



## Autoreferat

### Analiza wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej

**dr inż. Łukasz Amanowicz**

Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej

#### Spis treści:

1. Imię i nazwisko.....	str. 2
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	str. 2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	str. 2
4. Wskazanie osiągnięcia.....	str. 2
a) tytuł osiągnięcia naukowego.....	str. 2
b) publikacje wchodzące w skład osiągnięcia.....	str. 2
c) omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników.....	str. 5
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze.....	str. 19
a) publikacje naukowe i naukowo-techniczne.....	str. 19
b) aktywność podczas konferencji krajowych i zagranicznych.....	str. 26
c) kierowanie i udział w projektach badawczych.....	str. 27
d) współpraca krajowa i zagraniczna, aktywność w innych ośrodkach.....	str. 29
e) recenzje prac naukowych, pełnienie funkcji edytora.....	str. 31
f) patenty, wdrożenia, współpraca z otoczeniem gospodarczym.....	str. 33
g) nagrody za osiągnięcia naukowe.....	str. 34
6. Działalność dydaktyczna.....	str. 35
a) przed uzyskaniem stopnia doktora.....	str. 35
b) po uzyskaniu stopnia doktora.....	str. 35
7. Działalność organizacyjna.....	str. 44
a) przed uzyskaniem stopnia doktora.....	str. 44
b) po uzyskaniu stopnia doktora.....	str. 45
8. Tabela zestawienie danych nauko-metrycznych dorobku.....	str. 48

## 1. Imię i nazwisko

Łukasz Amanowicz

## 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

**2009 – magister inżynier**, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań,

**2010 – dyplom ukończenia kursu pedagogicznego** (równoważny z kursem kompetencji pedagogicznych nauczycieli akademickich), Studium Pedagogiczne Politechniki Poznańskiej, Poznań

**2013 – dyplom ukończenia studiów III-go stopnia „Budownictwo a środowisko”**, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań,

**2015 – doktor nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska**, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, tytuł rozprawy doktorskiej: *„Wpływ parametrów konstrukcyjno-operacyjnych na charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)”*,

Promotor: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,

Recenzenci:

1) **prof. dr hab. inż. Mirosław Żukowski**, Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,

2) **prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik**, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa.

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

**2009-2016, asystent**, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Instytut Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej

**2016-obecnie, adiunkt**, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Instytut Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej (do roku 2020, obecnie: Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych).

## 4. Wskazanie osiągnięcia

### a) Tytuł osiągnięcia naukowego

**Analiza wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej.**

### b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia

- [1] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Approximated flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers for thermal analysis under variable airflow conditions, **Renewable Energy** 2020, 158, 585-597, IF = 8.001, 140 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji i metodologii badań, koncepcji artykułu, przeprowadzeniu analizy literaturowej wykazującej lukę badawczą, wykonaniu tytułowych aproksymacji charakterystyk przepływowych na cele obliczeń cieplnych uwzględniających zmienną intensywność systemu wentylacji budynku z gruntowym powietrznym wymiennikiem*



*ciepła, opracowaniu i zastosowaniu modelu matematycznego cieplno-przepływowego powietrznego wielorurowego gruntowego wymiennika ciepła do obliczeń cieplnych przy zmiennym przepływie powietrza w każdej z gałęzi, a także opracowaniu wyników w postaci wykresów i tabel oraz sformułowaniu wniosków. Mój udział wynosi 70%.*

- [2] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Comparison of Single- and Multipipe Earth-to-Air Heat Exchangers in Terms of Energy Gains and Electricity Consumption: A Case Study for the Temperate Climate of Central Europe, **Energies** **2021**, 14 (24), 8217, **IF = 3.004**, **140 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji i metodologii badań, opracowaniu metody przeliczania strat ciśnienia w wymiennikach o krótkich gałęziach na straty ciśnienia w wymiennikach o dłuższych gałęziach niż przebadane doświadczalnie, opracowaniu metody uwzględniania nierównomierności rozdziału powietrza pomiędzy gałęzie, napisaniu programu do obliczeń oraz jego walidacji, przeprowadzeniu badań z wykorzystaniem opracowanych narzędzi, opracowaniu przeglądu literatury oraz draftu artykułu, przeprowadzeniu analizy wyników w postaci tabelarycznej i graficznej, opracowaniu analizy wyników obliczeń rocznych zysków energii oraz kosztów energetycznych pracy PRGWC oraz sformułowaniu wniosków. Mój udział wynosi 70%.*

