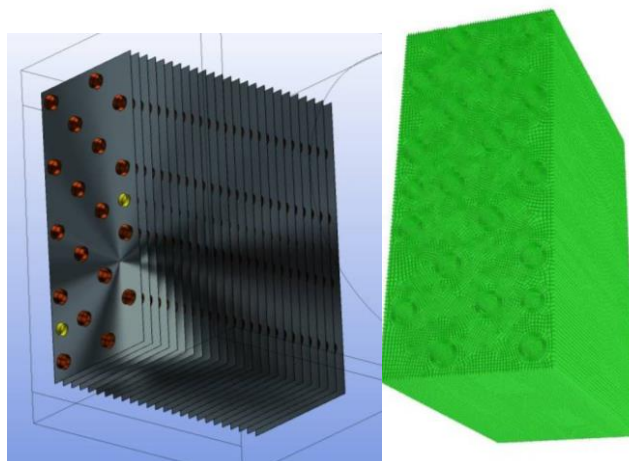
Analizy pracy obiegu zawierającego dwie strumienice (chłodniczą i pompową) dokonałem na podstawie opracowanego modelu systemu. Model zbudowany został na bazie modelu klasycznego układu strumieniowego, do którego wprowadzone zostały modyfikacje uwzględniające obecność inżektora dwufazowego. Do zamodelowania przepływu dwufazowego w inżektorach parowo-cieczowych opracowany został model dwupłynowy obejmujący równania zachowania: masy, pędu i energii dla każdej z faz. Ponadto

model uwzględnia poślizg międzyfazowy oraz zmiany struktury przepływu poprzez odpowiednie równania zamknięcia. Zaproponowane podejście analityczne pozwoliło mi na ocenę wymagań, jakie układ chłodniczy stawia inżektorowi dwufazowemu w celu prawidłowej i efektywnej pracy całego obiegu. Model pozwala np. na określenie jaki wymagany jest współczynnik zasysania dla uzyskania określonego przyrostu temperatury wewnątrz inżektora, jednocześnie dając informację o tym, czy uzyskane ciśnienie na tłoczeniu inżektora jest wystarczające do wtłoczenia ciekłego czynnika roboczego do generatora pary. Cechą charakterystyczną modelu jest fakt, że wyniki nie są zależne od geometrii analizowanego inżektora. Ponadto praktyczna użyteczność modelu pozwala na łatwą analizę możliwości zastosowania inżektorów dwufazowych pracujących z nowymi perspektywicznymi czynnikami roboczymi. **Uzyskane wyniki wskazały na możliwości zastosowania inżektora dwufazowego w układach chłodniczych strumienicowych, co czyni proponowany układ jedynym rozwiązaniem gwarantującym możliwość pracy obiegu przy wykorzystaniu do napędu jedynie energii cieplnej. Tym samym układ jest niezależny od energii elektrycznej.** Oprócz prac analitycznych związanych z zastosowaniem inżektorów dwufazowych pracujących w charakterze pompy obiegowej podjąłem również prace eksperymentalne, gdzie głównym obszarem badań było rozpoznanie wymiany ciepła wewnątrz inżektora. Znane prace w tym zakresie obejmowały jedynie zastosowanie wody (pary wodnej) w roli czynnika roboczego. Wymiana ciepła, a konkretnie proces kondensacji pary podczas powstawania fali uderzeniowej jest głównym mechanizmem przyrostu ciśnienia w inżektorze. Z tego tytułu uzupełnienie wiedzy o informacje z zakresu osiąganych współczynników wnikania ciepła dla czynników roboczych innych niż woda, mają kluczowe znaczenie. **Wyniki prac w tym zakresie zaprezentowane zostały w pracy [H2]. Jak dotąd, jest to jedyna praca opublikowana w najbardziej prestiżowych i renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (baza JCR, lista A MNiSW), w której prezentowane są wyniki prac eksperymentalnych inżektora dwufazowego pracującego z czynnikiem roboczym innym niż woda (w tym przypadku z izobutanem jako perspektywicznym czynnikiem roboczym).** Uzyskane wyniki okazały się bardzo interesujące, gdyż ujawniły, że inżektor, którego zadaniem jest przetłaczanie czynnika może być bardzo efektywnym wymiennikiem ciepła typu mieszankowego. Okazało się bowiem, że wymiana ciepła wewnątrz inżektora jest na tyle intensywna, że współczynnik wnikania ciepła osiąga wartości rzędu $1 \text{ MW/m}^2\text{K}$, co jest niespotykane w żadnym znanym wymienniku stosowanym w energetyce. Informacja ta jest na tyle istotna, że przyrost temperatury czynnika przepływającego przez inżektor, odciąża generator pary, do którego strumienica wtłacza czynnik roboczy (rys. 1b). Na podstawie uzyskanych rezultatów **opracowane i przedstawione zostały korelacje na współczynnik wnikania ciepła wewnątrz inżektora pracującego z izobutanem.** Uzupełnieniem są **korelacje na współczynniki prędkości dla komponentów inżektora, tj. komory ssawnej, komory mieszania i dyfuzora.** Warto podkreślić, że jak dotąd współczynniki prędkości traktowane były jako wielkości stałe w modelach matematycznych opisujących pracę strumienicy.

Istotnym osiągnięciem pracy badawczej w tym zakresie było zmodyfikowanie klasycznego układu strumienicowego i zastosowanie inżektora dwufazowego pracującego jako pompa obiegowa, co czyni, że proponowany układ zasilany jest wyłącznie energią cieplną; opracowanie modelu matematycznego układu dwustrumienicowego; wykonanie analiz w zakresie oceny parametrów roboczych proponowanego rozwiązania w zastosowaniu do izobutanu; przeprowadzenie badań eksperymentalnych z izobutanem jako czynnikiem roboczym, opracowanie korelacji na współczynnik wnikania ciepła i współczynniki prędkości elementów składowych inżektora. Warto podkreślić również walory eksploatacyjne oraz ekonomiczne proponowanego rozwiązania. Z punktu widzenia eksploatacyjnego zastosowanie strumienicy dwufazowej jako pompy obiegowej eliminuje wszelkie problemy jakie towarzyszą pompom obiegowym. Prosta konstrukcja inżektora jest bezkonkurencyjna względem pompy mechanicznej, nie ma problemów smarowania, serwisowania lub sterowania, co wiąże się z dodatkową automatyką. Z ekonomicznego punktu widzenia korzyść zastosowania inżektora jest oczywista z uwagi na dużo niższy koszt inwestycyjny jak również eksploatacyjny.

➤ b) Modelowanie numeryczne aparatów o skomplikowanej geometrii metodami uproszczonymi

