PODPIS ZAUFANY
ANDRZEJ
JEDLIKOWSKI
12.07.2022 09:46:14 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Dr inż. Andrzej JEDLIKOWSKI

Politechnika Wrocławska
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa,
Gazownictwa i Ochrony Powietrza

ZAŁĄCZNIK 3

AUTOREFERAT

Wrocław, dnia 12.07.2022 r.

Autoreferat

1. **Imię i nazwisko.**

   Andrzej Jedlikowski.

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

   a) Dyplom uzyskania tytułu zawodowego technika ochrony środowiska na kierunku Ochrona Środowiska w zakresie Uzdatnianie Wody i Oczyszczanie Ścieków – Zespół Szkół Zawodowych Żeglugi Śródlądowej im. mjra Henryka Sucharskiego we Wrocławiu, 2001.

   b) Dyplom uzyskania tytułu zawodowego magistra inżyniera na kierunku Inżynieria Środowiska w zakresie Klimatyzacja, Ogrzewnictwo i Instalacje Sanitarne – Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.

   c) Dyplom uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w zakresie Inżynierii Środowiska – Rada Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012, tytuł pracy doktorskiej „*Wymiana ciepła w wymiennikach krzyżowych w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego*”. Praca doktorska napisana pod opieką promotorską prof. Sergeya Anisimova. Praca doktorska została obroniona z wyróżnieniem w dniu 16.10.2012 r.

3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**

   a) Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa – stanowisko: asystent naukowo-dydaktyczny, lata 2012–2015,

   b) Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza – stanowisko: początkowo adiunkt naukowo-dydaktyczny, obecnie adiunkt badawczo-dydaktyczny, lata 2015–obecnie.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

Osiągnięcie naukowe:
Monografia naukowa

Autor:
Andrzej Jedlikowski

Tytuł:
Modelowanie wymienników do odzyskiwania ciepła w systemach wentylacyjnych
Wydawnictwo:
Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2021,
ISBN: 978-83-7493-196-0

Recenzenci wydawniczy:
prof. dr hab. inż. Tomasz Cholewa
prof. dr hab. inż. Mieczysław Porowski

Opis osiągnięcia naukowego:

Postępująca strategia rozwoju krajów uprzemysłowionych dąży do wprowadzania szeregu zmian w sektorach gospodarczych, przemysłowych oraz bytowo-komunalnych z zakresu polityki energetycznej. Wzrost zużycia energii, zmiany środowiskowe oraz regulacje prawne zmuszają do zapewnienia racjonalnego gospodarowania zasobami energetycznymi.

Jedną z najbardziej energochłonnych grup stanowią systemy wentylacji i klimatyzacji. To właśnie te układy są głównym źródłem zużywanych energii elektrycznej oraz ciepła. Skutecznym sposobem ich obniżenia jest stosowanie wymienników do odzysku ciepła. Z tego względu producenci systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych skierowali swoją uwagę na wytwarzanie lub udoskonalanie urządzeń odzyskujących ciepło a niekiedy również zastępowanie ich nowszymi rozwiązaniami. Tego typu działania ściśle wynikają z wymogów zawartych w przepisach.

Bardzo ważną kwestią mającą bezpośrednie przełożenie na projektowanie systemów wentylacji i klimatyzacji jest zgodnie z przepisami ustanowiona niższa wartość strumienia powietrza wentylującego – 500 m^3/h (Dz. U.: z 2015 r., poz. 1422, z 2019 r., poz. 1065, z 2013 r., poz. 926) obligująca do wyposażania nawet niewielkich central wentylacyjnych i klimatyzacyjnych w urządzenia do odzyskiwania ciepła. Ponadto sam proces obniżania zapotrzebowania na energię wymusza coraz częstsze stosowanie wymienników ciepła.

Równie istotna jest także sprawność takiego urządzenia, niewymieniona w rozporządzeniu (Dz. U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690), a uzupełniona w uaktualnionych paragrafach obwieszczenia (Dz. U.: z 2015 r., poz. 1422, z 2019 r., poz. 1065), określona jako sprawność temperaturowa o minimalnej wartości na poziomie 50%. Ponadto należy podkreślić, że wymagania zapisane w rozporządzeniach delegowanych Komisji Europejskiej są prowadzone w kierunku stopniowego zwiększenia efektywności odzysku ciepła. Przyjęcie tych zmian także w Polsce doprowadziło do tego, że minimalna sprawność temperaturowa rekuperacyjnego wymiennika ciepła powinna wynosić 67% (dane od stycznia 2017, na podstawie R.D.K. (UE) Nr 1254/2014), a w wyniku dalszych zmian – 73% (dane od stycznia 2018, na podstawie R.K. (UE) Nr 1253/2014). Jak dotąd spośród dostępnej na rynku szerokiej gamy wymienników ciepła wybór danego urządzenia spełniającego wymogi sprawności równej 50% nie stanowił trudności. Trzeba jednak zauważyć, że w obwieszczeniu (Dz. U.: z 2015 r., poz. 1422, z 2019 r., poz. 1065) nie było jednoznacznego wskazania, w jakich warunkach należało uzyskać sprawność równą co najmniej 50%. Z tego względu wielu producentów i dystrybutorów tych urządzeń podawało i w dalszym ciągu podaje tę wartość w szerokim zakresie parametrów termodynamicznych powietrza. Oprócz tego brak odniesienia do bardzo niekorzystnego zjawiska powstawania szronu – dość powszechnego podczas eksploatacji wymienników ciepła w okresie zimowym. Szronienie towarzyszyło wymiennikom od rozpoczęcia ich działania. Problem w tym, że początkowo nie przywiązywano do tego aż tak wysokiej wagi, uznawano bowiem szronienie za skutek wzmożonej eksploatacji w niekorzystnych warunkach. Powstający w kanalikach powietrznych wymienników ciepła szron znacząco obniża ich wydajność, powoduje również zmniejszenie skuteczności odzysku ciepła. Skutkiem tego jest stopniowe narastanie kolejnych warstw szronu obniżających w początkowej fazie przepływ strumienia powietrza, czego dalszym następstwem może być jego całkowite zablokowanie. Tego typu „fenomen" doprowadza niekiedy do wykonania czynności zmierzających do przerwania działania wymienników. Trzeba także uwzględnić, że szronienie jest skutkiem kondensacji pary wodnej. Przepisy nie odnoszą się w żaden sposób do tego zjawiska, które w przeciwieństwie do szronienia powoduje zintensyfikowanie wymiany ciepła, a przez to podwyższenie sprawności urządzenia. Przypuszczalnie ustawodawcy celowo omijają tę kwestię, gdyż obydwa procesy są bardzo skomplikowane, mogą powstać w konkretnych warunkach termodynamicznych oraz wymagają wielokryterialnego podejścia.

Dostępne na rynku urządzenia zaliczane są do trzech głównych grup: recyrkulacji, rekuperacji oraz regeneracji. Recyrkulacja ze względu na możliwość ponownego wprowadzania do pomieszczeń zużytego powietrza nie wszędzie może być stosowana. Wyjątkiem są zwykle pomieszczenia czyste spełniające wymogi klasy czystości pyłowej. Rekuperacja oraz regeneracja natomiast stale podlegają istotnym modernizacjom. W tych grupach można wyodrębnić zazwyczaj wymienniki przeciwprądowe, współprądowe,

krzyżowe, asymetryczne, obrotowe i nieobrotowe. I to właśnie problemy kondensacji oraz szronienia dotyczą głównie tych urządzeń.

Podstawowym parametrem charakteryzującym wymienniki ciepła jest sprawność ich działania. Łatwo można się domyślić, że im wyższa wartość efektywności odzyskiwanego ciepła, tym lepiej. Jednakże uzupełniając ten parametr zjawiskami kondensacji i szronienia można odnieść zupełnie inne wrażenie. W tym miejscu warto również wspomnieć, że pozytywnym skutkiem kondensacji jest uwolnienie strumienia ciepła przejścia fazowego powodującego obecność cieczy na powierzchniach wypełnienia wymiennika ciepła. To właśnie ten strumień ciepła utajonego doprowadza do podwyższenia efektywności działania urządzenia. Niestety znacznie bardziej wzmożone procesy termodynamiczne oraz kontynuacja eksploatacji w takich warunkach mogą spowodować zamarzanie wytworzonego kondensatu, powodując tym samym uszkodzenie lub nawet zniszczenie wymiennika ciepła.

Oczywiście w pełni zasadne jest przeciwdziałanie temu procesowi poprzez stosowanie metod ochrony przed szronem. W tym celu wykorzystywane są nagrzewnice wstępne powietrza zewnętrznego, kanały obejściowe (bypassy) oraz procedury dostosowania czasu regeneracji wypełnienia (regulacja prędkości obrotowej lub częstotliwości przełączania przepustnic powietrznych). Aczkolwiek aktualnie nie stwierdzono dostępności precyzyjnych wytycznych wykorzystania wymienionych form ochrony przed szronem. Na ogół podawana jest umowna wartość temperatury powietrza uznawana za progową i na tej podstawie realizowane jest zabezpieczenie wymiennika przed szronem. W tym zakresie bardzo zasadne jest określenie nie tylko bezpiecznej granicy szronienia, lecz powiązanie jej również z umiejętnym wykorzystaniem strumienia ciepła kondensacji. Do tego celu potrzebna jest zatem wnikliwa analiza procesów wymiany ciepła i masy wewnątrz każdego z urządzeń. Warto zauważyć, że powyższe zjawiska będą występować podczas działania urządzeń w warunkach okresu zimowego. Możliwe jest wówczas utworzenie zróżnicowanych stref aktywnej wymiany ciepła i masy. Aby móc rozwiązać tego typu zagadnienia trzeba wykorzystać modelowanie matematyczne. Z tego względu modelowanie zachowania urządzeń odzyskiwania ciepła stanowi najbezpieczniejszą formę analizowania ich funkcjonowania. Oprócz tego modelowanie jest bardzo często stosowane przez wielu badaczy na całym świecie. Dokonując przeglądu literatury, jak dotąd nie zaobserwowano szczegółowej analizy powstawania zróżnicowanych stref aktywnej wymiany ciepła i masy. Rozważania prowadzono zwykle dla warunków suchej lub mokrej wymiany ciepła. Kwestie szronienia zazwyczaj pomijano lub traktowano bardzo pobieżnie. Nie zaobserwowano również porównania działania kilku urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych dla jednakowych lub podobnych warunków eksploatacji. Zagadnienia przeważnie analizowano w obrębie jednego wymiennika ciepła. Ponadto brakuje także jednoznacznej odpowiedzi dotyczącej warunków bezpiecznego funkcjonowania tych urządzeń w szczególnie niebezpiecznym okresie zimowym.

Powyższe zagadnienia wywołały wnikliwą potrzebę przeanalizowania działania sukcesywnie wdrażanych wymienników ciepła. W ten sposób określono przedmiot pracy stanowiący analizę procesów wymiany ciepła i masy w podstawowych wymiennikach rekuperacyjnych i regeneracyjnych stosowanych do odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego. Przeprowadzona analiza umożliwiła:

- Opracowanie modeli matematycznych wymienników do odzyskiwania ciepła stosowanych w systemach wentylacyjnych z uwzględnieniem przemian fazowych przy przepływie powietrza wilgotnego.
- Wyznaczenie lokalnych stref (obszarów) przemian fazowych: kondensacji pary wodnej, odparowania wody, sublimacji szronu, resublimacji pary wodnej w funkcji parametrów eksploatacyjnych tych wymienników.
- Wyznaczenie parametrów granicznych (progowych) określających ilościowo przedziały parametrów eksploatacyjnych, dla których nie występuje ryzyko oszronienia wymienników do odzysku ciepła.