- [3] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Thermal performance of multi-pipe earth-to-air heat exchangers considering the non-uniform distribution of air between parallel pipes, **Geothermics** **2020**, 88, 101896, **IF = 4.284**, **100 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji artykułu, określeniu zakresu badań, przeprowadzeniu analizy literaturowej wykazującej lukę badawczą, opracowaniu i zastosowaniu modelu matematycznego cieplno-przepływowego powietrznego wielorurowego gruntowego wymiennika ciepła umożliwiającego wykonanie obliczeń cieplnych dla różnych przepływów w poszczególnych gałęziach wielorurowych wymienników ciepła, skutkujących różnymi wartościami współczynnika równomierności rozdziału powietrza, opracowaniu wyników w postaci wykresów i tabel, a także przeprowadzeniu dyskusji i sformułowaniu wniosków. Mój udział wynosi 70%.*

- [4] Ratajczak K., Amanowicz Ł., Szczechowiak E., Assessment of the air streams mixing in wall-type heat recovery units for ventilation of existing and refurbishing buildings toward low energy buildings, **Energy and Buildings** **2020**, 227, 110427, **IF = 5.879**, **140 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współsformułowaniu problemu badawczego, współprzygotowaniu i współrealizacji badań eksperymentalnych mających na celu ocenę możliwości mieszania się strumieni powietrza świeżego i usuwanego w zintegrowanej czepnio-wyrzutni rekuperatorów ściennych, współpracowaniu metodyki badań, współpracowaniu koncepcji artykułu, współpracowaniu dyskusji i wniosków, współpracowaniu i korekcie tekstu artykułu, wykonaniu obliczeń i analiz prezentujących możliwość wzrostu efektywności energetycznej dzięki zastosowaniu badanych urządzeń. Mój udział wynosi 40%.*



- [5] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Szczechowiak E., Analiza możliwości stosowania systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach edukacyjnych, **Instal** 2019, 10, 20-26, **70 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współsformułowaniu problemu badawczego, współpracowaniu koncepcji badań, współzaprojektowaniu i opomiarowaniu stanowiska do badań eksperymentalnych, współprowadzeniu badań, współpracowaniu koncepcji artykułu oraz współpracowaniu dyskusji i wniosków wskazujących na możliwość wzrostu efektywności energetycznej istniejących systemów wentylacji w budynkach edukacyjnych. Mój udział wynosi 40%.*

- [6] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Szczechowiak E., Badania jednorurowych systemów wentylacyjnych pod kątem oceny mieszania się strumieni powietrza w czerpni i wyrzutni, **Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja** 2019, 50 (6), 231-238, **20 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współsformułowaniu problemu badawczego, współpracowaniu koncepcji badań, współzaprojektowaniu i opomiarowaniu stanowiska do badań eksperymentalnych, współprowadzeniu badań, współpracowaniu koncepcji artykułu oraz współpracowaniu dyskusji i wniosków, wskazujących na higieniczne bezpieczeństwo stosowania efektywnych energetycznie systemów wentylacji zdecentralizowanej. Mój udział wynosi 40%.*

- [7] Amanowicz Ł., Controlling the Thermal Power of a Wall Heating Panel with Heat Pipes by Changing the Mass Flowrate and Temperature of Supplying Water – Experimental Investigations, **Energies** 2020, 13 (24), 6547, **IF = 3.004, 140 pkt.**

*Publikacja mono-autorska. Mój udział wynosi 100%.*

- [8] Wojtkowiak J., Amanowicz Ł., Mróz T., A new type of cooling ceiling panel with corrugated surface – experimental investigation, **International Journal of Energy Research** 2019, 43 (13), 7275-7286, **IF = 3.741, 100 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na uczestnictwie w sformułowaniu problemu badawczego, współudziale w opracowaniu koncepcji badań, zaprojektowaniu i opomiarowaniu stanowiska do badań eksperymentalnych, współudziale w realizacji eksperymentu, opracowaniu części wprowadzenia oraz przeglądu literatury, a także współudziale w opracowaniu dyskusji, interpretacji wyników i formułowaniu wniosków. Mój udział wynosi 20%.*

- [9] Wojtkowiak J., Amanowicz Ł., Effect of surface corrugation on cooling capacity of ceiling panel, **Thermal Science and Engineering Progress** 2020, 19, 100572, **20 pkt.**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na uczestnictwie w sformułowaniu problemu badawczego, zaprojektowaniu i opomiarowaniu stanowiska do badań eksperymentalnych, przeprowadzeniu analizy obliczeniowej, opracowaniu wyników, współudziale w dyskusji wyników i sformułowaniu wniosków. Mój udział wynosi 30%.*

Zestawienie danych nauko-metrycznych publikacji wchodzących w skład powyższego cyklu przedstawiono w Tabeli 1.