Modelowanie numeryczne z wykorzystaniem technik CFD (Computational Fluid Dynamics) staje się obecnie jednym z podstawowych narzędzi inżynierskich i jest stosowane niemal w każdym procesie projektowania czy optymalizacji urządzenia bądź systemu urządzeń. W swojej pracy badawczej skupiłem się na zastosowaniu metod CFD do zamodelowania procesu ciepłno-przepływowego urządzeń o skomplikowanej geometrii. Celem badań było wypracowanie metodyki zastosowania modeli uproszczonych do modelowania przepływu przez obiekty o dużych i skomplikowanych gabarytach. W tym celu ważne jest opracowanie założeń i uproszczeń, które są dopuszczalne bez utraty dokładności uzyskanych rezultatów. Pracę w tym zakresie mogę podzielić na dwie kategorie. Pierwsza odnosi się do modelowania lamelowych wymienników ciepła stosowanych w dużych obiektach, w tym przypadku w chłodniach owocowo-warzywnych [M1], druga do modelowania sit otworowych jakie używane są w elektrofiltrach stosowanych w energetyce [M1,P2]. Obie grupy łączą jednak zasadnicze parametry, mianowicie gabaryty stosowanych urządzeń oraz efekt ich prawidłowej pracy, czyli równomierny rozkład prędkości oraz temperatury i wilgotności w przypadku wymienników ciepła. Zagadnienie modelowania wymienników ożebrowanych / lamelowych jest dobrze rozpoznane. Jednak należy zaznaczyć, że modelowanie z reguły dotyczy analizy zjawisk zachodzących wewnątrz wymiennika w celu jego optymalizacji, intensyfikacji wymiany ciepła, itp. W tym celu stosuje się uproszczenia geometryczne, np. modelowany jest bardzo mały fragment wymiennika, z możliwie wiernym odwzorowaniem geometrii. Takie podejście pozwala na bardzo dokładne uzyskanie pola przepływu z uwagi na możliwości zastosowania gęstej siatki obliczeniowej, gdyż zagadnienie sprowadza się często do zagadnienia dwuwymiarowego, zakładając przy tym periodyczność przepływu. W przypadku modelowania układów lub obiektów o dużych gabarytach, w których wymiennik lamelowy jest jedynie elementem składowym, wierne odwzorowanie geometryczne wymiennika jest możliwe ale jest wysoce nieopłacalne. Czas poświęcony na przygotowanie modelu jest niewspółmiernie wysoki względem oczekiwanych rezultatów. Wymiennik taki wymaga bowiem bardzo dużej liczby objętości kontrolnych uwzględniających warstwę przyścienną. Wiąże się to zatem z bardzo czasochłonną i skomplikowaną dyskretyzacją modelu i koniecznością posiadania ogromnych mocy obliczeniowych. W takich obiektach, jak np. chłodnia owocowo-warzywna, nie można jednocześnie pominąć wymiennika, gdyż to wymiennik jest odpowiedzialny za kształtowanie warunków ciepłno-wilgotnościowych w komorze przechowalniczej. Od tych warunków uzależniona jest jakość przechowywanych produktów. **Moim celem było opracowanie metody na możliwie dokładne zamodelowanie pracy wymiennika stosując metody uproszczone. Metody, która mogłaby być aplikowana do modelowania i uzyskania najlepszych warunków ciepłno-wilgotnościowych w chłodni bez konieczności przeprowadzania kosztownych badań eksperymentalnych. Zaproponowałem i przetestowałem dwa możliwe rozwiązania: zastosowanie modelu ośrodka porowatego, oraz zastosowanie modelu dualnego. Zarówno model ośrodka porowatego jak i model dualny zastępuje wewnątrz wymiennika składające się z pęczka rur i kilkudziesięciu lameli. W obu przypadkach wewnątrz wymiennika uproszczone jest do jednorodnego bloku, przez który przepływa powietrze (rys.2).**



Rys. 2 Fragment modelu wymiennika: a) pełna geometria; b) blok materiału porowatego

Praca [M1] zawiera opis opracowanego sposobu postępowania jaki wymagany jest do poprawnego zastosowania modelu ośrodka porowatego. Do zastosowania modelu ośrodka porowatego konieczna jest znajomość zależności oporów przepływu od prędkości przepływającego powietrza, $\Delta p = f(w)$ oraz pozostałe parametry definiujące przepływ przez materiał porowaty. Wyniki modelowania w zakresie uzyskanej temperatury i prędkości na wylocie z wymiennika zawarłem w tabeli 1.

Tabela. 1 Porównanie parametrów na wlocie i wylocie z wymiennika

warunek brzegowy na wlocie wymiennika	eksperyment		symulacja	
$T_{in} = 275 \text{ K}$	T_{out}	274.2 K	$T_{out,CFD}$	274.30 K
$w_{in} = 0.943 \text{ m/s}$	w_{out}	2.57 m/s	$w_{out,CFD}$	2.82 m/s

Uzyskane przeze mnie wyniki symulacji uznałem za wystarczająco dokładne, aby można było efektywnie wykorzystywać model ośrodka porowatego do modelowania wymienników lamelowych w dużych obiektach.

Drugą z zaproponowanych metod jest model dualny wymiennika ciepła. Model dualny z założenia przyjmuje domenę obliczeniową jako niezależne obiekty posiadające własną siatkę numeryczną, a poszczególne siatki sprzęgnięte są ze sobą termicznie. Należy dodać, że w literaturze brak jest jakichkolwiek prób z zakresu zastosowania modelu dualnego. **Przeprowadzone przeze mnie symulacje są więc nowością na skalę międzynarodową. W pracy [M1] pokazałem opracowany sposób postępowania w celu osiągnięcia zamierzonego celu jakim było uzyskanie zgodności w zakresie mocy cieplnej analizowanego wymiennika oraz temperatury powietrza na wylocie z wymiennika.** Ograniczenia jakie posiada model dualny zmusiły mnie do przeprowadzenia symulacji na fragmencie wymiennika i przeskalowania wyników eksperymentu w celach walidacyjnych. Wyniki jakie uzyskałem dla zastosowanego modelu dualnego zawiera tabela 2.

Tab. 2. Wyniki symulacji i badań eksperymentalnych chłodnicy powietrza

parametr	eksperyment	CFD model dualny	warunki pracy
strumień ciepła Q	6.89 W	6.89 W	przed odszranianiem
temperatura powietrza na wylocie t_{out}	274.1 K	274.9 K	
strumień ciepła Q	22.01 W	22.04 W	po odszranianiu
temperatura powietrza na wylocie t_{out}	274.10 K	273.85	

Zastosowanie obu modeli pozwoliło na ocenę jakościową i ilościową obu proponowanych metod i wyboru metody korzystniejszej. Dla warunków cieplno-wilgotnościowych jakie pożądane są w komorach przechowalniczych, korzystniejsze jest zastosowanie modelu ośrodka porowatego. Metoda ta była zastosowana do dalszych prac związanych z zagadnieniem modelowania parametrów cieplno-przepływowych i cieplno-wilgotnościowych w chłodnicach powietrza. Byłem współwykonawcą tych prac. **Moim zamierzeniem było modelowanie wymiennika, na podstawie którego uzyskane zostaną dane dotyczące parametrów definiujących ośrodek porowaty [M1, H3, H4].** Dane te były implementowane do modelu chłodni. Wyniki prac z zakresu modelowania chłodni **opublikowane w renomowanych czasopismach [H3-H5]** oraz prezentowane na konferencjach o zasięgu międzynarodowym [I12,I21] .

Zagadnienie zastosowania modelu ośrodka porowatego do uproszczonego modelowania obiektów o skomplikowanym kształcie podjąłem również w pracach finansowanych przez RAFAKO S.A [P2]. **Byłem wykonawcą tego projektu oraz współautorem opracowanej metody.** Zagadnienie to dotyczyło opracowania