Na podstawie opracowanych celów określono dodatkowe prowadzące do ich realizacji:

- sformułowanie oryginalnych matematycznych modeli wymiany ciepła i masy dla wybranych urządzeń rekuperacyjnych i regeneracyjnych;
- opracowanie numerycznych metod obliczania parametrów wymiany ciepła i masy w następujących wymiennikach: przeciwprądowym, współprądowym, krzyżowym, asymetrycznym, obrotowym, nieobrotowym;
- przeprowadzenie badań doświadczalnych wybranych i analizowanych urządzeń odzyskujących ciepło;
- zrealizowanie badań numerycznych umożliwiających ustalenie charakteru procesów wymiany ciepła i masy w kanałach urządzeń rekuperacyjnych i regeneracyjnych;
- ujawnienie występujących na powierzchni wypełnień urządzeń stref aktywnej wymiany ciepła i masy;
- wykazanie wpływu strumienia ciepła przejścia fazowego na bezpieczeństwo i efektywność działania analizowanych urządzeń;
- określenie warunków bezpiecznej eksploatacji rekuperacyjnych i regeneracyjnych wymienników ciepła w okresie zimowym.

Obecnie najbezpieczniejszą metodą analizowania zachowania wymienników ciepła jest wykorzystanie modelowania matematycznego. Podstawą opracowania modelu jest szczegółowy opis procesów termodynamicznych zachodzących w urządzeniu warunkujący wytworzenie zróżnicowanych wariantów eksploatacji. Jednym z podstawowych osiągnięć (opisanych w dysertacji) było ustalenie praw termodynamicznych odpowiedzialnych za procesy tworzenia zróżnicowanych stref aktywnej wymiany ciepła i masy. Umożliwiło

to następnie opracowanie oryginalnych modeli matematycznych wymienników ciepła. Modele matematyczne opisujące przebieg procesów wymiany ciepła i masy zbudowane są głównie z równań różniczkowych cząstkowych. Taka struktura równań nie umożliwia uzyskania ich rozwiązania z wykorzystaniem metod analitycznych. Z tego względu postanowiono wykorzystać metody numeryczne bazujące na zmodyfikowanej metodzie Rungego-Kutty czwartego rzędu. Następnie na podstawie przygotowanych oryginalnych modeli napisano programy komputerowe (z wykorzystaniem środowiska programowania Pascal) potrzebne do realizacji szeregu symulacji numerycznych. Skuteczność działania przygotowanych programów potwierdzono z wykorzystaniem dwóch stanowisk badawczych wyposażonych w urządzenia rekuperacyjne i regeneracyjne. Dzięki pozytywnej walidacji oraz uzyskanym wynikom pracy programów w pełni zobrazowano w odpowiednio wysokiej rozdzielczości rozmiaru wszystkie wytworzone obszary wewnątrz wypełnień wymienników ciepła.

Następnym osiągnięciem naukowym było wykazanie wielu pozytywnych efektów strumienia ciepła przemiany fazowej w odniesieniu do najbardziej niebezpiecznego wariantu działania urządzeń – wytworzenia kilku stref aktywnej wymiany ciepła i masy (zagadnienie niepodejmowane często w literaturze przedmiotu). Zazwyczaj eksploatacja wymienników ciepła do momentu zaistnienia szronu nie jest w ogóle rozpatrywana. Podobnie zagrożenia związane z powstawaniem szronu w urządzeniach odzyskujących ciepło są często pomijane ze względu na znaczne skomplikowanie opisujących je równań matematycznych. W wielu publikacjach pojawiają się bardziej bezpieczne analizy funkcjonowania mokrych wymienników ciepła wykorzystywanych do celów chłodzenia powietrza zewnętrznego w okresie letnim. Powszechnie wiadomo bowiem, że próby eksploatowania wymienników ciepła w ekstremalnie niskich temperaturach okresu zimowego niosą pewne niebezpieczeństwo ich uszkodzenia. Dotychczas nie natrafiono na analizy działania wymienników ciepła w takich warunkach ani na prezentację pozytywnych efektów uwolnionego strumienia ciepła kondensacji. Rezultaty pochodzące z napisanych oryginalnych programów komputerowych umożliwiły nie tylko wyodrębnienie zmian wielu istotnych wielkości fizycznych (profili temperatury, prędkości wzrostu szronu, czasu powstawania stref, strumieni masy oraz ciepła jawnego, utajonego i całkowitego), lecz także obserwacje wielu nieznanych i niespotykanych dotąd zjawisk. Ujawniono w ten sposób szczególnie znaczące podwyższenie efektywności działania urządzeń rekuperacyjnych. W urządzeniach regeneracyjnych natomiast wzrost sprawności potwierdzono nieznanym dotąd zjawiskiem akumulacji wody. Ponadto w obydwu grupach urządzeń odzyskujących ciepło zaobserwowano także obecność stref akumulacji szronu powodujących zaburzenie procesów wymiany ciepła i masy. Stwierdzono również obecność stref przejściowych charakteryzujących się znikomą grubością warstwy szronu. Warto zaznaczyć, że ten rodzaj obszarów, szczególnie widoczny w wypełnieniach

urządzeń regeneracyjnych, ulega roztopieniu pod wpływem zmiany trybu ich działania (obrotu rotora lub przełączeniu cyklu funkcjonowania). Nie zaobserwowano w opublikowanych dotychczas pracach badawczych dokładnego ujęcia problemu wykorzystania strumienia ciepła przemiany fazowej.

W ramach przeprowadzonych badań dotyczących walidacji oraz wyników symulacji:

- Uzyskano zgodność programów dotyczących wymienników: krzyżowego, obrotowego i nieobrotowego na podstawie pozytywnej walidacji (na poziomie 76–93%) przeprowadzonej z wykorzystaniem stanowisk badawczych – należy zatem zaznaczyć, że programy oparte na opracowanych modelach matematycznych mogą być stosowane do symulacji działania tych urządzeń.
- Przedstawiono w przypadku najbardziej niebezpiecznego wariantu eksploatacji przebieg procesów wymiany ciepła i masy wewnątrz wypełnień rozpatrywanych wymienników ciepła. Na tej podstawie potwierdzono występowanie różnych obszarów aktywnej wymiany ciepła i masy (suchego, mokrego, szronu, przejściowego) oraz funkcjonowanie wszystkich symulowanych urządzeń w warunkach szronienia, które w rzeczywistości nie powinny być kontynuowane, ponieważ mogą doprowadzić do ich uszkodzenia lub zniszczenia. Zaobserwowano typową dla urządzeń rekuperacyjnych suchą wymianę ciepła w kanałach powietrza zewnętrznego oraz wspólną (suchą i mokrą) wymianę ciepła i masy w kanałach powietrza wywiewanego. W wymiennikach regeneracyjnych natomiast – jednoczesne występowanie suchej i mokrej wymiany ciepła w obydwu kanałach powietrznych.
- Wykazano na podstawie rozkładu strumieni ciepła (jawnego, utajonego i całkowitego) istotny wpływ strumienia ciepła przejścia fazowego (6–40%) uwolnionego podczas warunków kondensacji na charakter wymiany ciepła i masy. Potwierdzono tym samym obecność strumienia ciepła kondensacji, które w przypadku urządzeń rekuperacyjnych pośrednio wpływa na parametry termodynamiczne w kanale powietrza zewnętrznego. W urządzeniach regeneracyjnych natomiast strumień ten jest w całości przekazywany do sąsiedniego kanału, gdzie bezpośrednio uczestniczy zarówno w wymianie ciepła jawnego, jak i utajonego.
- Zilustrowano szczególnie zauważalne w urządzeniach rekuperacyjnych efekty dodatkowego (pod wpływem kondensacji) podgrzewania strumienia powietrza zewnętrznego. Poprzedza to widoczny wzrost temperatury płyt wypełnienia wymiennika ciepła.
- Przedstawiono uzyskiwanie rozkładu stałej wartości temperatury płyt wewnątrz współprądowego wymiennika ciepła. Ten efekt wynika głównie ze specyfiki działania urządzenia prowadzącej do występowania tylko jednej strefy w kanale powietrza wywiewanego (suchej, mokrej lub szronu).

- Ujawniono występowanie rozkładu średniej wartości temperatury na podstawie obydwu strumieni powietrza w urządzeniach regeneracyjnych niezależnie od rodzaju strefy (suchej, mokrej, szronu i przejściowej). Powodem tego jest praca programu w warunkach nieoscylujących – znikomych zmian amplitudy temperatury wypełnienia.
- Wykazano obecność w wymiennikach regeneracyjnych strefy akumulacji szronu powodującej zaburzenie bilansu wymiany masy dla obydwu stron przepływu powietrza. Skutkiem tego jest gromadzenie się warstw szronu, które nie uległy roztopieniu po przekazaniu do sąsiedniego kanału powietrza.
- Ujawniono obecność w wymiennikach rekuperacyjnych jednej strefy przejściowej charakteryzującej się niezauważalną, zerową grubością szronu potwierdzonej uskokiem strumieni ciepła. Ten fragment wypełnienia ilustruje moment zmiany stanu skupienia wytworzonego kondensatu z fazy ciekłej (filmu wodnego) do fazy stałej (warstwy szronu).
- Ujawniono obecność dwóch stref przejściowych w wymiennikach regeneracyjnych potwierdzonych rozkładem strumieni ciepła, strumieni masy i prędkością wzrostu szronu powiązaną z czasem powstawania stref. W obydwu obszarach wystąpiła równowaga bilansowa strumieni masy powodująca powstawanie szronu z równoczesną jego eliminacją. Oznacza to, że czas kontaktu strumienia powietrza z wypełnieniem był adekwatny do uwolnienia strumienia ciepła przejścia fazowego potrzebnego do roztopienia szronu.
- Porównano najważniejsze parametry działania urządzeń, w tym ich efektywność, powierzchnię stref oraz maksymalny udział strumienia ciepła utajonego. Istotny wzrost efektywności (1,4–2,8%) wystąpił w przypadku urządzeń rekuperacyjnych, co potwierdzono także obecnością strefy mokrej i wysokim udziałem strumienia ciepła utajonego. Wynika to głównie z intensywnych procesów termodynamicznych odbywających się wyłącznie w kanale powietrza wywiewanego i ich pośredniego wpływu na parametry powietrza zewnętrznego (sucha wymiana ciepła – podwyższenie wyłącznie temperatury powietrza zewnętrznego). W wymiennikach regeneracyjnych natomiast mimo najwyższego udziału strumienia ciepła utajonego procesy termodynamiczne obejmowały dwa kanały powietrzne (zmiany dotyczyły zatem wartości temperatury i wilgotności względnej), a uwolniony strumień ciepła kondensacji był zużywany głównie na przeciwdziałanie szronieniu stąd nieznaczny wzrost efektywności działania tych urządzeń (0,2%).

Następnie wykorzystano warianty symulujące niebezpieczną eksploatację urządzeń, w celu dokonania analizy skuteczności ich zabezpieczania przed szronem. Wybór właściwej metody ochrony przed szronem zawsze powinien być poprzedzony wnikliwą analizą warunków funkcjonowania danego wymiennika ciepła, która będzie możliwa

wyłącznie za pomocą prawidłowo opracowanych modeli matematycznych. Wśród analizowanych zabezpieczeń urządzeń rekuperacyjnych wybrano zastosowanie nagrzewnicy wstępnej powietrza zewnętrznego oraz wykorzystanie bypassu. W wymiennikach regeneracyjnych natomiast przeanalizowano również podgrzewanie wstępne powietrza zewnętrznego oraz regulację prędkości obrotowej lub czasu przełączania przepustnic. Skuteczność każdej z metod porównano w odniesieniu do analizowanych układów odzysku ciepła. W rezultacie najlepsze efekty ochrony urządzeń przed szronem uzyskano poprzez czynności obniżające efektywność ich działania.