**Tabela 1.** Zestawienie danych nauko-metrycznych publikacji wchodzących w skład cyklu stanowiącego osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Poz.	Udział	IF	Punkty (całość)	Punkty (udział)	Cytowania			
					Scopus		Google Scholar	
					Łącznie	Bez autocyt.	Łącznie	Bez autocyt.
[1]	70%	8.001	140	98	12	11	13	12
[2]	70%	3.004	140	98	2	2	3	3
[3]	70%	4.284	100	70	11	10	13	12
[4]	40%	5.879	140	56	15	11	17	13
[5]	40%		70	28	3	2	8	5
[6]	40%		20	8	-	-	6	2
[7]	100%	3.004	140	140	3	2	3	2
[8]	20%	3.741	100	20	9	6	10	6
[9]	30%		20	6	7	6	7	6
<b>Suma</b>	-	<b>27.913</b>	<b>870</b>	<b>524</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>80</b>	<b>61</b>

### c) Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników

Do oceny przedstawiono osiągnięcie w postaci cyklu 9 publikacji pt. „*Analiza wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej*”.

**Celem naukowym osiągnięcia jest poprawa efektywności energetycznej wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków.**

Postawiony cel wpisuje się w założenia Polityki Energetycznej Polski i Unii Europejskiej, ukierunkowanych na ciągłe zwiększanie efektywności energetycznej różnych sektorów gospodarki, jak również zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii w zaspokajaniu potrzeb energetycznych kraju i Europy. **Postulat wzrostu efektywności energetycznej budynków może być realizowany na trzech płaszczyznach:**

1. Budynek – zmianie może ulegać m.in. jego izolacyjność termiczna, szczelność powietrzna, zwartość geometryczna, pojemność cieplna, orientacja względem stron świata, stosowanie ochrony przed promieniowaniem słonecznym w lecie oraz maksymalizacja wykorzystania zysków ciepła od słońca w okresie zimowym. Wszystkie te elementy w połączeniu ze sposobem użytkowania budynku (zachowanie użytkownika, znaczenie jego świadomości, nawyków itp.) mają wpływ na wartość zapotrzebowania na energię użyteczną.
2. **Technika instalacyjna** rozumiana jako systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC) – **komponenty systemów HVAC**, sterowanie ich pracą, sprawność regulacji, a przede wszystkim ich efektywność energetyczna wpływają na wartość zapotrzebowania na energię końcową.
3. Źródła energii – ich pochodzenie, sposób konwersji, efektywność wykorzystania oraz dystrybucji wpływają na wartość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną.

**Potencjał do zwiększania efektywności energetycznej budynków istnieje na poziomie wszystkich wymienionych płaszczyzn. Końcowy efekt powinien wynikać z synergii działań podjętych na każdej z nich w celu uzyskania budynku efektywnego energetycznie.**



**W osiągnięciu naukowym przedstawionym do oceny został rozwinięty problem zwiększania efektywności energetycznej wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków.**

**Geneza tematyki badawczej**

Po obronie rozprawy doktorskiej, która odbyła się w czerwcu 2015 roku, za namową Promotora **prof. dr hab. inż. Janusza Wojtkowiaka**, opublikowałem wyniki doświadczalnej części rozprawy doktorskiej w postaci monografii naukowej pt. „*Doświadczalne charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła*”. Monografia ta została wydana nakładem Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej w roku 2016. Promotor mojej rozprawy doktorskiej wspólnie z ówczesnym Dyrektorem Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej **prof. dr hab. inż. Edwardem Szczehowiakiem** zwrócili moją uwagę na mnogość i różnorodność elementów systemów ogrzewania i wentylacji, które dopiero wchodzą na rynek, a ich charakterystyki oraz współpraca z budynkiem nie zostały w pełni rozpoznane. **W konkluzji zostałem zachęcony do prowadzenia badań eksperymentalnych oraz analiz teoretycznych wybranych elementów systemów ogrzewania i wentylacji w aspekcie wzrostu ich efektywności energetycznej.**