metody symulacji sit otworowych (paneli) stanowiących profile prostujące przepływ w elektrofiltrach. Jednym z parametrów wpływających na sprawność elektrofiltru jest właśnie efektywność paneli zbudowanych z sit otworowych. Sita te mają postać cienkich blach o powierzchni około 1 m² z kilkudziesięcioma otworami. Z reguły jeden panel tworzy kilkadziesiąt płyt o różnej średnicy otworów. Przy czym, sposób rozłożenia sit w panelu jest ustalany w oparciu o doświadczenia projektanta. Całkowita powierzchnia połączonych paneli może sięgać kilkuset metrów kwadratowych a sumaryczna liczba otworów w sitach może sięgać kilku tysięcy. Koszt wyłączenia z ruchu elektrofiltru, wykonanie dziesiątek płyt o różnym stopniu otwarcia, montaż paneli w wielowariantowej konfiguracji, jak również samo wykonanie prac eksperymentalnych nie ma uzasadnienia ekonomicznego. Zrozumiałym zatem jest, że analiza konfiguracji paneli pod względem zróżnicowania stopnia otwarcia i jej wpływ na efektywność elektrofiltru jest niemożliwa do wykonania eksperymentalnie. Rozwiązaniem jest tutaj jedynie analiza numeryczna. Jednakże, modelowanie numeryczne trójwymiarowe całego elektrofiltru lub chociażby samego profilu będącego elementem elektrofiltru z racji gabarytów oraz skomplikowanych kształtów, jest zagadnieniem wymagającym ogromnych kosztów numerycznych. Wynika to z konieczności modelowania warstwy przyściennej w okolicach łączenia paneli i w okolicach otworów. Zastosowanie modelu ośrodka porowatego umożliwiło uprościć geometrię profilu do jednolitej płaszczyzny zachowując główne elementy konstrukcyjne bez utraty dokładności uzyskanych wyników. **W projekcie [P2] wykonałem obliczenia numeryczne pojedynczego profilu o zadanym stopniu otwarcia** (stosunek całkowitego pola powierzchni otworów do pola powierzchni zamkniętej), na podstawie którego określona została zależność $\Delta p = f(w)$. **Pozytywna walidacja eksperymentalna pojedynczego profilu pozwoliła na wykonanie serii obliczeń dla profili o innym stopniu otwarcia. Na podstawie przeprowadzonych symulacji byłem współautorem opracowanej ogólnej korelacji na zależność $\Delta p = f(w)$ dla wszystkich testowanych profili.** Korelacja posłużyła do wyznaczenia ogólnych parametrów definiujących materiał porowaty, tj. porowatość (P), przepuszczalność (α) i opór wewnętrzny (C_2). Materiał porowaty reprezentował sito otworowe, a parametry P, α , C_2 definiowały stopień otwarcia. **Kolejnym etapem była seria obliczeń dla zespołu czterech sit zastąpionych materiałem porowatym z uwzględnieniem elementów mocujących wykorzystując uzyskane dane P, α , C_2 dla różnych stopni otwarcia.** Obliczenia walidacyjne przeprowadziłem dla takiego samego zespołu czterech paneli, przy wykorzystaniu pełnej geometrii sit otworowych. **Efektom prac, których byłem współautorem było opracowanie metodyki postępowania, uzyskanie szczegółowych danych będących warunkami brzegowymi do projektowania profili za pomocą proponowanej metody. W pracy [M1] przedstawiłem szczegółowe wyniki obliczeń profili o różnym stopniu otwarcia. Opracowanie metodyki modelowania uproszczonego paneli otworowych w elektrofiltrach ma zatem wartość aplikacyjną i użytkową.** Pozwala na efektywne modelowanie przepływu gazu przez sita otworowe o różnej konfiguracji. Wyniki takich analiz mogą być wykorzystane do projektowania sposobu łączenia sit otworowych w panelu. To z kolei przekłada się na poprawę efektywności całego elektrofiltru.

Istotnym osiągnięciem pracy badawczej w tym zakresie było opracowanie metodyki modelowania numerycznego wymienników lamelowych oraz sit otworowych stanowiących element składowy większych obiektów energetycznych; implementacja opracowanej metody dla konkretnych przypadków: projekt PBS finansowany przez NCBiR oraz projekt finansowany przez RAFAKO S.A. Projekty zostały pozytywnie rozliczone. RAFAKO S.A. wdrożyło opracowaną metodę do projektowania sit otworowych.

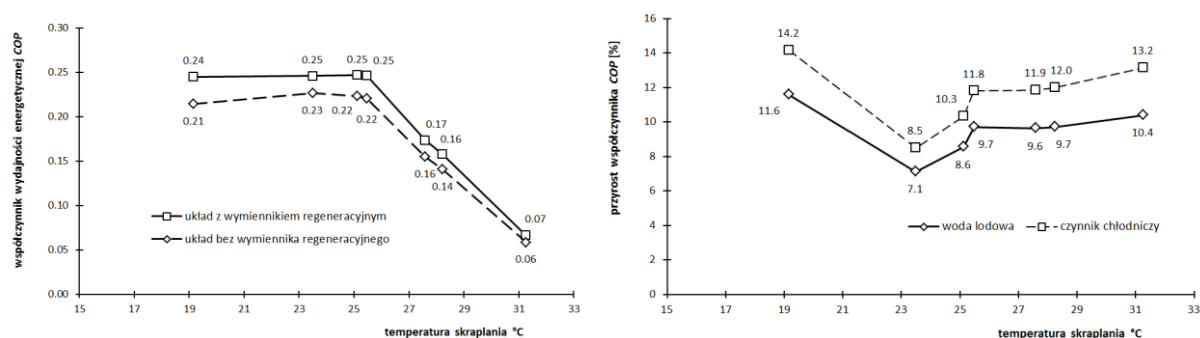
- c) Zastosowanie regeneracyjnych wymienników ciepła do poprawy efektywności energetycznej strumienicowych urządzeń chłodniczych

Zagadnienia związane z poprawą efektywności energetycznej sprężarkowych układów chłodniczych oraz pomp ciepła poprzez zastosowanie regeneracyjnej wymiany ciepła należą do zagadnień standardowych i dobrze rozpoznanych. Odzysk ciepła w układach wentylacyjnych również staje się standardem, a w świetle nowych przepisów nawet obowiązkiem. Jednakże, w ostatnich latach z uwagi na zaostrzone regulacje prawne w zakresie stosowności czynników chłodniczych, tzw. ustawy f-gazowej coraz większym zainteresowaniem cieszą się układy chłodnicze strumienicowe. Dla tego typu urządzeń **zagadnienia związane z poprawą ich**