Na tej podstawie zrealizowano finalny etap pracy, dotyczący określenia bezpiecznych warunków eksploatacji wymienników ciepła. W tym celu dokonano szczegółowych symulacji zmierzających do ustalenia progowej temperatury powietrza zewnętrznego, stopnia otwarcia bypassu oraz poziomu redukcji czasu regeneracji wypełnienia. Całość uzupełniono o zmienność stref związanych z kondensacją oraz efektywność działania urządzeń. Szczegółowe wyniki tych badań przedstawiono w formie tabelarycznej.

W ramach badań dotyczących metod ochrony wymienników ciepła przed szronem:

- Przedstawiono przebieg procesów wymiany ciepła i masy wewnątrz wypełnień rozpatrywanych urządzeń, rozkład temperatury, strumieni ciepła, strumieni masy i prędkości wzrostu szronu powiązanej z czasem powstawania stref. Potwierdzono tym samym, że przy zastosowaniu nagrzewnicy wstępnej wszystkie symulowane wymienniki ciepła funkcjonowały w warunkach bezpiecznych, czego powodem jest prawidłowe ustalenie wartości temperatury zewnętrznego powietrza wlotowego (temperatury progowej) uniemożliwiającej wytworzenie warstw szronu (urządzenia rekuperacyjne) lub szronu zakumulowanego (urządzenia regeneracyjne). Użycie bypassu w urządzeniach rekuperacyjnych umożliwiło bezpieczną eksploatację wyłącznie wymienników przeciwprądowego i współprądowego dzięki całkowitemu nagrzaniu płyt wypełnienia po stronie powietrza wywiewanego. W wymiennikach krzyżowych i asymetrycznych natomiast nie uzyskano pełnej ochrony przed szronem. Wynika to głównie z krzyżowego lub krzyżowo modyfikowanego przepływu strumieni powietrza, który nie umożliwia kompletnego podgrzania płyt wypełnienia, a przez to przyczynia się do powstawania warstwy szronu na powierzchni bardzo wąskiego fragmentu wypełnienia zlokalizowanego w pobliżu otworu wlotowego powietrza zewnętrznego. Wymienniki regeneracyjne wykazywały się za to znacznie skuteczniejszą ochroną przed szronem zakumulowanym przy zastosowaniu metod powodujących obniżenie ich sprawności działania (redukcja obrotów rotora, wydłużenie czasu przełączania przepustnic powietrznych). Powodem tego jest uzyskiwana wyższa temperatura powierzchni wypełnienia.

- Wykazano w wyniku zastosowania nagrzewnicy wstępnej możliwość utworzenia maksymalnie stref: suchej i mokrej (wymienniki rekuperacyjne) oraz suchej, mokrej i przejściowej – szronu niezakumulowanego (wymienniki regeneracyjne). Wynika to głównie z umiejętnego doboru wartości temperatury progowej, która przyczynia się do przekroczenia granicy zamarzania kondensatu (urządzenia rekuperacyjne) lub granicy narastania szronu (urządzenia regeneracyjne).
- Stwierdzono, że obecność strefy przejściowej w wymiennikach regeneracyjnych umożliwiła nie tylko dotrzymanie zasady bilansu strumieni masy między dwiema stronami powietrznymi regeneratora, lecz także uzyskanie znacznie niższych od rekuperatorów minimalnych wartości temperatury płyt – a to dzięki wykorzystaniu uwolnionego strumienia ciepła przejścia fazowego i przeniesieniu go do kanału powietrza zewnętrznego i w rezultacie roztopienie warstwy szronu niezakumulowanego.
- Dokonano oceny skuteczności metody regulacji czasu regeneracji wypełnienia i na tej podstawie przyjęto za formę ochrony przed szronem działania zmierzające do obniżania sprawności wymienników regeneracyjnych. Powody tego to: brak dysproporcji w symulacji dotyczącej założonej i wynikowej temperatury zewnętrznego powietrza wlotowego oraz wyższa, a przez to bezpieczniejsza wartość temperatury wypełnienia.
- Opracowano tabele progowych temperatur powietrza zewnętrznego warunkujące bezpieczną eksploatację urządzeń rekuperacyjnych i regeneracyjnych w szerokim zakresie wilgotności względnej powietrza wywiewanego. Przygotowane tabele zarówno stanowią skuteczną ochronę urządzeń eksploatowanych w warunkach okresu zimowego, jak i umożliwiają wykorzystanie strumienia ciepła kondensacji podwyższającego efektywność działania wymienników ciepła.
- Wykazano szczególny wpływ wilgotności względnej, przy której temperatura punktu rosy i temperatura punktu zamarzania są jednakowe (0°C) i mają taki sam wpływ na wzrost temperatur progowych (dotyczy tylko urządzeń rekuperacyjnych). Tak jest, ponieważ wartość wilgotności względnej w tym przypadku (np. 26,1%) stanowi granicę występowania strefy suchej. Poniżej tej wartości powietrze jest zbyt suche, żeby mogła wystąpić kondensacja, a powyżej – przy temperaturze progowej strumień ciepła kondensacji skutecznie przeciwdziała szronieniu wypełnienia oraz podwyższa efektywność działania wymiennika ciepła.
- Dostrzeżono dodatkowe zjawisko akumulacji wody (pośrednio widoczne przy niemal w 100% mokrej powierzchni) charakteryzującej się zauważalnym wzrostem efektywności wymienników regeneracyjnych – 7,3%. Skutkiem tego jest nadmiarowy strumień ciepła przejścia fazowego, który tylko w pewnej części wystarczył do usunięcia szronu. Pozostała jego część umożliwiła dodatkowe podgrzanie strumienia powietrza zewnętrznego.

- Przedstawiono wpływ maksymalnych wartości wilgotności względnej (70–90%) na uzyskiwanie najwyższych temperatur progowych (wymienniki regeneracyjne). Wynika to głównie z intensywnego wpływu nadmiarowych wartości strumienia ciepła przejścia fazowego.
- Opracowano tabele poziomów otwarcia bypassu rekuperacyjnych wymienników ciepła warunkujące ich bezpieczną eksploatację. Ale skuteczna ochrona dotyczy jedynie wymienników przeciwprądowych. W przypadku wymienników krzyżowych i asymetrycznych wymagane jest przerwanie ich działania – powód tego to krzyżowy lub krzyżowo modyfikowany przepływ powietrza, który znacznie utrudnia eliminację szronu.
- Wykazano, że wyższa temperatura powietrza wywiewanego zmniejsza poziom otwarcia bypassu, lecz wyłącznie w warunkach mokrej wymiany ciepła (odwrotnie jak w przypadku suchej wymiany ciepła). Wynika to z wyższego stopnia podgrzania płyt wymiennika ciepła spowodowanego wpływem strumienia ciepła przejścia fazowego.
- Ujawniono maksymalną efektywność działania urządzeń rekuperacyjnych (sięgającą niekiedy 0,713; 0,834; 0,917 lub 0,957 w warunkach kondensacji) w okolicy najniższych temperatur progowych, co także potwierdzono najwyższym stopniem wykorzystania strumienia ciepła przejścia fazowego.
- Wykazano, że urządzenie funkcjonujące w warunkach wyższej sprawności wymaga większego poziomu otwarcia bypassu. Konsekwencją wyższej efektywności wymiennika ciepła jest bowiem dłuższy czas kontaktu strumieni powietrza z wypełnieniem, prowadzący do większej wartości uwolnionego, a następnie wykorzystanego strumienia ciepła przejścia fazowego. Skutkiem tego jest zatem wyższa podatność na szronienie wymiennika ciepła, a więc wymagany większy stopień ochrony.
- Opracowano tabele regulacji czasu regeneracji wypełnienia wymienników ciepła – na ich podstawie można zapewnić skuteczną ochronę wymienników ciepła przed szronem.
- Stwierdzono, że najmniejsza konieczność redukcji czasu regeneracji wypełnienia występuje w warunkach suchej wymiany ciepła. Wynika to głównie z obecności suchego powietrza, które mimo ujemnej temperatury wypełnienia wymiennika ciepła uniemożliwia wytworzenie filmu wodnego na jego powierzchni.
- Zauważono, że najwyższa konieczność niemal całkowitej redukcji efektywności urządzeń regeneracyjnych występuje w zakresie wilgotności względnej 30–50%, co odpowiada warunkom komfortu cieplnego pomieszczeń bytowych w zimie. Powodem tego był uwolniony strumień ciepła przejścia fazowego, którego wartość przed redukcją efektywności nie była wystarczająca do usunięcia wytworzonej warstwy szronu.

- Potwierdzono, że przy wyższych temperaturach powietrza wywiewanego wymagany jest niższy poziom redukcji czasu regeneracji. Skutkiem tego jest wyższy stopień podgrzania wypełnienia wymiennika ciepła przez strumień powietrza wywiewanego.
- Wykazano również obecność akumulacji wody w zakresie wilgotności względnej 60–90%, której towarzyszył wzrost sprawności urządzeń z niższym poziomem redukcji czasu regeneracji wypełnienia. Taki efekt spowodowany był głównie obecnością nadmiarowej wartości strumienia ciepła kondensacji, którego jedna część przeznaczona została na roztopienie warstwy szronu, a drugą zużyto na dodatkowe podwyższenie temperatury powietrza zewnętrznego i w konsekwencji także efektywności urządzenia.

Opracowane wytyczne przyczyniły się również do skoncentrowania uwagi na wiele innych bardzo istotnych kwestii. Na przykład: najwyższe wartości temperatury progowej odnotowano w okolicy wilgotności względnej powietrza związanej z temperaturą punktu rosy równą 0°C (dla urządzeń rekuperacyjnych) lub najwyższych wilgotności względnych powietrza wywiewanego (dla urządzeń regeneracyjnych). Zdecydowanie zauważalny wzrost efektywności wymienników ciepła zaobserwowano wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza wywiewanego. Ponadto stwierdzono również, że wymóg obniżania efektywności działania wymienników ciepła (z wykorzystaniem bypassu lub redukcji czasu regeneracji wypełnienia) występuje zwykle w zakresie wilgotności względnej powietrza wywiewanego charakterystycznym dla warunków utrzymania komfortu termicznego pomieszczeń bytowych w zimie. Trzeba zatem podkreślić, że przygotowane wytyczne warunkujące bezpieczną eksploatację urządzeń wentylacyjnych mają zastosowanie praktyczne, czyli mogą być wykorzystane jako skuteczne narzędzie do optymalizacji działania wymienników ciepła.

Podsumowując należy zaznaczyć, że wśród dostępnych i opublikowanych w światowej literaturze przedmiotu prac naukowych i badawczych jak dotąd nie stwierdzono występowania przedstawionych w niniejszej pracy zagadnień, które zatem można uznać za prekursorskie osiągnięcie naukowe.

Dodatkowe osiągnięcia naukowe:

Wśród moich osiągnięć naukowych należy także wymienić współpracę naukową obejmującą bardzo skomplikowane zagadnienia uwzględniające wpływ dynamiki szronu na eksploatację wymienników ciepła. Stopniowe narastanie warstw szronu wewnątrz wymienników ciepła może bowiem zmniejszać, a nawet zniekształcać wewnętrzne kanaliki powietrza, co skutkuje zwiększonym oporem przepływu, a więc wzrostem strat ciśnienia i lokalnej prędkości powietrza przy równoczesnym zmniejszeniu jego strumienia. Model matematyczny opisujący zmienność grubości szronu w czasie zbudowany jest ze znacznie większej liczby równań uwzględniających wiele dodatkowych założeń oraz procesów odbywających się nie tylko na powierzchni, ale również wewnątrz warstw szronu. W rezultacie tych działań opublikowane zostały dwie publikacje [B2, C11].