Z uwagi na mnogość systemów zaopatrzenia w ciepło i chłód oraz systemów technicznego wyposażenia budynków odpowiedzialnych za utrzymanie komfortu cieplnego i jakość powietrza wewnętrznego, a także z uwagi na dynamiczny rozwój rynku urządzeń służących do ogrzewania i wentylacji, konieczne jest ciągłe aktualizowanie stanu wiedzy i zdobywanie nowej, popartej badaniami naukowymi. Przedstawiony cykl publikacji dotyczy wybranych elementów systemów ogrzewania i wentylacji, których wspólną cechą jest ich innowacyjny charakter. Przeprowadzone badania oraz powstałe na ich podstawie publikacje wpisują się w wyżej opisany światowy kierunek badań i rozwoju, a także sprzyjają popularyzacji badanych systemów zarówno w środowisku naukowym jak i wśród inżynierów – praktyków. Użyte powyżej pojęcia „*technika instalacyjna*” oraz „*komponenty systemów HVAC*” można rozumieć szeroko. Określa się nimi wszelkiego rodzaju systemy ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, systemy odpowiedzialne za utrzymanie komfortu klimatycznego, instalacje ciepłej wody użytkowej oraz ich komponenty (elementy składowe, odpowiedzialne za ich właściwe funkcjonowanie). Wśród nich wiele uwagi poświęca się w ostatnich latach systemom innowacyjnym, których parametry nie zostały w pełni poznane, a ich efektywność energetyczna może ulec poprawie dzięki prowadzonym badaniom. Takimi systemami są m.in. systemy wentylacji mechanicznej, umożliwiające odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego oraz ich elementy jak np. powietrzne lub glikolowe gruntowe wymienniki ciepła, wykorzystywane jako element umożliwiający pozyskanie odnawialnej energii gruntu. Szczególne zainteresowanie systemami wentylacji można uzasadnić rosnącą proporcją między wentylacyjną stratą ciepła, a stratami ciepła na drodze przenikania przez przegrody budynku, charakteryzujące się obecnie bardzo dobrymi parametrami izolacyjności cieplnej. Wiele uwagi poświęca się również systemom ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego, a także przegrodom aktywowanym termicznie, ponieważ należą one do grupy systemów tzw. „*niskoparametrowych*”, które umożliwiają efektywną współpracę z odnawialnymi źródła energii, wykorzystującymi np. energię słońca, powietrza zewnętrznego czy gruntu przy zastosowaniu np. kolektorów słonecznych czy pomp ciepła. W klimacie zimnym i umiarkowanym, w których sezon grzewczy stanowi większość roku, a temperatury powietrza zewnętrznego są relatywnie niskie, efektywne energetycznie systemy ogrzewania są istotne dla osiągnięcia wysokiej efektywności energetycznej budynków. **Z uwagi na powyższe podjąłem się realizacji cyklu badań i analiz wybranych komponentów innowacyjnych systemów ogrzewania i wentylacji, których charakterystyki nie zostały w pełni rozpoznane** – tym samym, badania nad możliwością



zwiększenia ich efektywności energetycznej są potrzebne i uzasadnione. **Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia zostały podzielone na trzy grupy, dotyczące następujących, wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji:**

- 1) **Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła** (sprzyjające zwiększeniu efektywności energetycznej systemu wentylacji zimą i latem), publikacje: [1], [2], [3].
- 2) **Systemy wentylacji zdecentralizowanej** (o zwiększonej efektywności energetycznej), publikacje: [4], [5], [6].
- 3) **Panele ściennie grzewcze z rurkami ciepła** (określenie efektywnego energetycznie sposobu regulacji ich wydajności) **oraz panele sufitowe grzewczo-chłodzące o nowej konstrukcji** (wzrost efektywności w stosunku do bazowej konstrukcji), publikacje: [7], [8], [9].

**Wskaźnikami określającymi ilościowo charakterystykę energetyczną budynku są współczynniki:** zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP), energię końcową (EK) oraz energię użytkową (EU). Są one wyrażone w kWh/rok/m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej budynku. Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, które służy do wyznaczania współczynnika EP jest obliczane ze wzoru:

$$Q_p = Q_{p,H} + Q_{p,C} + Q_{p,W} + Q_{p,L} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{p,H}$  – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania,

$Q_{p,C}$  – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu chłodzenia,

$Q_{p,W}$  – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,

$Q_{p,L}$  – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia.

Wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla celów zaspokojenia i-tej potrzeby zależy od zapotrzebowania na: energię końcową  $Q_{k,i}$ , energię elektryczną pomocniczą  $E_{el,pom,i}$  oraz współczynnika nakładu energii pierwotnej  $w_i$  i współczynnika nakładu energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej  $w_{el}$ :

$$Q_{p,i} = Q_{k,i} \cdot w_i + E_{el,pom,i} \cdot w_{el} \quad (2)$$

Zapotrzebowanie na energię końcową uwzględnia wartość energii użytkowej na cele grzania lub chłodzenia, a także sprawność całkowitą i-tego systemu:

$$Q_{k,i} = \frac{Q_{i,nd}}{\eta_{g,i} \cdot \eta_{e,i} \cdot \eta_{d,i} \cdot \eta_{s,i}} \quad (3)$$

gdzie:

$\eta_{g,i}$  – średnia sezonowa sprawność wytwarzania energii w i-tym systemie,

$\eta_{e,i}$  – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania energii i-tym systemie,

$\eta_{d,i}$  – średnia sezonowa sprawność przesyłu energii i-tym systemie,

$\eta_{s,i}$  – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych w i-tym systemie.

Zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania i chłodzenia jest funkcją następujących wielkości:

$$Q_{H,nd}, Q_{C,nd} = f(Q_{tr}, Q_{ve}, Q_{int}, Q_{sol}) \quad (4)$$

gdzie:

$Q_{tr}$  – strata energii na drodze przenikania przez przegrody budowlane,

$Q_{ve}$  – wentylacyjna strata ciepła,

$Q_{int}$  – wewnętrzne zyski energii,

$Q_{sol}$  – zyski ciepła od słońca.