efektywności energetycznej (COP) jest jak dotąd bardzo ograniczone. Jedną z najbardziej racjonalnych metod poprawy COP jest zastosowanie wewnętrznej wymiany ciepła. Racjonalność tego rozwiązania wynika między innymi z wykorzystania ciepła przegrzania pary wypływającej ze strumienicy. Przegrzanie pary opuszczającej strumienicę może być traktowane jako ciepło odpadowe, ponieważ wraz z ciepłem skraplania oddane jest do otoczenia lub innego ośrodka chłodzącego skraplacz. Regeneracyjny wymiennik ciepła przyczynia się do podgrzania cieczy wpływającej do generatora pary. Uzyskany przyrost temperatury cieczy w wymienniku obniża zapotrzebowanie na moc grzewczą napędową, gdyż generator pracuje przy mniejszej różnicy temperatur. Ponadto koszt instalacji w układzie dodatkowego wymiennika jest niewielki, zarówno z ekonomicznego, jak i montażowego punktu widzenia. Dodatkowo - wykorzystanie ciepła przegrzania pary wiąże się ze zmniejszeniem obciążenia cieplnego skraplacza, a tym samym z ograniczeniem zapotrzebowania na ilość medium chłodzącego skraplacz. Fakt ten ma bezpośrednie przełożenie na obniżenie zapotrzebowania na moc elektryczną pobieraną przez pompy obiegowe. Wyniki badań analitycznych i eksperymentalnych w tym zakresie zaprezentowałem w pracach [M1, H6]. Prace związane z zastosowaniem regeneracyjnego wymiennika ciepła w układach chłodniczych strumienicowych wykonane były w ramach projektu realizowanego dla EDF Polska (obecnie PGE Energia Ciepła S.A.). Byłem jednym z głównych pomysłodawców, wykonawców i współautorem raportu podsumowującego projekt. Celem projektu było zaprojektowanie i zbudowanie urządzenia do produkcji chłodu przeznaczonego na cele klimatyzacyjne, zasilanego niskotemperaturowym ciepłem systemowym. **Zagadnienia poprawy efektywności energetycznej poprzez wymiennik regeneracyjny podjąłem zarówno w ujęciu analitycznym jak i eksperymentalnym zanim urządzenie zostało zbudowane. W tym celu opracowałem model obliczeniowy, który pozwolił ocenić możliwości poprawy współczynnika efektywności energetycznej.** Wykonałem analizy dla następujących czynników roboczych: izobutan R600a, R-1234ze(E), R601(n-pentan), R601a (izopentan) dla założonych parametrów napędowych, tj. mocy napędowej 100 kW i temperatury źródła napędowego poniżej 65°C oraz oczekiwanej mocy chłodniczej na poziomie 25 kW. **Wyniki jednoznacznie wykazały, że proponowana metoda poprawia współczynnik efektywności energetycznej od 10 do 13% w zależności od zastosowanego czynnika.** Podgrzew cieczy pozwolił w analizowanych przypadkach na obniżenie o około 10 kW mocy grzewczej napędowej, co stanowi około 10% wartości pierwotnej mocy napędowej. Wynikiem prac analitycznych jest również program obliczeniowy, który pozwala oszacować przyrost COP takich urządzeń dla różnych warunków roboczych i różnych czynników roboczych. Program ten napisany został w środowisku MathCAD i powstał w ramach pracy magisterskiej¹, której byłem promotorem. **Na podstawie wyników eksperymentalnych uzyskanych na stanowisku pokazanym w [M1] oceniona została poprawa efektywności energetycznej.** Stanowisko badawcze zbudowane zostało w ramach projektu na podstawie wykonanych wcześniej obliczeń analitycznych. **Po raz pierwszy w technice strumienicowej zastosowany został czynnik R1234zeE i prezentowane wyniki w tym zakresie stanowią nowość na skalę międzynarodową.** Uzyskane wyniki (rys. 3) jednoznacznie potwierdzają, że zastosowanie wymiennika regeneracyjnego wpłynęło na poprawę efektywności energetycznej. Zgodnie z moimi obliczeniami efektywność układu wzrosła o wartości od 8-14% w zależności od warunków roboczych. Zastosowanie wspomnianego wymiennika pozwoliło na obniżenie mocy grzewczej napędowej o około 10 kW, co było zgodne z wcześniejszymi obliczeniami.

W pracy [M1] pokazane zostały również pozostałe parametry charakteryzujące prace wymiennika regeneracyjnego, w tym bardzo istotne opory przepływu jakie stawia wymiennik. Zagadnienie to jest kluczowe z punktu widzenia pracy strumienicy gazowej, gdyż dodatkowy opór przepływu jaki stawia wymiennik negatywnie wpływa na jej pracę. Wyniki wykazały, że zastosowany wymiennik przyczynia się do wzrostu oporów przepływu o około 3 kPa co wobec różnicy ciśnień na poziomie 250 kPa, które ma do pokonania strumienica jest wartością pomijalną. Efektywność wymiennika RHX oceniona metodą ϵ -NTU mieści się w zakresie $0.85 < \epsilon < 0.97$.

¹ Łapiński Adam – Analiza zastosowania wewnętrznej wymiany ciepła do poprawy efektywności energetycznej układu klimatyzacyjnego pracującego ze strumienicą gazową, praca magisterska, Politechnika Białostocka, 2014



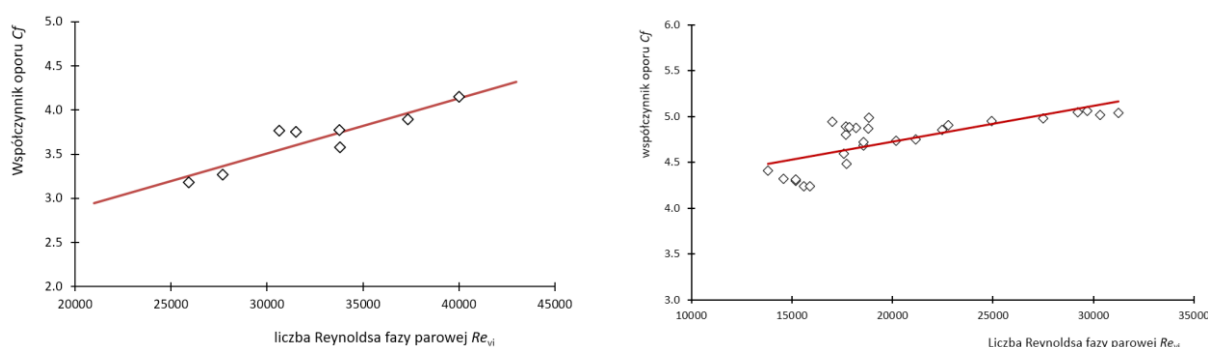
Rys. 3. Wyniki badań eksperymentalnych: a) wartość współczynnika efektywności energetycznej układu do produkcji chłodu pracującego bez i z wymiennikiem regeneracyjnym, b) przyrost % współczynnika efektywności energetycznej dzięki zastosowaniu wymiennika RHX.

Istotnym osiągnięciem pracy badawczej w tym zakresie było zaproponowanie racjonalnej metody poprawy efektywności energetycznej układu chłodniczego strumieniowego poprzez odzysk ciepła przegrzania, które w rozwiązaniach klasycznych jest bezpowrotnie tracone w skraplaczu; opracowanie algorytmu obliczeniowego; wykonanie analiz termodynamicznych proponowanego rozwiązania w zakresie ilościowej oceny poprawy efektywności układu, dla wybranych czynników roboczych; wykonanie badań eksperymentalnych w tym zakresie z zastosowaniem po raz pierwszy dla tego typu układów nowego czynnika R-1234ze(E); pozytywna weryfikacja eksperymentalna obliczeń; uzyskanie poprawy efektywności energetycznej układu na poziomie 8-14%. Jest to pierwsza aplikacja układu strumieniowego z wymiennikiem regeneracyjnym w skali technicznej z zastosowaniem bezpiecznego dla środowiska czynnika roboczego, która wykorzystuje niskotemperaturowe źródło ciepła do napędu. Należy dodać, że prace te zostały wykonane na zlecenie i finansowane ze środków własnych partnera przemysłowego (EDF Polska) w ramach projektu badawczego. Opracowane rozwiązanie zostało odebrane i wdrożone przez EDF Polska S.A. **Karta wdrożenia technologii stanowi Załącznik 7e.**

➤ d) Zastosowanie wymienników minikanałowych w układach chłodniczych i pomach ciepła

Efektom realizacji polityki ograniczania emisji szkodliwych substancji do otoczenia jest konieczność stosowania czynników naturalnych w układach chłodniczych. Właściwości cieplne stosowanych naturalnych czynników chłodniczych są jedną z przyczyn słabej wymiany ciepła. To z kolei przyczynia się do pogorszenia efektywności energetycznej urządzeń. Ponadto czynniki naturalne należą do płynów palnych i wybuchowych. Z eksploatacyjnego punktu widzenia jako kluczowe staje się rozwiązanie pozwalające na zastosowanie minimalnej, wymaganej do prawidłowej pracy układu, ilości czynnika roboczego w układzie chłodniczym. Doskonałym rozwiązaniem jest w tym przypadku zastosowanie wymienników minikanałowych. **Wymienniki minikanałowe pozwalają na osiąganie wysokich współczynników wnikania ciepła a ich niewielkie wymiary i jednocześnie duża objętościowa pojemność cieplna gwarantująca minimalizację napełnienia układu czynnikiem chłodniczym czynią przedsięwzięcie niezwykle atrakcyjne.** Jednak, zastosowanie minikanałowych wymienników ciepła w stacjonarnych urządzeniach chłodniczych nie należy do rozwiązań standardowych. **Dodatkowym aspektem podkreślającym konieczność podjęcia badań w tym zakresie jest zastosowanie czynnika naturalnego wewnątrz wymiennika.** Zagadnienie to w ujęciu eksperymentalnym jest bardzo rzadko poruszane w profesjonalnej literaturze. Prace badawcze dotyczyły minikanałowego wymiennika ciepła pracującego w zależności od konfiguracji stanowiska jako parownik lub skraplacz z propanem jako czynnik roboczy. W oparciu o metodę rozdzielania zmiennych, zwaną metodą Wilsona określone zostały współczynniki wnikania ciepła α od strony czynnika roboczego oraz współczynniki przenikania ciepła k , średnie dla całego wymiennika. Z uwagi na zachodzące wewnątrz przemiany fazowe czynnika roboczego oraz