Oprócz tego kolejnym osiągnięciem naukowym jest współuczestnictwo w badaniach działania urządzeń regeneracyjnych w warunkach quasi-ustalonych. W tym celu wspólnie opracowano model przeznaczony do analiz funkcjonowania wymiennika obrotowego w warunkach wolnych obrotów rotora. Oryginalny i mocno rozbudowany model matematyczny umożliwia stopniowe prześledzenie zmienności parametrów termodynamicznych strumieni powietrza oraz wypełnienia w konkretnym czasie, dzięki czemu można bardziej szczegółowo przeanalizować zmienność szronu w cyklach obrotu rotora oraz wyodrębnić dodatkowe strefy aktywnej wymiany ciepła i masy jak na przykład obszar lodu lub akumulacji lodu. Dzięki szczegółowej analizie można również wykazać zmienność tych stref w obrębie części wypełnienia występującego w jednym kanale powietrza (np. wywiewanego), zanim zostanie ona przekazana do sąsiedniego kanału (np. zewnętrznego). Jest to istotne, ponieważ umożliwia analizowanie zmian efektywności wymiennika ciepła przed ukończeniem cyklu ładowania lub rozładowania, w wyniku czego będzie można znacznie wcześniej podjąć decyzję dotyczącą wdrożenia strategii przeciwdziałania szronieniu. Skutkiem tej współpracy jest przygotowanie publikacji dotyczącej wymiennika obrotowego [B1].

Następnym osiągnięciem naukowym jest opracowanie modelu matematycznego wymiennika nieobrotowego z uwzględnieniem wpływu nierównomierności przepływu powietrza, powodującej wytworzenie ciągu wstecznego w komorze odzysku ciepła. Ten efekt jest o tyle istotny, iż powoduje występowanie zróżnicowanych lokalnych wartości temperatury, wilgotności względnej, entalpii, prędkości przepływu, a przez to różnych mikro strumieni powietrza w całej sekcji odzysku ciepła. W rezultacie prowadzi to do zaburzenia bilansu procesów termodynamicznych, uzyskiwania zawyżonej efektywności urządzenia, nieprecyzyjnych informacji dotyczących kondensacji pary

wodnej oraz jej negatywnych następstw – szronienia. Wyniki prowadzonych badań przedstawiono w publikacji naukowej [B2].

Kolejne dwa osiągnięcia naukowe dotyczą prób modelowania funkcjonowania systemów dostawy wody i gazu w budynkach. Takie działania oparte zostały na szeregu badań doświadczalnych zgromadzonych na podstawie pomiarów natężenia przepływu wody i gazu. Precyzyjna analiza otrzymanych wyników pozwoliła na prześledzenie specyfiki funkcjonowania obiektów budowlanych. W wyniku współpracy badawczej określono zależności funkcyjne modeli umożliwiające wyznaczenie zużycia wody oraz paliwa gazowego w budynkach z uwzględnieniem potrzeb bytowo-komunalnych. Skutkiem tej współpracy było opracowanie publikacji naukowych [B4, B9, B11–B13, B17, C4, C10].

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Przedstawione poniżej moje osiągnięcia i aktywności naukowe uzupełniono odnośnikami do pozycji bibliograficznych zamieszczonych w załączniku 4 pt. Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (2007–2012)

Przed uzyskaniem stopnia doktora w zakresie moich zainteresowań naukowych znajdowały się następujące zagadnienia:

1. Analiza zmienności zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego we Wrocławiu.

   W początkowych etapach prowadzonych przeze mnie prac naukowych dotyczących studiów doktoranckich było pozyskiwanie wyników pomiarów stężeń dwutlenku siarki (SO_2), tlenków azotu (NO_X) oraz pyłu zawieszonego PM10 dla Wrocławia w latach 1990–2006. W powyższych działaniach współpracowałem z prof. Tomaszem Sucheckim. Wyniki pomiarów uzyskałem dzięki nawiązaniu współpracy z takimi instytucjami jak Główny Urząd Statystyczny, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska oraz Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna. Na tej podstawie

określono wieloletnią zmienność stężenia związków chemicznych obecnych w powietrzu atmosferycznym. Ponadto opracowano także mapę kilkudziesięciu systemów monitorujących stężenia zanieczyszczeń zlokalizowanych na obszarze Wrocławia wraz z charakterystyką ich funkcjonowania. Zgromadzone dane posłużyły do przeprowadzenia analiz statystycznych potrzebnych do sporządzenia prognozy jakości stanu powietrza atmosferycznego we Wrocławiu. Skutkiem wykonanych prac były przygotowane publikacje [C30, C31].

2. Modelowanie matematyczne krzyżowych wymienników ciepła.

   Na początku października 2008 roku rozpocząłem prace dotyczące modelowania działania wymienników krzyżowych wyposażonych w płaskie kanały. W tym celu początkowo przeanalizowano wnikliwie procesy wymiany ciepła i masy zachodzące wewnątrz wymiennika ciepła, prowadzące do wytworzenia zróżnicowanych stref aktywnej wymiany ciepła i masy. Na tej podstawie opracowano warunki termodynamiczne, przy których mogą wystąpić spodziewane warianty eksploatacji tych urządzeń. W dniu 26.01.2009 r. wygłosiłem seminarium otwierające przewód doktorski pod opieką promotorską prof. Sergeya Anisimova. Następnie opracowano oryginalny model matematyczny wymiennika krzyżowego (α–model, jednowymiarowego przenoszenia) wyposażonego w płaskie kanały. Model składający się z matematycznych równań różniczkowych cząstkowych wykorzystano do napisania programu komputerowego potrzebnego do przeprowadzania symulacji działania wymiennika ciepła. W celu rozwiązania równań modelu matematycznego zastosowano metody numeryczne. Rezultaty prowadzonych badań numerycznych wykorzystano podczas przygotowania publikacji i referatów wygłaszanych na konferencjach naukowych [A7, A10, C25, C28].

3. Modelowanie matematyczne krzyżowych wymienników ciepła o rozbudowanej powierzchni wypełnienia oraz współpraca przy budowie stanowiska doświadczalnego.

   Prace naukowe przedstawione powyżej nadal kontynuowano pod opieką naukową prof. Sergeya Anisimova. W wyniku tej współpracy rozbudowano oryginalny model matematyczny wymiennika krzyżowego bazujący na zmodyfikowanej metodzie ε-NTU o zróżnicowaną charakterystykę wypełnienia. W ten sposób napisano dodatkowe równania modelu matematycznego zawierające wielkości składowe dotyczące nie tylko parametrów termodynamicznych strumieni powietrza i płaskiej płyty wypełnienia, lecz także elementów dystansujących. Ze względu na skomplikowany opis przemian termodynamicznych wewnątrz elementów ożebrowanych – składający się z równań różniczkowych cząstkowych II stopnia, wymagane było opracowanie algorytmu

obliczeniowego do ich rozwiązywania. Skutkiem tego było utworzenie dodatkowych podprogramów potrzebnych do uzyskania wartości liczbowych każdego węzła siatki elementarnej wypełnienia wymiennika ciepła. Powyższe obliczenia realizowano iteracyjnie nie tylko na płaszczyźnie wypełnienia (w kierunkach osi X i Y), lecz także wzdłuż elementów ożebrowanych (dotyczących osi Z) aż do momentu uzyskania zasady bilansu ciepła. Dzięki połączeniu programu źródłowego z dodatkowymi modułami obliczeniowymi podprogramów komputerowych [D2, D3] możliwe było analizowanie zmian parametrów cieplno-wilgotnościowych wzdłuż elementów ożebrowanych oraz zaobserwowanie wielu nieznanych dotąd zjawisk. Omówiona modyfikacja w strukturze modelu przyczyniła się do nawiązania współpracy z dr inż. Darią Denisikhiną, która pracuje na Wydziale Inżynierii Środowiska i Gospodarki Komunalnej Sankt-Petersburskiego Uniwersytetu Architektury i Budownictwa Lądowego Federacji Rosyjskiej i ma umiejętności naukowe m.in. z zakresu modelowania, przeprowadzania skomplikowanych symulacji oraz wizualizacji ich wyników. Znaczna rozbudowa modelu i w konsekwencji także programu komputerowego doprowadziła do wydłużenia czasu obliczeń numerycznych. Z tego względu wymagany był zakup komputera o odpowiednio wysokiej wydajności obliczeniowej. Ponadto konieczne było również zweryfikowanie poprawności działania napisanego programu. Złożono więc wniosek o projekt badawczy promotorski do Narodowego Centrum Nauki. W tym miejscu warto zaznaczyć, że równolegle podczas tych działań dzięki porozumieniu prof. Sergeya Anisimova z prof. Gerardem Beslerem rozpoczęto współpracę z drem inż. Maciejem Skrzyckim (ówczesnym doktorantem prof. Gerarda Beslera) oraz drem inż. Maciejem Beslerem, zmierzającą do zbudowania stanowiska badawczego składającego się z kilku urządzeń odzyskujących ciepło. Na realizację powyższych zadań uzyskano m.in. środki finansowe z promotorskiego projektu badawczego [D1] finansowanego z Narodowego Centrum Nauki (N N523 559938). Ponadto nawiązano współpracę z firmami: „*Klingenburg International sp. z o.o.*” (udostępnienie i dostawa urządzeń do badań) i „*Clima-Produkt sp. z o.o.*” (wykonanie obudowy udostępnionych wymienników ciepła). Warto dodać także, że większość prac fizycznych (ok. 90%) jak np. montaż urządzeń, kanałów, profili, konstrukcji, izolacji, okablowanie, podłączenie elementów pomiarowych itp., wykonałem wspólnie z drem inż. Maciejem Skrzyckim oraz drem inż. Maciejem Beslerem. Aczkolwiek należy również zaznaczyć, że mogliśmy liczyć na pełne wsparcie wielu niewymienionych w tym miejscu, ale bardzo życzliwych osób udostępniających potrzebne elementy, urządzenia, narzędzia lub wykonujących dla nas prace bardziej niebezpieczne jak np. podłączenia elektryczne urządzeń lub otwory w przegrodach zewnętrznych budynku. W ramach współpracy powstało wiele wygłoszonych referatów i prac opublikowanych w materiałach konferencji naukowych [A4, A11, B25, C19, C21–C23, C29].

4. Analizowanie efektywności działania układów odzyskujących ciepło.

   Stale rozwijane prace symulacyjne oraz zbudowane stanowisko badawcze umożliwiły przeprowadzanie analiz zmienności sprawności wymienników ciepła (krzyżowego, obrotowego i termosyfonu dwufazowego) w okresie całorocznym. Obszar mojego zainteresowania dotyczył wówczas głównie wymiennika krzyżowego, który wynikał z tematyki pracy doktorskiej, aczkolwiek w tym czasie nawiązano także dodatkową współpracę z zakładem „*Clima-Produkt sp. z o.o.*", w wyniku której współuczestniczyłem w budowie drugiego stanowiska badawczego wyposażonego w wymiennik nieobrotowy. Liczne wyniki pomiarów i obserwacji działania powyższych urządzeń stanowiły podstawę do rozwijania dalszych prac badawczych i naukowych. Podczas tej formy współpracy powstały kolejne referaty i prace opublikowane w materiałach konferencji naukowych [A5, A6, A8, A9, B24, C24, C26, C27].

5. Efekty kondensacji pary wodnej, zabezpieczenie krzyżowego wymiennika ciepła przed szronem oraz matematyczne planowanie doświadczeń.