#### **Stosowanie powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła wpływa na:**

- zmniejszenie wartości wentylacyjnej straty ciepła  $Q_{ve}$ , wchodzącej w skład zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania (zimą)  $Q_{u,H}$  oraz na cele chłodzenia (latem)  $Q_{u,C}$ , poprzez wykorzystanie energii gruntu,
- zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą  $E_{el,pom}$  służącą do napędu wentylatora przetwarzającego powietrze przez wymiennik, który musi pokonać dodatkowe opory przepływu spowodowane obecnością wymiennika w instalacji.

#### **Stosowanie rekuperatorów ściennych, realizujących wentylację zdecentralizowaną wpływa na:**

- zmniejszenie wartości wentylacyjnej straty ciepła  $Q_{ve}$ , wchodzącej w skład zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania (zimą)  $Q_{u,H}$  oraz na cele chłodzenia (latem)  $Q_{u,C}$ , dzięki możliwości odzyskiwania energii z powietrza usuwanego,
- zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową na cele ogrzewania i chłodzenia dzięki zwiększeniu sprawności: regulacji i wykorzystania energii  $\eta_e$  (lepsze dopasowanie się do chwilowych potrzeb odbiorców w stosunku do systemów centralnych) oraz sprawności dystrybucji  $\eta_d$  (brak systemu dystrybucji, a przez to ograniczenie strat energii do przestrzeni o niekontrolowanej temperaturze); zapotrzebowanie na energię końcową na cele ogrzewania i chłodzenia jest w tych systemach mniejsze również ze względu na zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą  $E_{el,pom}$  (brak systemu dystrybucji powietrza skutkujący mniejszymi oporami przepływu).

#### **Stosowanie paneli ściennych grzewczych z rurkami ciepła lub paneli sufitowych grzewczo-chłodzących wpływa na:**

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową na cele ogrzewania i chłodzenia dzięki zwiększeniu sprawności: wytwarzania  $\eta_g$  (wyższa sprawność wytwarzania energii, szczególnie w przypadku źródeł wykorzystujących energię odnawialną, dzięki zastosowaniu w systemach płaszczyznowych niskich temperatur zasilania w przypadku grzania oraz wysokich temperatur w przypadku chłodzenia), regulacji i wykorzystania energii  $\eta_e$  (lepsze dopasowanie do chwilowych potrzeb, grzanie niskotemperaturowe, chłodzenie wysokotemperaturowe) oraz dystrybucji  $\eta_d$  (mniejsze straty dystrybucji dzięki obniżeniu temperatury czynnika grzewczego oraz podniesieniu temperatury czynnika chłodzącego).



**Omówienie odrębności tematycznej publikacji [1-3] dotyczących powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła w kontekście tematyki pracy doktorskiej.**

Od początku mojego zatrudnienia w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej aż do uzyskania stopnia doktora (tzn. w latach 2009-2015), prowadziłem głównie badania dotyczące charakterystyk przepływowych powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC). Wymienniki te składają się z dwóch kolektorów: zasilającego i zbiorczego oraz równoległych do siebie rur, przez które przepływa strumień powietrza kierowany dalej do centrali wentylacyjnej i wentylowanego pomieszczenia. W ramach pracy doktorskiej pt. „*Wpływ parametrów konstrukcyjno-operacyjnych na charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)*”, wyróżnionej przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, postawiłem trzy tezy:

1. Parametry konstrukcyjne takie jak: średnica, długość i liczba gałęzi, średnica kolektorów, kąt łączenia gałęzi i kolektorów, układ (struktura U lub Z) mają istotny, choć niejednoznaczny wpływ na równomierność rozdziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie gruntowych wielorurowych wymienników ciepła oraz na wartość całkowitych strat ciśnienia i tym samym na efektywność energetyczną i ekonomiczną wymienników.
2. Rozdział powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wymiennika silnie zależy od jego struktury (parametrów konstrukcyjnych) i słabo od strumienia powietrza (parametr operacyjny).
3. Parametrem geometrycznym, który najsilniej wpływa na równomierność rozdziału powietrza pomiędzy gałęzie powietrznych, wielorurowych gruntowych wymienników ciepła jest stosunek średnicy kolektorów do średnicy gałęzi. Przy odpowiednio dużej wartości tego stosunku wpływ pozostałych parametrów staje się mało znaczący.