braku możliwości dokonywania bezinwazyjnego pomiaru temperatury ścianki wymiennika, do oceny współczynników α oraz k konieczne było zastosowanie metody pośredniej. W tym celu **przeprowadzone zostały badania wzorcujące**, gdzie przedmiotowy wymiennik pracował jako wymiennik typu powietrze/woda. Zastosowanie wody w analizowanym zakresie temperatur wyeliminowało przemianę fazową, co gwarantowało uzyskanie wiarygodnych wartości współczynnika wnikania ciepła od strony powietrza, α_o . **W badaniach zasadniczych rozdzielanie zmiennych pozwoliło na określenie współczynnika wnikania ciepła od strony propanu. Uzyskano zatem obszerną bazę danych eksperymentalnych. Tego typu danych odnoszących się do całego wymiennika minikanałowego nie ma w profesjonalnej literaturze. Metoda rozdzielania zmiennych nie została dotychczas zastosowana do analizy wymienników minikanałowych. Ponadto zebrane dane posłużyły mi do oceny oporów przepływu czynnika przez wymiennik (Rys. 4). Na podstawie wyników zaproponowana została prosta zależność wiążącą współczynnik oporu C_f z liczbą Reynoldsa zarówno dla skraplacza jak i parownika.**



Rys. 4. Zależność współczynnika oporu dwufazowego: dla minikanałowego skraplacza (z lewej) i minikanałowego parownika (z prawej)

Dla skraplacza współczynnik oporu przepływu C_f może być opisany korelacją w postaci

$$C_f = 1,858 + 6,154 \cdot 10^{-5} Re_v,$$

natomiast dla parownika proponuję korelację w postaci

$$C_f = 3,9398 + 3,90 \cdot 10^{-5} Re_v.$$

Istotnym osiągnięciem pracy badawczej w tym zakresie była propozycja wykorzystania wymiennika minikanałowego do stacjonarnych urządzeń chłodniczych. Uzyskane wyniki mają bardzo dużą wartość poznawczą a propozycja wykorzystania wymiennika minikanałowego może być uznana za nowatorską. Znajomość wartości współczynników wnikania ciepła oraz możliwość predykcji oporów przepływu cieczy przez wymiennik ułatwia jego projektowanie. Ponadto, wiedza w zakresie znajomości podstawowych parametrów charakteryzujących wymienniki, może przyczynić się do wzrostu popularności zastosowania tychże wymienników w urządzeniach stacjonarnych. Korzyści płynące z proponowanego rozwiązania eliminują niekorzystne własności cieplne naturalnych czynników roboczych, co ma bezpośrednie przełożenie na efektywność energetyczną urządzenia chłodniczego.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Moja działalność naukowo-badawcza koncentruje się wokół szeroko pojętej energetyki, techniki chłodniczej, pomp ciepła i klimatyzacji.

Przed uzyskaniem stopnia doktora głównym obszarem badawczym były prace dotyczące zastosowań strumienic gazowych w układach klimatyzacyjnych zasilanych energią słoneczną [b2-b5,c1,d1]. Głównym celem pracy doktorskiej było zastosowanie naddźwiękowej strumienicy gazowej pracującej w charakterze sprężarki w urządzeniu chłodniczym zasilanym energią niskotemperaturową. Dzięki temu znacznej redukcji ulega zapotrzebowanie na moc elektryczną wymaganą do zasilania tego typu urządzeń chłodniczych w odniesieniu do klasycznych sprężarkowych układów chłodniczych. W pracy doktorskiej wykazałem zależność parametrów pracy urządzenia od zewnętrznych parametrów roboczych, uzyskałem charakterystyki robocze strumienicy gazowej. Wyznaczyłem współczynnik strat pędu strumienicy oraz przeprowadziłem analizę pracy urządzenia w obszarze pary mokrej. Dodatkowym aspektem było zastosowanie bezpiecznego dla środowiska czynnika roboczego (izobutanu). Zrealizowałem w tym zakresie projekt promotorski [P11]. Byłem laureatem konkursu „INNODOKTORANT – 2 edycja”, w ramach którego uzyskałem stypendium przyznane przez Marszałka Województwa Pomorskiego, oraz laureatem stypendium doktoranckiego przyznanego w ramach projektu „Rozwój interdyscyplinarnych studiów doktoranckich na Politechnice Gdańskiej w zakresie nowoczesnych technologii” Projekt Operacyjny Kapitał Ludzki w roku 2010. Byłem również wykonawcą w projekcie NCN podejmującym również zagadnienia modelowania oraz zastosowań strumienic naddźwiękowych [P14]. W ramach pracy doktorskiej powstało stanowisko badawcze do badań urządzeń strumienicowych o małej wydajności chłodniczej (do około 0.8 kW). Ponadto brałem udział w innych projektach badawczych niezwiązanych z pracą doktorską realizowanych w Zakładzie Wymiany Ciepła IMP PAN w Gdańsku i Zakładzie Techniki Ciepłej Politechniki Białostockiej. Były to prace związane m.in. z zastosowaniem metod EHD do poprawy skuteczności odolejania instalacji chłodniczych [b8-b10,P13], intensyfikacji skraplania w urządzeniach chłodniczych [c1,c2,d2,d3], badaniami dysz i fal uderzeniowych w strumienicach dwufazowych [d4,P16,P23], oraz badań strumienic dwufazowych pracujących jako nadprężarki i podprężarki [d7]. Ponadto byłem wykonawcą projektu związanego z zastosowaniem strumienic dwufazowych w układach chłodniczych pracujących z CO₂ [P21]. Moja działalność dotyczyła w głównej mierze modelowania numerycznego oraz projektowania elementów składowych instalacji badawczych (np. elektrostatycznego separatora oleju, nadprężarki strumienicowej dwufazowej), analiz termodynamicznych, obróbce wyników i opracowywaniu raportów. Brałem również udział w budowie stanowisk badawczych i pracach eksperymentalnych. Efektem tych prac są publikacje i referaty konferencyjne, których jestem współautorem wymienionych w Załączniku nr 6 do wniosku habilitacyjnego.