   Pozytywne efekty kondensacji pary wodnej oraz zabezpieczenie krzyżowego wymiennika ciepła przed szronem stanowiły zwieńczenie przeprowadzonych badań mających na celu ukończenie mojej rozprawy doktorskiej. W tym celu wykonano wielowariantowe symulacje numeryczne oraz badania doświadczalne umożliwiające ustalenie bezpiecznych warunków eksploatacji. Przeprowadzone badania realizowano z wykorzystaniem oryginalnych programów komputerowych bazujących na dwóch opracowanych modelach matematycznych (dla kanałów płaskich oraz ożebrowanych). Na tej podstawie sporządzono wartości progowe temperatur powietrza zewnętrznego dla dwóch technik ochrony przed szronem (z wykorzystaniem nagrzewnicy wstępnej powietrza zewnętrznego oraz stałego stopnia otwarcia bypassu – 20, 40, 60, 80 i 95%). Warto zaznaczyć, że wyniki w formie tabelarycznej i graficznej przedstawiono dla wybranych parametrów powietrza z utrzymywaniem <u>stałej sprawności działania urządzenia</u> (bez uwzględniania zmiennego udziału strumienia ciepła przejścia fazowego spowodowanego zmianami temperatury). Podczas realizowanych prac nawiązano współpracę z dr Aldyn Dadar z Państwowego Uniwersytetu Tuwińskiego Republiki Tuwy [A3, C20]. Dodatkowo za pomocą opracowanych danych przeprowadzono matematyczne planowanie doświadczeń. Procedura obejmowała wyznaczenie trzech zależności funkcyjnych do obliczania progowych wartości temperatury powietrza zewnętrznego krzyżowych wymienników ciepła z wykorzystaniem prędkości przepływu, temperatury, wilgotności względnej powietrza wywiewanego wraz z warunkami brzegowymi do ich stosowania. Przygotowane wzory stanowiły

skuteczne narzędzie do zabezpieczenia urządzenia przed szronem dzięki wykorzystaniu wstępnej nagrzewnicy powietrza zewnętrznego.

Zestawienie podsumowujące moje osiągnięcia i aktywności naukowe w okresie przed uzyskaniem stopnia doktora

a) Referaty na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych:

1. Przygotowanie referatów [C19, C22] wygłoszonych w ramach VIII–X międzynarodowych konferencji „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Jakość powietrza w pomieszczeniach i jakość środowiska: Materiały z międzynarodowej konferencji naukowej*" organizowanych przez Państwowy Uniwersytet Architektury i Budownictwa Lądowego w Wołgogradzie, Federacja Rosyjska, Wołgograd, 2012, 2010.
2. Przygotowanie referatu [C20] wygłoszonego w ramach XIII międzynarodowej konferencji „*Air & heat, water & energy 2011 / Powietrze i ciepło, woda i energia 2011*" organizowanej przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2011.
3. Przygotowanie referatu [C21] wygłoszonego w ramach krajowej konferencji Studenckiego Koła Naukowego Ciepłownik Politechniki Białostockiej, Białystok, 2010.
4. Przygotowanie referatów [C23, C29] wygłoszonych w ramach krajowych konferencji naukowych doktorantów i pracowników nauki organizowanej przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2010, 2009.
5. Przygotowanie referatów [C24–C26] wygłoszonych w ramach międzynarodowych konferencji „*Problemy vnedreniâ ènergoèffektivnyh tehnologij v inženernye sistemy gorodskogo hozâjstva: sbornik trudov / Problemy wdrażania energooszczędnych technologii w miejskich systemach inżynierskich: zbiór referatów*" organizowanej przez Państwowy Uniwersytet Tuwiński, Ministerstwo Przemysłu i Energetyki, Republika Tuwy, Kyzyl, 2010.
6. Przygotowanie referatu [C28] wygłoszonego w ramach krajowej konferencji doktorantów i młodych naukowców „*Ko-oper field 2009" pt. „Interdyscyplinarność badań naukowych*" organizowanej przez Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.

7. Przygotowanie referatów [C30, C31] wygłoszonych w ramach międzynarodowej konferencji „*Air conditioning, air protection & district heating 2008: XII International conference / Klimatyzacja, ochrona powietrza i ciepłownictwo 2008: XII Międzynarodowa Konferencja*" organizowanej przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Oddział Dolnośląski, Wrocław, 2008.

b) Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji:

1. Udział w VIII–X międzynarodowych konferencjach „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Indoor air and environmental quality*" organizowanych przez Volgogradskij Gosudarstvennyj Arhitekturno-Stroitel′nyj Universitet (VolgGASU), Rossijskaâ Federaciâ, Volgograd, 2010, 2012.
2. Udział w XIII międzynarodowej konferencji „*Air & heat, water & energy 2011 / Powietrze i ciepło, woda i energia 2011*" organizowanej przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2011.
3. Udział w krajowej konferencji Studenckiego Koła Naukowego Ciepłownik Politechniki Białostockiej, Białystok, 2010.
4. Udział w krajowych konferencjach naukowych doktorantów i pracowników nauki organizowanych przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009, 2010.
5. Udział w międzynarodowych konferencjach „*Problemy vnedreniâ ènergoèffektivnyh tehnologij v inženernye sistemy gorodskogo hozâjstva: sbornik trudov*" organizowanej przez Tuvinskij Gosudarstvennyj Universistet, Respublika Tuva, Kyzyl, 2010.
6. Udział w krajowej konferencji doktorantów i młodych naukowców „*Ko-oper field 2009" pt. „Interdyscyplinarność badań naukowych*" organizowanej przez Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.
7. Udział w XII międzynarodowej konferencji „*Air conditioning, air protection & district heating 2008: XII International conference / Klimatyzacja, ochrona powietrza i ciepłownictwo 2008: XII Międzynarodowa Konferencja*" organizowanej przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Oddział Dolnośląski, Wrocław, 2008.

c) Inne aktywności popularyzujące naukę lub sztukę:

1. Współpraca z Wydziałem Inżynierii Środowiska i Gospodarki Komunalnej Sankt-Petersburskiego Uniwersytetu Architektury i Budownictwa Lądowego:
   – przygotowanie artykułów w czasopismach naukowych [B25], (2010),
   – przygotowanie wystąpienia na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych [C21], (2010),
   – przygotowanie i przeprowadzenie badań laboratoryjnych urządzeń wentylacji miejscowej dla uczestników wymiany studenckiej, (18.07.2011).
2. Współpraca z Państwowym Uniwersytetem Tuwińskim:
   – przygotowanie rozdziałów w monografii naukowej [A3, A6–A8], (2011, 2010),
   – przygotowanie wystąpienia na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych [C20], (2011),
   – pełnienie funkcji współopiekuna uczestników wymiany studenckiej w ramach poznawania funkcjonowania Politechniki Wrocławskiej oraz pracy zakładu przemysłowego „*Promont sp. z o.o.*” zajmującego się produkcją elementów oraz urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, (19.12.2011).
3. Współpraca z zakładem przemysłowym „*Clima-Produkt sp. z o.o.*”:
   – budowa i udostępnienie laboratorium do badań układu odzyskiwania ciepła wyposażonego w wymiennik regeneracyjny (2011),
   – przekazywanie wyników badań pracy układu odzysku ciepła (2011).
4. Współpraca z zakładem przemysłowym „*Klingenburg International sp. z o.o.*”:
   – udostępnienie wymienników rekuperacyjnych oraz regeneracyjnego do badań układów odzyskiwania ciepła (2009–2012),
   – budowa stanowiska do badań układów odzyskiwania ciepła (2009–2012),
   – zakup dodatkowych komponentów wspomagających pracę układu odzysku ciepła (2010–2012).
5. Uczestnictwo w pracach popularyzujących naukę: „*Dolnośląski Festiwal Nauki*”, „*Dni otwarte Politechniki Wrocławskiej*” itp. (2010–2012).

Okres po uzyskaniu stopnia doktora (2012–2022)

Po uzyskaniu stopnia doktora w zakresie moich zainteresowań naukowych znajdowały się następujące zagadnienia:

6. Modelowanie matematyczne rekuperacyjnych wymienników ciepła.

   Po obronie pracy doktorskiej (16.10.2012 r.) kontynuowałem tematykę modelowania działania wymienników ciepła. Mimo że w tej grupie początkowo znajdował się krzyżowy wymiennik ciepła, to stanowił on bazę do rozpoczęcia kolejnych prac umożliwiających prześledzenie zachowania innych urządzeń rekuperacyjnych. Ze względu na ciągły rozwój technologii odzyskiwania ciepła coraz bardziej popularny stawał się również przeciwprądowy wymiennik ciepła. Urządzenie wykazywało wiele podobieństw do wymiennika krzyżowego takich jak np. ten sam materiał użyty do jego budowy, rozdzielony w podobny sposób przepływ strumieni powietrza, zbliżony po części kształt wypełnienia (równoległobok zamiast rombu). W kontekście modelowania urządzenie także umożliwiało wytworzenie takich samych wariantów aktywnej wymiany ciepła i masy (stref: suchej, mokrej, przejściowej, szronu). Na szczególną uwagę zasługiwała jednak uzyskiwana relatywnie wysoka efektywność działania urządzenia (ok. 75%). Z tego względu rozpoczęto więc prace zmierzające do sformułowania modelu matematycznego wymiennika przeciwprądowego. Następnym urządzeniem objętym analizą został współprądowy wymiennik ciepła. Struktura modelu matematycznego była w tym przypadku bardzo zbliżona do modelu wymiennika przeciwprądowego. Opracowane trzy modele matematyczne skłoniły mnie także do dalszych prac obejmujących rozpatrywanie zachowania wymiennika asymetrycznego. W wyniku intensywnej współpracy z prof. Sergeyem Anisimovem podjęto także próby analizowania zmian grubości warstw szronu w czasie. Skutkiem tego była znaczna rozbudowa modeli o dodatkową zmienną czasową. Przygotowane modele matematyczne umożliwiły napisanie programów komputerowych potrzebnych do przeprowadzania symulacji numerycznych, a przez to zaobserwowanie wielu istotnych i nieznanych dotąd zjawisk fizycznych. Szczególną uwagę zwrócono na kondensację pary wodnej oraz szronienie wypełnienia. Podczas wykonywanych działań modelowych nawiązano także współpracę międzynarodową z prof. Vladimirem Vasiljevem z Państwowego Uniwersytetu Badawczego w Sankt-Petersburgu oraz prof. Borysem Vagerem z Sankt-Petersburskiego Uniwersytetu Architektury i Budownictwa Lądowego Federacji Rosyjskiej. Profesorowie mają ogromną wiedzę z zakresu modelowania matematycznego i badań numerycznych. Dzięki temu w wybranych miejscach algorytmu obliczeniowego wprowadzono odpowiednie zależności funkcyjne. W gronie osób współpracujących ze mną podczas realizacji modelowania matematycznego znajdowali się także: prof. Jan Danielewicz, dr hab. Demis

Pandelidis, dr inż. Michał Karpuk, mgr inż. Anna Pacak, która pod moją opieką naukową napisała pracę magisterską poświęconą wymianie ciepła w wymiennikach przeciwprądowych oraz mgr inż. Paulina Kanaś, przy której pełnię funkcję promotora pomocniczego pracy doktorskiej. Rezultaty pracy oraz współpracy nad zagadnieniami dotyczącymi modelowania matematycznego działania wymienników rekuperacyjnych przedstawiono w ramach wygłoszonych referatów, materiałów konferencyjnych oraz w artykułach opublikowanych w czasopismach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym [B7, B8, B14–B16, B18, B20–B22, C1, C3, C11–C14, C16, C18].