W celu udowodnienia powyższych tez przeprowadziłem serię badań eksperymentalnych na modelach PRGWC wykonanych w skali 1:4, różniących się od siebie średnicą gałęzi wymiennika, stosunkiem średnicy kolektorów do średnicy gałęzi, liczbą gałęzi, ich długością, kątem ich łączenia z kolektorami oraz sposobem zasilania (układy typu U lub Z). Badania polegały na wyznaczeniu charakterystyk przepływowych dla każdego z wymienionych wariantów. Charakterystyki te rozumiano dwójako: (i) jako wartość strat ciśnienia przy przepływie przez wymiennik w funkcji strumienia przepływającego powietrza oraz (ii) jako proporcje rozdziału strumienia powietrza w poszczególnych gałęziach wymiennika dla każdego z analizowanych strumieni przepływającego powietrza. W toku badań potwierdziłem, że strumień objętości przepływającego powietrza nie jest jednakowy w różnych gałęziach tego rodzaju wymienników. Wymienniki różniące się geometrią charakteryzowała również znacząco różna wartość strat ciśnienia. Duża liczba analizowanych wariantów geometrycznych pozwoliła wskazać, że najbardziej istotny wpływ, zarówno na wartość strat ciśnienia, jak i równomierność rozdziału powietrza, ma relacja między średnicą kolektorów i gałęzi – im większe są kolektory w stosunku do średnicy gałęzi, tym straty ciśnienia są mniejsze, a przy tym podział powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie jest bardziej równomierny. Z uwagi na brak wystarczającej przestrzeni oraz czasochłonność badań eksperymentalnych, w dalszych krokach opracowałem model numeryczny do wyznaczania charakterystyk przepływowych PRGWC, wykorzystując w tym celu komercyjne oprogramowanie CFD ANSYS Fluent. Wyniki eksperymentów posłużyły mi do walidacji modelu numerycznego, który umożliwił przeanalizowanie większej liczby wariantów oraz geometrii, których nie udałooby się przebadać w laboratorium. **Wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych uogólniłem i przedstawiłem w postaci bezwymiarowej. Posłużyły one do sformułowania wytycznych do projektowania wielorurowych PRGWC pod względem przepływowym.**



W ramach pracy doktorskiej opracowałem m.in. metodologię prowadzenia bezinwazyjnych pomiarów strumieni powietrza w poszczególnych gałęziach wymiennika, które nie powodowały zaburzenia naturalnych proporcji podziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wymiennika, a także kryterium oceny stopnia równomierności rozdziału powietrza. Złożoność tematyki charakterystyk przepływowych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła sprawiła, że w **pracy doktorskiej skupilem się wyłącznie na zagadnieniach strat ciśnienia i równomierności rozdziału powietrza pomiędzy gałęzie wymiennika. Badania i analizy prowadziłem w warunkach adiabatycznych, w których powietrze przepływające przez wymiennik nie było ani podgrzewane, ani ochładzane.**

W ramach pracy doktorskiej:

- nie analizowałem współpracy wymiennika z gruntem ani wpływu parametrów gruntu na wydajność wymiennika,
- nie analizowałem współpracy wymiennika z systemem wentylacji budynku,
- nie analizowałem wpływu charakterystyk przepływowych na charakterystykę cieplną wymienników,
- nie prowadziłem obliczeń zysków energetycznych, ekonomicznych czy środowiskowych, wynikających z wykorzystania powietrznych rurowych wymienników ciepła jako odnawialnego źródła energii,
- nie prowadziłem obliczeń rocznych kosztów pracy (zużycia energii do napędu wentylatora) wynikających z eksploatacji PRGWC.

**Potencjał cieplny PRGWC w kontekście zwiększania ich efektywności energetycznej stał się przedmiotem moich dalszych badań, których realizację rozpocząłem po uzyskaniu stopnia doktora.**

### **Omówienie cyklu 9 publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

*Numeracja artykułów stanowiących cykl publikacji przedstawiony do oceny jest zgodna ze spisem zamieszczonym w punkcie 4 b) autoreferatu. Numeracja pozostałych cytowanych prac została przyjęta zgodnie z kolejnością ich występowania w punktach 5. i 6. autoreferatu, gdzie są one wymienione jako pozostałe osiągnięcie naukowo-badawcze lub dydaktyczne.*

*Pisząc w pierwszej osobie mam na myśli mój własny wkład w daną część osiągnięcia (np. zrobiłem / przeanalizowałem). Pisząc bezosobowo wskazuję na współdziałanie innych osób (członków zespołu) w realizacji danego osiągnięcia (zrobiono / przeanalizowano).*

#### **1) Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła (sprzyjające zwiększeniu efektywności energetycznej systemu wentylacji zimą i latem).**