Po uzyskaniu stopnia doktora rozszerzyłem tematykę wykorzystania strumienic gazowych w układach chłodniczych i klimatyzacyjnych zasilanych nie tylko energią słoneczną, ale innymi źródłami niskotemperaturowymi [P3,P5-P9,P19]. Prowadzone przeze mnie badania swoim zakresem wykraczały poza zakres rzeczowy pracy doktorskiej. Kontynuowałem badania zastosowania strumienic dwufazowych pracujących jako nad- i podprężarka [R2,I5]. Byłem zaangażowany i merytorycznie odpowiedzialny za modelowanie numeryczne metodami CFD strumienic gazowych pracujących naturalnymi z czynnikami chłodniczymi [P6-P8,P19]. Celem tych symulacji były badania związane z testowaniem modeli turbulencji wykorzystywanych w modelowaniu przepływów naddźwiękowych. Wyniki tych symulacji stanowiły obszerną bazę porównawczą do wyników PIV (Particle Image Velocimetry) uzyskanych eksperymentalnie [I1]. W projekcie [P19] byłem również częściowo odpowiedzialny za badania numeryczne wpływu parametrów geometrycznych strumienic na jej wydajność. Analizie poddana została długość komory mieszania oraz odsunięcie dyszy od komory mieszania. Zbadałem również wpływ wymiany ciepła wewnątrz strumienicy na jej efektywność. Podjąłem również zagadnienia regulacji wydajności układów strumienicowych [B4]. Uzyskane przed doktoratem jak i po doktoracie doświadczenie w zakresie badań układów strumienicowych pozwoliło na

realizację kilku projektów o charakterze aplikacyjnym [P3-P7,P9], m.in. finansowanego i wdrożonego przez EDF Polska [P3], w ramach którego powstało pierwsze stanowisko o mocy grzewczej 100 kW [T7]. Celem projektu było wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła sieciowego do zasilania urządzenia chłodniczego produkującego wodę lodową do celów klimatyzacyjnych. Część prac związaną z poprawy efektywności energetycznej układu wskazuje jako osiągnięcie naukowe. Pełne zaangażowanie i zakres wykonanych przez mnie prac zawiera załącznik nr 4 do wniosku habilitacyjnego. Praktyczne wykorzystanie układów strumienicowych zasilanych niskotemperaturową energią odpadową zostało również przeze mnie zrealizowane w projekcie [P6] „Design of ejection refrigeration system for cooling of electronic equipment” w ramach którego powstała mikrostrumienica o mocy chłodniczej około 6 W dedykowana do chłodzenia urządzeń elektronicznych. Innym projektem aplikacyjnym w którym byłem jednym z głównych wykonawców jest „Motive nozzles with diffusers” [P7] zrealizowany dla Technische Universität Berlin, gdzie strumienica zasilana ciepłem odpadowym ze spalin wylotowych została wykorzystana do układu klimatyzacji w pojazdach samochodowych. Podobne wykorzystanie ciepła odpadowego ze spalin wylotowych do zasilenia urządzeń chłodniczych pracujących na cele klimatyzacyjne proponuje w obecnie realizowanych projektach [P30,P31]. Wybrane zagadnienia związane z wykorzystaniem strumienic gazowych zostały opublikowane w czasopiśmie z listy filadelfijskiej [A1-A3, A5-A7] i rozdziałach [R1,R7].

Poza obszarem wskazanym jako osiągnięcie naukowe moja działalność koncentruje się na opracowywaniu nowych technologii, bądź ulepszaniu technologii już istniejących, co pozwala na efektywne ograniczenie szkodliwego oddziaływania na środowisko syntetycznych czynników chłodniczych. Jednym z takich działań była realizacja dwóch projektów konsorcjalnych [P20,P28] związanych z opracowaniem innowacyjnego urządzenia chłodniczego pracującego w chłodni owocowo-warzywnej. Celem projektów była aplikacja nowych, proekologicznych rozwiązań w systemach chłodniczych wykorzystywanych do magazynowania i przechowywania żywności. Zaproponowano w nich kompleksowe rozwiązanie układów chłodniczych obsługujących komory składowe produktów rolnych o małej i średniej pojemności, które odgrywają kluczową rolę w poprawie efektywności przechowywania warzyw i owoców w warunkach krajowych. W projekcie rozwiązano problem stosowania naturalnego płynu roboczego (propanu) w systemie chłodniczym, z czym wiąże się kwestia minimalizacji napełnienia układu czynnikiem roboczym. Pozwala to na praktyczną realizację Dyrektywy F-gazowej. Podjęte zostały także zagadnienia zastosowań nowoczesnych minikanalowych wymienników ciepła dla układów z propanem jako czynnikiem roboczym. Część z tych badań stanowi dorobek habilitacyjny poddany ocenie w myśl 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.). Zaproponowano rozwiązanie układu pośredniczącego w wymianie ciepła, stwarzającego dodatkowe możliwości regulacyjne. Zastosowanie free-cooling, a także magazynowania ciepła dla celów odszraniania chłodnicy powietrza pozwala na obniżenie energochłonności układu chłodniczego obsługującego komorę składową. Ważnym elementem były prace w zakresie ewaluacji jakości składowanych produktów rolnych. Efektem tych prac są publikacje w czasopiśmie, artykuły konferencyjne oraz monografie. Szczegóły zawarte są w Załączniku nr 6 do wniosku habilitacyjnego.

Byłem również wykonawcą projektu dotyczącego opracowania typoszereregu nowoczesnych pomp ciepła dla jednego z producentów tego typu urządzeń [P33]. Przedmiotem projektu było wykonanie dokumentacji projektowo - technicznej w zakresie projektu konstrukcyjnego oraz wykonawczego typoszereregu pomp ciepła o mocy grzewczej od 80 kW do 300 kW oraz wykonanie badań laboratoryjnych prototypu pompy ciepła o mocy grzewczej 100 kW. Urządzenia o takiej wydajności grzewczej stanowią nowość na rynku pomp ciepła. Projekt został wdrożony przez zleceniodawcę, **karta wdrożenia stanowi załącznik nr 7d do wniosku habilitacyjnego**. W zakresie budowy i badań nowoczesnych pomp ciepła byłem również wykonawcą projektu dotyczącego opracowania i wykonania prototypu pompy ciepła wykorzystującej jako dolne źródło ciepła powietrze wywiewane z pomieszczenia [P37]. Celem projektu było opracowanie i przebadanie powietrznej pompy ciepła małej mocy pracującej na cele grzewcze i c.w.u. przy wykorzystaniu stabilnego termicznie powietrza wywiewanego jako dolne źródło ciepła. W obu projektach moim zadaniem była pomoc przy eksperymencie, analiza efektywności energetycznej oraz opracowanie charakterystyk. Byłem również współautorem raportów końcowych.

W zakresie mojej działalności naukowo-badawczej znajdują się również układy ORC. Jeszcze przed uzyskaniem doktoratu byłem wykonawcą projektu NCN realizowanego we współpracy z Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technicznym [P10] w którym badane było wrzenie w warunkach okołokrytycznych czynników stosowanych w obiegach ORC [I2]. Efektem tych prac są korelacje na współczynniki wnikania ciepła po stronie czynnika chłodniczego. Zajmowałem się również analizą zastosowania ekspanderów śrubowych w siłowniach ORC. Wyniki zostały zaprezentowane w jednym z czasopism branżowych o zasięgu krajowym [C2]. Będąc opiekunem Studenckiego Koła Naukowego EKO-Energetyków realizowałem projekt studencki „Mikrosiłownia ORC z czynnikiem naturalnym”, którego celem była budowa mikrosiłowni ORC o mocy do 1 kW dedykowanej do pracy w pojedynczym gospodarstwie domowym. Wyniki analiz termodynamicznych pokazane zostały w pracy [C5]. W ramach projektu [P25] zbadałem możliwości współpracy układu strumienicowego z siłownią ORC [B9].