7. Modelowanie matematyczne regeneracyjnych wymienników ciepła.

Dalszy rozwój zagadnień modelowania matematycznego doprowadził do zwrócenia przeze mnie uwagi także na wymienniki regeneracyjne. W tej grupie znalazły się wymienniki obrotowy i nieobrotowy. Te dwa urządzenia charakteryzuje bardzo podobna zasada działania (naprzemienne ładowanie i rozładowanie wypełnienia wymiennika ciepła). W jednym cyklu funkcjonowania możliwe jest ładowanie połowy wypełnienia z równoczesnym rozładowaniem jego drugiej części. Istotna różnica wynika jedynie ze sposobu realizacji tych operacji. W wymiennikach obrotowych zmiana trybu działania odbywa się w wyniku obrotu rotora. W wymiennikach nieobrotowych natomiast ten proces realizowany jest dzięki zastosowaniu przepustnic powietrznych odpowiadających za zmianę cyklu funkcjonowania. Wymienniki regeneracyjne w odróżnieniu od rekuperacyjnych charakteryzują się możliwością wymiany zarówno ciepła jawnego, jak i utajonego. Powodem tego jest omywanie przez strumień powietrza tej samej powierzchni wymiany ciepła. Przed rozpoczęciem procesu modelowania konieczne było opracowanie zróżnicowanych wariantów eksploatacji tych urządzeń. W przypadku wymienników regeneracyjnych obszary aktywnej wymiany ciepła i masy mogły zostać utworzone po dwóch stronach kanałów powietrznych wypełnienia. Początkowo procesy termodynamiczne były przeze mnie rozpatrywane w warunkach trybu eksploatacji pozbawionego oscylacji. Ten rodzaj działania uwzględniał założenie praktycznie niezmiennej temperatury wypełnienia po obu stronach powietrznych powyżej granicznej wartości prędkości obrotowej rotora lub granicznej wartości ilorazu pojemności cieplnej. Na tej podstawie opracowano model matematyczny wymiennika regeneracyjnego, który posłużył do napisania programu obliczeniowego. Rezultaty programu dostarczyły wiele niespodziewanych dotąd zjawisk fizycznych. Warto podkreślić, że w przypadku tego rodzaju urządzeń w jednym kanale powietrza odbywać się może proces kondensacji pary wodnej a w drugim odparowanie powstałej cieczy. Poza tym w kanałach mogą jeszcze zachodzić procesy sublimacji i resublimacji szronu. Istnieją bowiem warunki

przy których wytworzony na powierzchni wypełnienia szron ulegnie roztopieniu po przekazaniu do sąsiedniego kanału powietrza. W ten sposób wyodrębniono obecność szronu akumulowanego i nieakumulowanego. Podobnie jak podczas modelowania działania wymienników rekuperacyjnych w wyniku współpracy z prof. Sergeyem Anisimovem opracowano zdecydowanie bardziej rozbudowany model matematyczny dotyczący działania wymiennika regeneracyjnego w warunkach nieoscylujących. Model ten rozszerzono także o procesy dynamiki szronienia. Takie działania doprowadziły do uzyskiwania rezultatów niemożliwych do zaobserwowania podczas eksploatacji urządzenia. Wykazano bowiem nie tylko możliwości formowania różnych stref aktywnej wymiany ciepła i masy, ale ich zmienność w obrębie tego samego kanału powietrza. Ustalono m.in. obecność dodatkowych obszarów przejściowych, w tym także akumulacji wody oraz lodu. Podobnie jak w poprzednim zagadnieniu współpracowano z prof. Vladimirem Vasiljewem oraz prof. Borysem Vagerem. We współpracy uczestniczyli również mgr inż. Paulina Kanaś, której praca doktorska obejmuje zagadnienia dotyczące wymienników obrotowych oraz dr inż. Maciej Skrzycki, który współpracował ze mną podczas walidacji opracowanych modeli matematycznych. Wyniki tej współpracy przedstawiono w referatach i materiałach konferencyjnych oraz publikacjach w czasopismach naukowych [B1–B3, B10, C1, C2, C6–C8].

8. Badania doświadczalne funkcjonowania wymienników ciepła.

Każdy program komputerowy opracowany na podstawie oryginalnego modelu matematycznego powinien zostać poddany walidacji. W tym celu wymagane jest przeprowadzenie szeregu pomiarów działania rzeczywistego urządzenia, a następnie porównanie otrzymanych wyników z rezultatami uzyskanymi na drodze symulacji numerycznych. Aby móc zrealizować opisaną procedurę, konieczne jest wykorzystanie stanowiska doświadczalnego. Z tego względu kontynuowano współpracę obejmującą użyczenie wymienników ciepła przez zakład „*Klingenburg International sp. z o.o.*” (stanowisko nr 1). Ponadto skontaktowano się również z firmą „*Clima-Produkt sp. z o.o.*” w celu uzupełnienia i pozyskania dodatkowych wyników laboratoryjnych pomiarów działania wymiennika regeneracyjnego (stanowisko nr 2). Podczas tych działań intensywnie współpracowałem z m.in. drem inż. Maciejem Skrzyckim. Po otwarciu przewodu doktorskiego do tej współpracy dołączona została także mgr inż. Paulina Kanaś. Warto zaznaczyć, że początkowe wyniki działania programu rzadko wykazują zgodność z danymi pomiarowymi. Wynika to nie tylko z dokładności funkcjonowania programu, ale również z zapewnienia odpowiednich warunków przeprowadzania pomiarów. Do tego celu konieczne jest właściwe zbilansowanie strumieni przepływu powietrza przez wypełnienie wymiennika ciepła.

Nawet niewielka rozbieżność przyczynia się bowiem do uzyskiwania błędów systematycznych. Tylko rzetelne monitorowanie wartości natężenia obydwu strumieni przepływu powietrza oraz jego parametrów termodynamicznych umożliwia właściwe przeprowadzenie walidacji. Staranność tych działań pozwala bowiem na realizację procesów walidacji o większej złożoności np. przy uwzględnianiu stosowania bypassu, gdzie otwieranie kanału obejściowego możliwe jest wyłącznie przy wyrównanym bilansie natężenia przepływu powietrza. W kolejnym etapie konieczne jest także precyzyjne ustalenie warunków pracy programu odwzorowującego działanie rzeczywistego urządzenia. Tylko na tej podstawie możliwe jest podjęcie dalszych etapów pracy zapewniających bezpieczeństwo funkcjonowania wymienników ciepła. Opis procedury walidacji programów oraz ich wyniki przedstawiono m.in. podczas opracowania publikacji w czasopismach naukowych [A2, B1, B3, B10, B14, B15, B18, C8].

9. Bezpieczeństwo funkcjonowania i ochrona wymienników ciepła przed szronem.

Kolejny etap badań numerycznych stanowiły warunki eksploatacji pozbawionej szronu. Pozytywne wyniki walidacji umożliwiły rozpoczęcie symulacji działania każdego z urządzeń odzyskujących ciepło. W tym celu wykorzystano oryginalne programy obliczeniowe napisane w języku programowania Pascal. Zagadnienie bezpieczeństwa działania rozpatrywano z wykorzystaniem wielu zróżnicowanych wariantów zabezpieczenia urządzeń przed szronem. Spośród dostępnych w literaturze przedmiotu sposobów ochrony finalnie przeanalizowano zastosowanie nagrzewnic wstępnych powietrza zewnętrznego oraz bypassu wyposażonego w jedną lub dwie przepustnice powietrza. Opracowanie skutecznych metod ochrony wymienników ciepła przed szronem stanowi dość spore wyzwanie badawcze. W tym celu przeprowadzono szereg symulacji numerycznych obejmujących dobór temperatury powietrza zewnętrznego (temperatury progowej), poniżej której rozpoczyna się proces formowania szronu. Dobór tej temperatury odbywa się przez zakładanie dowolnej jej wartości i obserwację parametrów termodynamicznych na powierzchni wypełnienia. Wartość temperatury progowej ściśle związana jest zarówno z wymiarami geometrycznymi urządzenia, jak i parametrami termodynamicznymi strumienia powietrza wywiewanego (temperaturą i wilgotnością względną). Jak można zauważyć, opracowanie kompletnych wytycznych w szerokim zakresie parametrów powietrza wymaga cierpliwości, gdyż jest dość czasochłonne. W przypadku wymienników rekuperacyjnych punktem odniesienia są zwykle temperatury powierzchni płyt najzimniejszych fragmentów wypełnienia (zimnego naroża lub zimnej strefy). Te wartości są ściśle uwarunkowane przez temperatury punktu rosy i zamarzania. W wymiennikach regeneracyjnych natomiast podstawą zapewnienia bezpieczeństwa

funkcjonowania jest granica, poniżej której występuje akumulacja szronu. Przykładowe wytyczne warunkujące bezpieczną eksploatację wymienników ciepła przedstawiono w opracowanych autorskich lub współautorskich publikacjach naukowych [A1, B8, B14–B16, B18, B20–B22, C11–C14, C17].

10. Chłodzenie wyparne w wymiennikach rekuperacyjnych.

W ramach przeprowadzonych symulacji numerycznych analizą objęto również procesy chłodzenia wyparnego w wymiennikach krzyżowych. Podczas całorocznej eksploatacji takiego urządzenia istnieją nie tylko warunki ujemnych temperatur wymagających jego ochrony, ale także warunki podwyższonych temperatur powietrza zewnętrznego. Wówczas zgodnie z procesami termodynamiki mogą odbywać się procesy odzysku ciepła (zwanego przez niektórych dość dyskusyjnym odzyskiem „chłodu") w kierunku przeciwnym do przebiegu procesów w okresie zimowym. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki wymiana ciepła zawsze przebiega od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze. Z tego względu realizowana może być wymiana ciepła umożliwiająca obniżenie temperatury strumienia powietrza. Podczas wyższej temperatury powietrza zewnętrznego producent urządzeń wentylacyjnych zapewnia dwie możliwości – transportowanie powietrza bypassem (bez obniżania jego temperatury) lub wykorzystanie wypełnienia wymiennika ciepła (powodujące zmniejszenie jego temperatury), a przez to częściowe obniżenie kosztów związanych z jego chłodzeniem. Warto podkreślić, że spadek temperatury jest nieznaczny w porównaniu do jej zmian zachodzących podczas eksploatacji zimowej. Powodem tego jest niewielka różnica temperatur strumieni powietrza wywiewanego i zewnętrznego występująca w okresie letnim. Z tego względu do uzdatniania strumienia powietrza zewnętrznego konieczne jest wyposażenie centrali wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej dodatkowo w chłodnicę. Aczkolwiek jeśli do opisanego wcześniej procesu dostarczony zostanie strumień wody w odpowiedniej ilości i niskiej temperaturze, zapewniający pełne pokrycie wypełnienia wymiennika ciepła, to wówczas można uzyskać znacznie lepsze efekty schłodzenia powietrza. Powyższe zagadnienie nazywane pośrednim chłodzeniem wyparnym, analizowałem dzięki współpracy z prof. Sergeyem Anisimovem, prof. Janem Danielewiczem oraz drem hab. Demisem Pandelidisem. Ponadto w ramach współpracy międzynarodowej do zespołu badawczego dołączony został prof. Vitaliy Polushkin z Sankt-Petersburskiego Uniwersytetu Architektury i Budownictwa Lądowego Federacji Rosyjskiej. Wyniki przeprowadzonych badań opisujących wysoką efektywność rozwiązań wykorzystujących zastosowanie wymienników rekuperacyjnych (krzyżowych oraz z M-obiegiem) przedstawiono w publikacjach naukowych [B19, B23, C15].