Jednym z zaleceń dla energooszczędnych systemów wentylacji jest wykorzystanie OZE, np. energii gruntu, mające na celu m.in. poprawę efektywności energetycznej procesu obróbki ciepłej powietrza wentylacyjnego. Modelowanie oraz badania cieplno-przepływowe gruntowych powietrznych rurowych wymienników ciepła (PRGWC) są przedmiotem wielu prac eksperymentalnych i teoretycznych. Większość z nich dotyczy pracy PRGWC w warunkach znamionowych. Tymczasem wzrost popularności systemów wentylacji mechanicznej współpracujących z PRGWC, umożliwiającą zwiększenie stopnia wykorzystania OZE w budownictwie, wymaga również pogłębienia wiedzy na temat wpływu danych wejściowych oraz sposobu użytkowania tych systemów na ich wydajność. Pogłębienie to jest konieczne dla lepszej, dokładniejszej i bardziej rzetelnej oceny efektywności energetycznej ich



pracy. Z tego powodu uznano za wartę uwagi podjęcie badań mających na celu analizę ciepłą rocznej pracy wielorurowych PRGWC w zmiennych warunkach obciążenia strumieniem powietrza oraz z uwzględnieniem występujących w praktyce problemów nierównomierności rozdziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wymiennika. Dogłębna analiza literaturowa przedstawiona w artykułach [1] i [3] wykazała, że jest to temat całkowicie zmarginalizowany. Zazwyczaj analizowane są stany ustalone lub nieustalone, przy założeniu stałego strumienia powietrza przepływającego przez wymiennik. Czasem brane są pod uwagę przerwy w pracy, służące regeneracji cieplnej gruntu. Nie znaleziono jednak wyników badań, które pokazywałyby różnice w sezonowych zyskach, wynikających z zastosowania PRGWC z uwzględnieniem zmiennego harmonogramu przepływu powietrza i jednocześnie nierównomierności rozdziału powietrza pomiędzy gałęzie wielorurowych PRGWC. Stało się to przyczyną podjęcia badań w tym zakresie. W artykule [20] zestawionym w ramach pozostałego dorobku naukowego podjęto uproszczoną analizę, obejmującą zawężoną liczbę przypadków, aby oszacować istotność tego problemu. Wyniki pokazały, że wpływ nierównomierności na roczny uzysk ciepła może wynosić kilka, kilkanaście i więcej procent, a zatem może mieć istotne znaczenie dla wyników obliczeń i późniejszego doboru oraz efektywności energetycznej wymiennika. Z tego powodu w artykule [1], opublikowanym w roku 2020 w prestiżowym czasopiśmie **Renewable Energy (IF = 8.001)**, przedstawiono wyniki badań, polegających na aproksymacji zmierzonych doświadczalnie i zaprezentowanych wcześniej w monografii [18] strumieni powietrza w modelach PRGWC o różnorodnej geometrii. Aproksymacja tych wyników umożliwiła analityczne wyznaczenie strumieni powietrza w poszczególnych gałęziach wielorurowego PRGWC oraz wartości całkowitych strat ciśnienia przy przepływie powietrza przez wymiennik dla dowolnego strumienia z zakresu objętego badaniami eksperymentalnymi. W obliczeniach uwzględniono doświadczalnie aproksymowane wartości strumieni powietrza w poszczególnych gałęziach wielorurowego wymiennika ciepła i obliczono różnice w jego sezonowej wydajności w porównaniu do obliczeń, wykonywanych bez uwzględniania urealnionych założeń odnośnie równomierności rozdziału powietrza. Artykuł [1] wniósł ważny wkład w rozwój symulacji sezonowych zysków i kosztów pracy wielorurowych PRGWC, wykazując duże znaczenie założeń na wynik obliczeń, które dotychczas były najczęściej zaniedbywane lub upraszczano je. Wyniki analiz pokazały również, że istotne znaczenie dla oceny efektywności systemów wentylacji mechanicznej wyposażonych w PRGWC ma przyjęty harmonogram użytkowania, który zwykle nie jest brany pod uwagę. Artykuł uzupełnił lukę w danych literaturowych, polegającą na braku analitycznych formuł, które można by było zastosować w arkuszu kalkulacyjnym lub bardziej złożonych narzędziach do modelowania rocznej pracy wielorurowego wymiennika ciepła. W artykule przedstawiono metodologię obliczeń oraz sposób uwzględniania charakterystyk przepływowych wielorurowych PRGWC, skutkujący uzyskaniem bardziej urealnionych charakterystyk cieplnych. Połączenie w jednym modelu i w zakresie jednych obliczeń obu zagadnień jest rzadko spotykane. Dotychczasowe badania skupiały się zwykle na dogłębnej analizie jednego lub kilku wybranych parametrów, przy założeniu daleko idących uproszczeń odnośnie pozostałych, co skutkowało zaniebdywaniem ich wpływu. Wyniki badań przedstawione w opisywanym artykule mogą być z łatwością zaimplementowane do innych badań i analiz w zakresie procesu wymiany ciepła, zachodzącego w PRGWC, a także współpracy wymiennika z systemem wentylacji budynku. **Wykorzystując wyniki tej pracy, można wyeliminować część uproszczeń, które stosowano w przypadku dotychczasowych analiz i uzyskać bardziej wiarygodne wyniki symulacji, które pomogą w zaprojektowaniu bardziej efektywnych energetycznie układów PRGWC.**