W latach 2012-2016 byłem wykonawcą projektów i współautorem raportów z projektów realizowanych dla RAFAKO [P34,P36,P39], których celem było określenie parametrów geometrycznych oraz cieplno-przepływowych różnego rodzaju wypełnień regeneratorów stosowanych w obrotowych podgrzewaczach powietrza. W projektach do doświadczalnego określenia współczynnika wnikania ciepła α w wymiennikach regeneracyjnych z wypełnieniem zaproponowana została tzw. metoda pojedynczego przedmuchu (ang. *single blow*). W myśl tej metody, poszukiwany współczynnik α jest wyznaczany przez porównanie temperatury gazu (zwykle powietrza) zmierzonej na wylocie wymiennika z obliczonym profilem teoretycznym. Zgodność profilu eksperymentalnego i teoretycznego zależy od wartości α użytej w rozwiązaniu równań odpowiedniego modelu badanego wymiennika. Efektem prac badawczych są współczynniki wnikania ciepła dla testowanych profili wypełnień. Podsumowanie tych prac zostało zaprezentowane w pracach [A4,I8]. Zaproponowana metoda została wdrożona- **karta wdrożenia stanowi załącznik 7f do wniosku habilitacyjnego**. Kolejnym projektem zrealizowanym dla RAFAKO był projekt [P35], którego również byłem wykonawcą i współautorem raportu. Projekt dotyczył pomiarów pól prędkości dla elektrod zbiorczych trzech typów: Sigma VI; Sigma VI-777 i Walther 850. Do pomiaru rozkładu prędkości przepływu gazu pomiędzy elektrodami zbiorczymi oraz wpływu wiatru jonowego na rozkład prędkości przepływu w obszarze pomiędzy elektrodą zbiorczą a ulotową wykorzystano system PIV. Mój udział w tych projektach to pomoc przy projektowaniu stanowisk pomiarowych, konsultacji, częściowa analiza wyników badań oraz współautorstwo raportów.

Od roku 2009 współpracuję z firmą Magnetic Development Inc. (Madison, CT, USA). Moja współpraca polega na konsultacjach oraz na pomocy przy przygotowywaniu wniosków grantowych, w tym opisów merytorycznych planowanych zadań. Byłem współautorem wniosków grantowych finansowanych przez instytucje działające na terenie USA. Ponadto wykonuje dla Magnetic Development Inc. obliczenia numeryczne procesów cieplno-przepływowych. Załączam poświadczenie właściciela firmy Magnetic Development Inc. (**Załącznik nr 7c**) potwierdzające moją współpracę w zakresie przedstawionym w Autoreferacie.

Realizuję projekty i prace badawcze, w których wykorzystywane są czynniki naturalne (np. propan, izobutan) lub syntetyczne czynniki o niskim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego GWP. Projektuję urządzenia strumienicowe z wykorzystaniem metod poprawy efektywności, np. wskazane jako osiągnięcie naukowe wykorzystanie wymiennika regeneracyjnego. Opracowuję analizy termodynamiczne obiegów prawo- i lewobieżnych, zajmuje się modelowaniem CFD procesów cieplno-przepływowych, w tym obejmujących przyprępy naddźwiękowe czynników chłodniczych. Jestem angażowany do projektowania i budowy stanowisk badawczych [T1-T7]. Moja działalność naukowa i naukowo-badawcza ukierunkowana jest głównie w stronę współpracy z przemysłem, gdzie głównym obszarem zainteresowania jest poprawa efektywności urządzeń, racjonalna gospodarka energetyczna, w tym efektywne wykorzystanie ciepła odpadowego. Jestem zatem wykonawcą i współautorem wielu projektów, w tym również realizowanych z zagranicznym partnerem przemysłowym.

Syntetyczne podsumowanie dorobku naukowego w okresie zarówno przed jak i po doktoracie zawiera Tabela 1. Szczegółowe zestawienie osiągnięć naukowo – badawczych zawiera Załącznik nr 6 do wniosku habilitacyjnego.

Tabela 1 Wykaz osiągnięć naukowych przed i po okresie doktoratu

	Łącznie	Przed doktoratem	Po doktoracie
Sumaryczna liczba punktów MNiSW	492	26	410 (A)+56(B) = 466
Sumaryczny IF	25.412	0	25.412
Publikacje ogółem:	45	13	32
Publikacje z listy A MNiSW	13	0	13
Publikacje z listy B MNiSW	22	10	12
Publikacje spoza listy MNiSW	11	3	8
Monografie	1	0	1
Rozdziały w monografiach:	9	1	8
Rozdziały monografiach w języku polskim	7	1	6
Rozdziały monografiach w języku angielskim	2	0	2
Publikacje w materiałach konferencyjnych:	67	21	46
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku angielskim	49	15	34
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku polskim	18	6	12
Udział w konferencjach:	32	9	23
Konferencje krajowe	9	1	8
Konferencje zagraniczne	23	8	15
Projekty badawcze ogółem (kierowane)	46(3)	7(1)	39(2)
Zgłoszenia patentowe	1	0	1

5.1 Dorobek w zakresie osiągnięć naukowo badawczych:

- **autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, niewchodzących w osiągnięcie naukowe w myśl ustawy**

Publikacje z listy czasopism punktowanych (część A): **7** (współautor), szczegóły przedstawione są w Załączniku nr 6 do Wniosku habilitacyjnego

- **autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego**

Opracowane technologie i wdrożenia

1. Technologia mikrostrumieniowego układu chłodniczego dla chłodzenia elementów elektronicznych, współautor, w ramach umowy IMP PAN C2-23/2010
2. Uruchomienie stanowiska badawczego do badania układów PVT - Wdrożenie osiągnięć nauk.-techn. (praktyczne wykorzystanie wyników badań), na zamówienie Pomorskiego Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska, Nr arch. IMP PAN: 614/2012, współautor
3. Implementacja prototypowego układu chłodniczego w ramach projektu POIG.01.03.01/20/137/09-00, współautor
4. Opracowanie oraz uruchomienie nowego specjalistycznego stanowiska dla badań klimatyzacji solarnej w Laboratorium Techniki Ciepłej IMP PAN w Gdańsku, PB N512 013 31/1179, współautor
5. Opracowanie i uruchomienie unikalnego stanowiska badawczego układu cieplnego kolektorów wysokotemperaturowych – ciepło użytkowe do podgrzewu wody w IMP, współautor – prace statutowe IMP PAN
6. Opracowanie i uruchomienie unikalnego stanowiska badawczego dla DCS (District Cooling System), współautor
7. Opracowanie i uruchomienie nowego specjalistycznego stanowiska dla badań strumieni chłodniczych z R1234zeE, Umowa 3Z1400127/2014

- **udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe**

Współautor zgłoszenia patentowego "Sposób i iglica dławiąca do regulacji wydajności strumienicy gazowej, zwłaszcza do regulacji przepływu w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych", nr P.405571, 2013

- **autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w § 3, dla danego obszaru wiedzy**

- ✓ Książki i monografie: **8**
- ✓ Materiały konferencyjne (międzynarodowe): **34**
- ✓ Materiały konferencyjne (krajowe): **12**
- ✓ Publikacje z listy czasopism punktowanych (część B): **12**
- ✓ Publikacje w czasopismach spoza listy czasopism punktowanych: **8**

Szczegóły przedstawione są w Załączniku nr 6 do Wniosku habilitacyjnego

- **autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych;**
 - ✓ współautorstwo raportów projektów badawczych: 18
 - ✓ współautorstwo wniosków projektów naukowo-badawczych: 10
 - ✓ współautorstwo projektów wymienionych w Załączniku 7c wykonywanych przez Magnetic Development Inc

Szczegóły przedstawione są w Załączniku nr 6 do Wniosku habilitacyjnego

- **sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:**
 - ✓ Sumaryczny IF **25.412 (na dzień 12.06.2018)**
- **liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS):**
 - 68 - (bez autocytowań) wg Web of Sciences; stan na dzień 12.06.2018
 - 80 - (bez autocytowań) wg Scopus; stan na dzień 12.06.2018
- **indeks Hirscha:**
 - ✓ **4**, wg Web of Sciences; stan na dzień 12.06.2018
 - ✓ **5**, wg Scopus; stan na dzień 12.06.2018
- **kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach:**
 - ✓ Projekty badawczo–wdrożeńiowe międzynarodowe: **6**
 - ✓ Projekty badawcze i wdrożeńiowe krajowe NCN i NCBiR: **24 (w tym 1 wskazany jako osiągnięcie naukowe)**
 - ✓ Projekty badawczo–wdrożeńiowe finansowane przez przemysł: **9 (w tym 2 wskazane jako osiągnięcie naukowe)**