11. Modelowanie natężenia przepływu wody w budynkach.

    Omawiane zagadnienia modelowania matematycznego przyczyniły się także do przeprowadzenia przeze mnie prób modelowania natężenia przepływu wody w budynkach. W tym celu wykonano wstępne pomiary zużycia wody, które następnie wykorzystano do przeprowadzenia prognozy zużycia wody z wykorzystaniem zależności matematycznych. Wyniki badań prowadzone były w ramach współpracy z mgr inż. Iwoną Franieczek, która pod moją opieką promotorską napisała pracę inżynierską, a później także magisterską dotyczącą wyznaczania natężenia przepływu wody w obiektach przedszkolnych. W pracy sformułowano modele statystyczne wraz z zakresem ich stosowania. Następnie dokonano walidacji modeli i przeprowadzono symulacje numeryczne umożliwiające wyznaczenie strumienia przepływu wody zbliżonego do rzeczywistych wartości – różniących się od metod obliczeń zawartych w normach. Praca dyplomowa magisterska autorstwa mgr inż. Iwony Franieczek została doceniona i nagrodzona w ramach konkursu Constructor Temporis Futuri organizowanego przez Dolnośląską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa pod patronatem Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska. W dalszych etapach przygotowano artykuły w czasopismach naukowych [B12, B13]. Powyższą tematykę postanowiłem kontynuować i nadal rozwijać wspólnie z drem inż. Sebastianem Englartem. W wyniku tej współpracy pozyskano wyniki pomiarów zużycia wody z obiektów mieszkalnych. Następnie przedstawiono modele matematyczne obejmujące zastosowanie baterii czerpalnych o różnych natężeniach wypływu wody. Analizy przeprowadzono w celu wyznaczenia bardziej rzeczywistego sekundowego strumienia przepływu wody w budynkach mieszkalnych. Wyniki tej współpracy opisano w przygotowanych publikacjach naukowych [B9, B11, C4].

12. Modelowanie natężenia przepływu paliwa gazowego w budynkach

    Zagadnienie modelowania matematycznego postanowiłem także wykorzystać do analizowania strumieni przepływu gazu w budynkach mieszkalnych. Powyższą tematykę podjąłem na skutek wcześniejszej współpracy z drem inż. Sebastianem Englartem. W wyniku tego wspólnie porównano zużycie gazu występujące w gospodarstwach domowych wyposażonych w kotły dwufunkcyjne. Wyraźna dysproporcja między wynikami pomiarów i obliczeniowym natężeniem przepływu gazu wykazywała konieczność wnikliwego przeanalizowania tego zagadnienia. Podobne różnice stwierdzono również w literaturze przedmiotu. Dzięki temu porównano poszczególne składowe mające wpływ na dobowe, miesięczne i roczne zużycie gazu. Analizą objęto także kotły jednofunkcyjne i podgrzewacze przepływowe, w przypadku których nie odnotowano znacznych rozbieżności

w uzyskiwanych wynikach. W konsekwencji opracowano skorygowane równania potrzebne do wyznaczania przepływu gazu w budynkach mieszkalnych wyposażonych w kotły dwufunkcyjne. Wyniki kalkulacji z proponowanymi formułami obliczeniowymi przedstawiono w publikacjach zamieszczonych w czasopismach naukowych [B4, B17, C10].

13. Przeciwdziałanie powstawaniu hydratów w sieciach gazowych.

W dalszych działaniach naukowych postanowiłem zwrócić uwagę na problemy eksploatacyjne gazociągów średniego ciśnienia. Paliwo gazowe w przewodach magistralnych i rozdzielczych transportowane jest zwykle w warunkach ruchowych (zostaje sprężone do średniego, podwyższonego średniego lub wysokiego ciśnienia). Podczas procesu sprężania gazu zawsze wzrasta jego temperatura. Ciśnienie paliwa gazowego, zanim zostanie dostarczone do odbiorców końcowych, powinno być zatem znacznie obniżone. W wyniku tych procesów pojawiają się zazwyczaj największe problemy. W warunkach typowej eksploatacji gazociągu występuje stopniowy spadek ciśnienia gazu na skutek zmian jego strumienia, prędkości przepływu oraz oporów hydraulicznych. Oprócz tego gaz podlega również redukcji ciśnienia w stacjach I lub II stopnia oraz w reduktorach zainstalowanych w szafkach gazowych. W konsekwencji wraz z obniżeniem ciśnienia gazu maleje i to bardzo znacząco jego temperatura. O prawidłowości przebiegu tego procesu decyduje wiele czynników takich jak skład gazu, warunki jego transportu i parametry termodynamiczne. Jednym z kluczowych zagadnień może być efekt Joule-Thomsona, który istotnie wpływa na zmianę temperatury gazu. Z tego względu jej znaczny spadek może przyczyniać się bowiem do wytworzenia kryształków lodu zwanych hydratami. Jest to dość powszechne zjawisko występujące podczas rozprężania paliwa gazowego. Niestety obecność hydratów stanowi bardzo poważny problem zazwyczaj ujawniany w miejscach redukcji gazu. Powstawanie kryształków lodu ma istotny związek z negatywnymi efektami kondensacji pary wodnej szczególnie widocznymi podczas eksploatacji wymienników ciepła. W tym przypadku obecność hydratów podobnie jak w kanałach powietrznych wymienników ciepła zaburza przepływ paliwa gazowego w przewodach. Jeśli hydraty zostaną przetransportowane do elementów infrastruktury gazowej (zasuw i zaworów odcinających, reduktorów ciśnienia, gazomierzy itp.), wówczas mogą doprowadzić do ich poważnych uszkodzeń. Z tego względu wymagane jest wdrożenie skutecznych metod przeciwdziałania tego typu zjawiskom. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest podgrzewanie paliwa gazowego do wartości progowej zabezpieczającej przed możliwością wytworzenia kryształków lodu. Powyższe zagadnienia realizowałem wspólnie z prof. Marderosem Sayeghiem, drem inż. Markiem Badurą, drem inż. Wojciechem Cepińskim, drem inż. Sebastianem

Englartem oraz drem inż. Maciejem Skrzyckim. Wyniki naszej współpracy przedstawione zostały w ramach wygłoszonych referatów i materiałów konferencji oraz publikacji naukowych [B5, B6, C5, C9].

Zestawienie podsumowujące moje osiągnięcia i aktywności naukowe w okresie po uzyskaniu stopnia doktora

a) Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową lub artystyczną:

Uzyskana nagroda w formie Dyplomu z Wyrazami Uznania za opiekę naukową nad Dyplomantką realizującą magisterską pracą studialną, która otrzymała nagrodę Dolnośląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa (udział w konkursie Constructor Temporis Futuri organizowanym pod patronatem Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska). Wrocław, 16.12.2017 r. W ramach powyższej działalności powstały również dwa artykuły w czasopismach naukowych [B12, B13].

b) Referaty na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych:

1. Przygotowanie referatów [C3, C7, C11, C13] wygłoszonych w ramach XV–XVIII międzynarodowych konferencji „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Jakość powietrza w pomieszczeniach i jakość środowiska: Materiały z międzynarodowej konferencji naukowej*” organizowanych przez Państwowy Uniwersytet Medyczny w Wołgogradzie, Federacja Rosyjska, Wołgograd, 2020, 2019, 2018, 2017.
2. Przygotowanie referatów [C14, C18] wygłoszonych w ramach XII–XIV międzynarodowych konferencji „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Jakość powietrza w pomieszczeniach i jakość środowiska: Materiały z międzynarodowej konferencji naukowej*” organizowanych przez Państwowy Uniwersytet Architektury i Budownictwa Lądowego w Wołgogradzie, Federacja Rosyjska, Wołgograd, 2016, 2014.
3. Przygotowanie referatów [C4, C10] wygłoszonych w ramach konferencji EKO-DOK 10 i 11 „*Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering / Konferencja Interdyscyplinarne Problemy Ochrony i Inżynierii Środowiska*” organizowanych przez Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Polska, Polanica-Zdrój, 2019, 2018.
4. Przygotowanie referatów [C5, C6] wygłoszonych w ramach międzynarodowych konferencji ASEE 17 i 19 „*International Conference on Advances in Energy Systems*

and Environmental Engineering / Międzynarodowa konferencja na temat postępów w systemach energetycznych i inżynierii środowiska" organizowanych przez Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Polska, Wrocław, 2019.

5. Przygotowanie referatu [C9] wygłoszonego w ramach międzynarodowej konferencji „*Renewable Energy Developments Beyond 2030: Proceedings of the 12th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection / Rozwój energii odnawialnej po roku 2030: Postępy 12. Międzynarodowej Konferencji na temat Zrównoważonej Energii i Ochrony Środowiska*" organizowanej przez Uniwersytet w Szardży, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Szardża, 2019.
6. Przygotowanie referatu [C17] wygłoszonego w ramach XIV międzynarodowej konferencji „*Air, heat & energy in buildings 2014 / Powietrze, ciepło i energia w budynkach 2014*" organizowanej przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014.

c) Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji:

1. Udział w XV–XVIII międzynarodowych konferencjach „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Indoor air and environmental quality*" organizowanych przez Volgogradskij Gosudarstvennyj Medicinskij Universitet (VolgGMU), Rossijskaâ Federaciâ, Volgograd, 2017, 2018, 2019, 2020.
2. Udział w XII–XIV międzynarodowych konferencjach „*Kačestvo vnutrennego vozduha i okružaûŝej sredy: materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii / Indoor air and environmental quality*" organizowanych przez Volgogradskij Gosudarstvennyj Arhitekturno-Stroitel′nyj Universitet (VolgGASU), Rossijskaâ Federaciâ, Volgograd, 2014, 2016.
3. Udział w konferencjach EKO-DOK 10 i 11 „*Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering*" organizowanych przez Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Polska, Polanica-Zdrój, 2018, 2019.
4. Udział w międzynarodowych konferencjach ASEE 17 i 19 „*International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering*" organizowanych przez Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Polska, Wrocław, 2017, 2019.
5. Udział w międzynarodowej konferencji „*Renewable Energy Developments Beyond 2030: Proceedings of the 12th International Conference on Sustainable Energy*

& Environmental Protection" organizowanej przez University of Sharjah, United Arab Emirates, Sharjah, 2019.

6. Udział w XIV międzynarodowej konferencji „*Air, heat & energy in buildings 2014 / Powietrze, ciepło i energia w budynkach 2014*" organizowanej przez Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014.

d) Inne aktywności popularyzujące naukę lub sztukę:

1. Współpraca z Państwowym Uniwersytetem Badawczym w Sankt-Petersburgu:
   – przygotowanie artykułu w czasopiśmie naukowym [C1], (2021),
2. Współpraca z Wydziałem Inżynierii Środowiska i Gospodarki Komunalnej Sankt-Petersburskiego Uniwersytetu Architektury i Budownictwa Lądowego:
   – przygotowanie artykułów w czasopismach naukowych [B1, B23], (2022, 2014),
   – przygotowanie wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych [C3, C6], (2020, 2019),
3. Współpraca z zakładem przemysłowym „*Clima-Produkt sp. z o.o.*":
   – udostępnienie laboratorium do badań układu odzyskiwania ciepła wyposażonego w wymiennik regeneracyjny (2013),
   – przekazywanie wyników badań pracy układu odzysku ciepła (2013).
4. Współpraca z zakładem przemysłowym „*Klingenburg International sp. z o.o.*":
   – udostępnienie wymienników rekuperacyjnych oraz regeneracyjnego do badań układów odzyskiwania ciepła (2012–obecnie),
   – rozbudowa stanowiska do badań układów odzyskiwania ciepła (2019),
   – zakup dodatkowych komponentów wspomagających pracę układu odzysku ciepła (2019).
5. Opieka nad stypendystą Programu im. Stefana Banacha organizowanego przez Biuro Uznawalności Wykształcenia i Wymiany Międzynarodowej przekształcone w Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (2016–2017).
6. Recenzja pracy naukowej w czasopiśmie międzynarodowym SN Applied Sciences (2019).
7. Recenzja pracy naukowej w czasopiśmie międzynarodowym MDPI Energies (2021).
8. Uczestnictwo w pracach popularyzujących naukę: „*Dolnośląski Festiwal Nauki*", „*Dni otwarte Politechniki Wrocławskiej*", audycje radiowe itp. (2012–2019).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (2007–2012)