Szczegóły przedstawione są w Załączniku nr 6 do Wniosku habilitacyjnego

- **wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych:**
 - ✓ wystąpienia konferencyjne – międzynarodowe: **15**
 - ✓ wystąpienia konferencyjne i seminaryjne – krajowe: **8**

Szczegóły przedstawione są w Załączniku nr 6 do Wniosku habilitacyjnego

5.2 Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa

- **uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych**
 - ✓ *Research of processes in supersonic ejectors with isobutane* w polsko -czeskim konkursie na wymianę osobową na lata 2016-2017 w ramach projektów współpracy naukowo- technicznej
- **udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji**
 1. Współorganizator w zakresie opracowania i uruchomienia ośrodka szkoleniowego i egzaminującego w zakresie certyfikacji f-gazowej, Białystok 2016:
 - a. opracowanie materiału szkoleniowo-dydaktycznego obejmującego część teoretyczną zgodnie z Rozporządzeniem Wykonawczym Komisji (UE) nr 2015/2067 z 17 listopada 2015 r.
 - b. prowadzenie szkoleń,
 - c. członek komisji egzaminacyjnej,
 2. **Przewodniczący sesji tematycznej *Steam and Gas Turbines*** na konferencji międzynarodowej ***X International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer, Seoul, Korea,***
 3. **Przewodniczący sesji tematycznej *Engineering applications*** na konferencji międzynarodowej ***XI International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer, Cracow, Poland,***
- **otrzymane nagrody i wyróżnienia;**
 - ✓ Nagroda Rektora Politechniki Białostockiej III stopnia za wyróżniającą się działalność dydaktyczną naukową i organizacyjną, 2018
- **udział w konsorcjach i sieciach badawczych**

wykonawca w projektach badawczych konsorcjalnych

 - ✓ Nowoczesne technologie dla sektora rolno – spożywczego przy ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych, Projekt UDA-POIG.01.03.01-20-137/09-00,
 - konsorcjum w składzie: Politechnika Białostocka (lider), Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach oraz Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie - Oddział Chłodnictwa i Jakości Żywności w Łodzi.
 - ✓ Kompleksowe rozwiązania technologii chłodniczej składowania warzyw, Program badań stosowanych PBS1/A8/7/2012,
 - konsorcjum w składzie: Politechnika Białostocka (lider), Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, przedsiębiorstwo Remstat, Gdańsk.

- **kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami**

✓ Kierownik projektu *Research of processes in supersonic ejectors with isobutane* realizowany z Technical University of Liberec (doc. ing. Vaclav Dvorzak, Ph.D.) w ramach projektów współpracy naukowo-technicznej

- **udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism**

recenzent w czasopiśmie *Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna* (od 2016 roku)

- **członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych**

1. Członek stowarzyszony Sekcji Termodynamiki Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN w kadencji 2015 - 2018
2. Ekspert Krajowego Forum Chłodnictwa – Związku Pracodawców w zakresie szkoleń i egzaminów personelu z dziedziny techniki chłodniczej, klimatyzacyjnej i pomp ciepła, decyzja nr 71/2013
3. Członek Komisji Egzaminacyjnej w zakresie Odnawialnych Źródeł Energii działającej w ramach Urzędu Dozoru Technicznego, decyzja TE.4351.123.2017/MD

- **osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki**

1. Opiekun koła naukowego Eko-energetyków, 2012 - 2016., Politechnika Białostocka
finalista konkursu Technotalent PB 2016, projekt: *Mikrosiłownia ORC z czynnikiem naturalnym*
2. Przygotowanie programu nauczania dla nowych studiów podyplomowych (Politechnika Białostocka 2014), kierunek **Nowoczesna inżynieria ciepła i chłodnicza**, opracowany program dla przedmiotów:
 - a. Pompy ciepła,
 - b. Eksploatacja systemów chłodniczych
 - c. Instalacje grzewcze
 - d. Płyny robocze w technice chłodniczej
3. Przygotowanie programu nauczania dla studiów I stopnia, kierunek **ekoenergetyka** (Politechnika Białostocka 2018), opracowany program dla przedmiotów:
 - a. Pompy i wentylatory,
 - b. Projekt przejściowy,
4. Wygłoszenie zamawianego wykładu (5h) pt. *Problemy energetyki, chłodnictwa i klimatyzacji – wybrane prace badawcze realizowane w Zakładzie Wymiany Ciepła*, dla studentów kierunku **Energetyka** Politechniki Krakowskiej, UDA-POKL.04.01.01-00-288/09-00, Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku 2011,
5. Prowadzenie zajęć dydaktycznych (wykład W, ćwiczenia C, projekt P)
 - Klimatyzacja i wentylacja (W,C,P)
 - Mechanika płynów (C)
 - Ogrzewnictwo i pompy ciepła (W)
 - Technika ciepła i chłodnictwo (W)
 - Zagadnienia prawne i organizacyjne techniki cieplnej (W)
 - Projekt przejściowy (P)
 - Gospodarka energetyczna (W,P)
 - Mikrosiłownie (W,C)

- Instalacje grzewcze w gospodarstwach rolnych (W,P)
- Energia wiatrowa, wodna i geotermalna w rolnictwie (W,C,P)
- Siłownie ciepłe (W,P)
- Maszyny chłodnicze (W,P)
- Urządzenia energetyczne (W)
- Technika chłodnicza w przemyśle spożywczym (C)

oraz w języku angielskim dla studentów ERASMUS:

- Thermal Science (W)
- Fluid Mechanics (W,C)
- **opieka naukowa nad studentami**
 - ✓ Kierowanie dyplomowymi pracami magisterskimi: **20 + 6** w trakcie realizacji
 - ✓ Kierowanie dyplomowymi pracami inżynierskimi: **18 +3** w trakcie realizacji
 - ✓ Kierowanie pracami „*Final Project*” dla studentów ERASMUS: **9**
 - ✓ recenzje prac dyplomowych inżynierskich: **9**
 - ✓ recenzje prac dyplomowych magisterskich: **2**
- **opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich;**

Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr. inż. Andrzeja Pawluczuka „Badania eksperymentalne i modelowanie inżyniera dwufazowego parowo-cieczowego”. Przewód doktorski został otwarty 20 września 2017 roku
- **staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich;**

Staż w Technical University of Liberec w Republice Czeskiej związany z realizacją projektu *Research of processes in supersonic ejectors with isobutane*: **pobyt 1 miesiąc**
- **wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców;**

Autor rozdziału „Zagadnienia zastosowania naturalnych czynników roboczych w pompach ciepła”: w ramach usługi doradczej pt. „Dokumentacja wstępna do prac badawczo-wdrożeniowych dla opracowania innowacyjnej pompy ciepła dużej mocy” wykonanej dla Bałtyckiego Klastra Ekoenergetycznego, Gdańsk, 2014
- **udział w zespołach eksperckich i konkursowych;**
 - ✓ Ekspert Krajowego Forum Chłodnictwa – Związku Pracodawców w zakresie szkoleń i egzaminów personelu z dziedziny techniki chłodniczej, klimatyzacyjnej i pomp ciepła, decyzja nr 71/2013,
- **recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych.**

1. Rozdział w książce w języku angielskim (1)

2. Chemical & Process Engineering (1)
3. International Journal of Refrigeration (5)
4. Applied Thermal Engineering (5)
5. Publikacje konferencyjne międzynarodowe (8)

Uzyskałem certyfikat wyróżnionego recenzenta ("Outstanding Reviewer") w czasopiśmie International Journal of Refrigeration oraz Applied Thermal Engineering (Załącznik nr 8).

Smiesław