Przed uzyskaniem stopnia doktora zrealizowałem następujące osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzujące naukę:

a) Osiągnięcia dydaktyczne:

1. Współpraca podczas budowy stanowiska do badań układów do odzysku ciepła (T–1528) wykorzystywanym zarówno do prac naukowych jak i studenckich zajęć laboratoryjnych (2009–2012).
2. Autorstwo oraz współautorstwo podczas opracowania licznych materiałów wspomagających pracę dydaktyczną, w tym prezentacji multimedialnych oraz przykładów obliczeniowych udostępnionych dla studentów (2007–2012).
3. Prowadzenie zajęć dydaktycznych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, m.in. „*Wymiana ciepła”* (2007–2008), „*Informatyczne podstawy projektowania”*, „*Wentylacja i klimatyzacja”* (2008–2012).

b) Osiągnięcia organizacyjne:

1. Udział w realizacji obozu naukowego zorganizowanego w ramach studenckich praktyk zawodowych „*Modernizacja energetyczna systemów budynku użyteczności publicznej*” (08–09.2010).
2. Pełnienie funkcji opiekuna studentów podczas zorganizowanego wyjazdu oraz zwiedzania obiektów budowlanych zlokalizowanych w Uniejowie wykorzystujących geotermalną technologię dla potrzeb grzewczych (23–24.09.2010).
3. Pełnienie funkcji członka Odwoławczej Komisji Dyscyplinarnej do spraw doktorantów (2010–2012).

c) Osiągnięcia popularyzujące naukę lub sztukę:

1. Udział w prezentacjach oraz pokazach przygotowanych w ramach „*Dni Otwartych Politechniki Wrocławskiej: Wydział Inżynierii Środowiska*” (2010, 2011, pt. *Błoga cisza jak ją utrzymać*).

2. Uczestnictwo w zadaniach związanych z organizacją XIII Międzynarodowej Konferencji *Air & Heat – Water & Energy 2011* połączonej z obchodami 60-lecia Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej w Kudowie-Zdroju (2011).
3. Udział w prezentacjach oraz pokazach przygotowanych w ramach „*Dolnośląskiego Festiwalu Nauki*" (2010, 2011).

Okres po uzyskaniu stopnia doktora (2012–2022)

Po uzyskaniu stopnia doktora zrealizowałem lub nadal realizuję następujące osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzujące naukę:

a) Osiągnięcia dydaktyczne:

1. Współpraca podczas rozbudowy stanowiska do badań układów do odzysku ciepła (T–1528) wykorzystywanym zarówno do prac naukowych jak i studenckich zajęć laboratoryjnych (2012–obecnie).
2. Autorstwo oraz współautorstwo podczas opracowania licznych materiałów wspomagających pracę dydaktyczną, w tym prezentacji multimedialnych oraz przykładów obliczeniowych udostępnionych dla studentów (2012–obecnie).
3. Współautorstwo przy tworzeniu „*Wytycznych do opracowywania części rysunkowej na potrzeby ćwiczeń projektowych oraz prac dyplomowych"* realizowanych w Katedrze Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza Wydziału Inżynierii Środowiska" (13.03.2015).
4. Współtworzenie oraz realizacja kursu wybieralnego dla studentów „*Podstawy BIM*" obejmującego w swoim zakresie zagadnienia związane z modelowaniem informacji o budynku z wykorzystaniem technologii trójwymiarowej (2019–obecnie).
5. Współpraca podczas przygotowania koncepcji oraz projektu trzech dydaktycznych stanowisk laboratoryjnych (2017).
6. Opracowanie autorskiego programu pełniącego funkcję generatora danych w tematach ćwiczeń projektowych wraz z semestralnym ich uaktualnieniem oraz rozbudową (2017–obecnie).
7. Pełnienie funkcji promotorskiej opieki naukowej nad Dyplomantkami, które zajęły miejsca 3 i 5 w rankingu najlepszych absolwentów Wydziału Inżynierii Środowiska (2016–2017).

8. Uczestnictwo w komisji egzaminacyjnej studium podyplomowego realizowanego przez Centrum Kształcenia Ustawicznego (2017, 2019).
9. Opracowanie i udostępnienie materiałów wspomagających dydaktyczną pracę zdalną (2020–2021).
10. Współautorstwo przy tworzeniu „*Wytycznych opracowania rysunków do prac dyplomowych realizowanych na Wydziale Inżynierii Środowiska*" (17.06.2021).
11. Współpraca podczas przygotowywania kart przedmiotów dotyczących kursów dydaktycznych realizowanych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (2021–2022).
12. Współpraca podczas przeprowadzania audytu kursów na ePortalu realizowanych w formie zdalnej na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (2022).
13. Prowadzenie zajęć dydaktycznych oraz prac dyplomowych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, m.in. „*Instalacje przeciwpożarowe, ciepłej wody użytkowej i przemysłowe"* (2012–2015), „*Gazownictwo"*, „*Instalacje i urządzenia gazowe"*, „*Instalacje sanitarne i gazowe – wybrane zagadnienia"*, „*Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne"*, „*Instalacje sanitarne"* (2012–obecnie), „*Instalacje przeciwpożarowe i gazowe"* (2022–obecnie).
14. Prowadzenie zajęć dydaktycznych na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, „*Instalacje budowlane"* (2016–2021).
15. Prowadzenie zajęć dydaktycznych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, „*Instalacje sanitarne"* (2020–obecnie).
16. Prowadzenie zajęć dydaktycznych oraz prac dyplomowych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej w Zamiejscowym Ośrodku Dydaktycznym w Wałbrzychu, m.in. „*Gazownictwo"* (2013–2016).
17. Prowadzenie zajęć dydaktycznych oraz prac dyplomowych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej w Zamiejscowym Ośrodku Dydaktycznym w Jeleniej Górze, m.in. „*Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne"* (2014–2017).

b) Osiągnięcia organizacyjne:

1. Pełnienie funkcji opiekuna studentów podczas Górskiego Rajdu Inżynierii Środowiska zorganizowanego przez Samorząd Studencki Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (2013).

2. Pełnienie funkcji opiekuna studentów podczas zorganizowanego wyjazdu oraz zwiedzania zakładu przemysłowego „*Venture Industries Sp. z o.o.*”, produkującego elementy i urządzenia wentylacyjne oraz klimatyzacyjne zlokalizowanego w Grudziądzu (dwukrotnie: 06–07.05.2014, 29–30.11.2019).
3. Pełnienie funkcji komentatora sportowego podczas wydarzenia sportowego przeprowadzonego na Stadionie Olimpijskim zorganizowanego przez Samorząd Studencki Wydziału Inżynierii Środowiska „*Mecz piłkarski W7 – Pracownicy vs Studenci*” (02.06.2015).
4. Pełnienie funkcji koordynatora do spraw zakupu licencji na oprogramowanie ArCADia BIM dostarczanego przez firmę „*INTERsoft sp. z o.o.*” (2019–obecnie).
5. Pełnienie funkcji Delegata do wyboru przedstawicieli nauczycieli akademickich w Senacie Politechniki Wrocławskiej (2020–obecnie).
6. Pełnienie funkcji Hospitującego zajęcia dydaktyczne (dwukrotnie: 09.05.2021, 20.01.2022).
7. Uzyskanie zaświadczenia o nabyciu kompetencji w ramach szkolenia pt. *W świecie różnorodnych możliwości*, dotyczącego projektu: *Politechnika nowych szans – Zadanie 5, Blok I*. Szkolenie miało na celu uzyskanie kompetencji do współpracy z osobami z niepełnosprawnościami, w tym słabowidzącymi i niewidomymi, niesłyszącymi i słabosłyszącymi, mającymi spektrum autyzmu, zaburzenia psychiczne, niepełnosprawności ze względu na narząd ruchu oraz niepełnosprawności niewidoczne (28.06.2022).

c) Osiągnięcia popularyzujące naukę lub sztukę:

1. Udział w prezentacjach oraz pokazach przygotowanych w ramach „*Dni Otwartych Politechniki Wrocławskiej: Wydział Inżynierii Środowiska*” (2014, 2018, pt. *Mali Badacze – Magiczna fontanna*).
2. Udział w prezentacjach oraz pokazach przygotowanych w ramach „*Dolnośląskiego Festiwalu Nauki*” (2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019).
3. Przygotowanie oraz udział w audycji radiowej „*Ściśle mówiąc*” wyemitowanej w Radiu Luz Politechniki Wrocławskiej (dwukrotnie: pt. *Skąd gaz bierze się w naszych domach* – data emisji 13.10.2018, pt. *Projektowanie trójwymiarowe instalacji sanitarnych* – data emisji 01.12.2018).

7. Pozostałe ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.

a) Opublikowane prace naukowe (2007–2022) – 56:

1. Monografia naukowa – 1,
2. Rozdziały w monografiach naukowych – 11,
   – opracowane w języku polskim – 8,
   – opracowane w języku obcym – 3.
3. Artykuły naukowe – 25,
   – opracowane w języku polskim – 12,
   – opracowane w języku obcym – 13,
   – posiadające Impact Factor – 10,
   – zamieszczone na Liście Filadelfijskiej – 13,
   – zamieszczone w wykazie Ministerstwa Edukacji i Nauki – 21,
   – spoza wykazu Ministerstwa Edukacji i Nauki – 3.
4. Referaty konferencyjne – 20,
   – opracowane w języku polskim – 3,
   – opracowane w języku obcym – 17,
   – zawarte w bazie Web of Science – 2.

b) Parametry punktacji sumarycznej (2007–2022):

1. Wskaźnik Impact Factor – 42,969 punktów,
2. Wskaźnik Ministerstwa Edukacji i Nauki – 1109 punktów,
3. Wskaźnik Web of Science – 30 punktów.

c) Opieka naukowa nad studentami realizującymi prace dyplomowe (2012–2022):

1. Prace inżynierskie rozpoczęte / ukończone / obronione – 52 / 40 / 37,
2. Prace magisterskie rozpoczęte / ukończone / obronione – 41 / 30 / 28,
3. Suma prac dyplomowych rozpoczętych / ukończonych / obronionych – 93 / 70 / 65,
4. Przeprowadzone recenzje prac inżynierskich / magisterskich / suma – 59 / 45 / 104.

d) Opieka naukowa nad doktorantami realizującymi prace doktorskie (2018–obecnie):

Realizacja funkcji opiekuna pomocniczego – 1.

Mgr inż. Paulina Kanaś,

Temat pracy doktorskiej: *Wymiana ciepła i masy w obrotowych niehigroskopijnych wymiennikach do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego*,

Promotor prof. dr hab. inż. Sergey Anisimov,

Promotor pomocniczy: dr inż. Andrzej Jedlikowski

e) Otrzymane nagrody i wyróżnienia:

1. Nagroda programu „*Primus*" przyznawana w celu promowania doskonałości naukowej, skierowana do osób wyróżniających się aktywnością publikacyjną oraz realizujących projekty badawcze w swoich dyscyplinach naukowych (przyznana dwukrotnie: 2020, 2021).
2. Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni (10.12.2016).
3. Nagroda w formie Dyplomu dla „*Najlepszego nauczyciela akademickiego na specjalności Zaopatrzenie w Wodę i Unieszkodliwianie Ścieków na III roku*" wraz z odlewem logotypu Wydziału Inżynierii Środowiska w ramach „*Konkursu na Najlepszych Nauczycieli Akademickich WIŚ 2013/2014*" przeprowadzonego przez Samorząd Studencki Wydziału Inżynierii Środowiska. Dyplom uzyskałem na podstawie wcześniejszej nominacji studenckiej oraz po uzyskaniu maksymalnej liczby głosów (15.01.2015).

ANDRZEJ JEDLIKOWSKI
.....
(podpis wnioskodawcy)