Chociaż artykuł [1] wniósł nowe spojrzenie na proces symulacji energetycznych PRGWC, nadal nie była znana korelacja między sezonowymi zyskami ciepła, a równomiernością rozdziału powietrza w ujęciu ogólnym, bowiem dotychczasowe prace skupiały się na analizie



tylko wybranych geometrii i odpowiadających im stopni równomierności rozdziału powietrza. Z tego powodu podjęto dalsze badania, mające na celu uzyskanie uniwersalnych rezultatów. W tym celu, wykorzystując analogiczny model matematyczny, dokonano analizy bezwymiarowej, zastępując wartości strumienia powietrza procentowymi udziałami przepływu w danej rurze wymiennika w całkowitym strumieniu powietrza przepływającego przez wymiennik. W dalszym kroku przeanalizowano różne przypadki procentowego rozkładu strumienia pomiędzy poszczególne gałęzie, skutkujące uzyskaniem tej samej wartości współczynnika  $\Omega$ , reprezentującego stopień równomierności rozdziału powietrza. Wyniki analizy pokazały, że chociaż istnieje wiele różnych kombinacji rozdziału strumienia powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie, skutkujących uzyskaniem tej samej wartości współczynnika równomierności  $\Omega$ , to obliczeniowa wartość sezonowego uzysku ciepła z pracy wymiennika jest podobna dla każdego z tych przypadków z dokładnością ok.  $\pm 0,25\%$ . To ważne spostrzeżenie zaowocowało przeprowadzeniem analiz opisanych w artykule [3] opublikowanym w 2020 roku w uznanym czasopiśmie **Geothermics o wskaźniku IF = 4.284**. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń sezonowych zysków ciepła dla różnych przypadków wielorurowych PRGWC, uwzględniających różne stopnie równomierności rozdziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wymiennika w szerokim, nieanalizowanym dotąd zakresie zmienności, przy uwzględnieniu różnych harmonogramów wykorzystania PRGWC (zmiennego strumienia powietrza w ciągu doby). Wyniki potwierdziły, że zaniebdywanie i upraszczanie założeń odnośnie równomierności rozdziału powietrza może skutkować w skrajnych przypadkach różnicami w wynikach obliczeń nawet do 28%. Przy tak dużych różnicach może się okazać, że brak doświadczalnej lub symulacyjnej weryfikacji rozdziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wpłynie na wynik walidacji modelu numerycznego wymiany ciepła pomiędzy gruntem, a powietrzem wentylacyjnym przepływającym przez PRGWC. Może również mieć wpływ na werdykt w ocenie efektywności ekonomicznej czy ekologicznej zastosowania PRGWC. Ponadto, w artykule odniesiono się do wyników dotychczasowych badań wielorurowych PRGWC prowadzonych w Rumunii, które doprowadziły do odmiennych wniosków na temat wyższości struktur typu U nad strukturami typu Z takich wymienników w porównaniu z wynikami moich badań. Przyczyn tych różnic doszukano się w uproszczeniach przyjętych przez innych badaczy.

Wyniki badań opublikowanych w artykułach [1] i [3] uzupełniły dotychczasową wiedzę w zakresie modelowania i symulacji cieplno-przepływowych wielorurowych powietrznych gruntowych wymienników ciepła. Artykuły [1] i [3] w krótkim czasie od ich publikacji zostały zacytowane przez inne zespoły badaczy, podejmujących tematykę PRGWC w czasopismach międzynarodowych.

Analizując możliwość zastosowania powietrznego rurowego gruntowego wymiennika ciepła należy dokonać wyboru pomiędzy wymiennikiem jednorurowym i wielorurowym. Wybór struktury korzystniejszej pod względem efektywności energetycznej powinien być poprzedzony przeprowadzeniem analizy cieplno-przepływowej, uwzględniającej wiele czynników. Należy wziąć pod uwagę nie tylko zyski energii w rocznym cyklu pracy urządzenia, ale również koszty pracy, wynikające z konieczności pokonania dodatkowych oporów przepływu oraz zasilania wentylatora energią elektryczną. W artykule [2] (**Energies 2020, IF = 3.004**) dokonałem obszernego przeglądu literatury związanej z PRGWC, z którego wynika, że takie analizy nie zostały wcześniej opublikowane. W szczególności nie podjęto próby porównania wymienników jednorurowych i wielorurowych od względem cieplnym oraz pod względem strat ciśnienia, a także rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Taką analizę przeprowadzono w pracy [2]. Do obliczeń wykorzystano wyniki badań doświadczalnych nad stratami ciśnienia w wymiennikach 3, 5 i 7 rurowych, pochodzące z rozprawy doktorskiej oraz bazujące na wynikach wcześniej opublikowanych artykułów z zakresu doktoratu. Opis stanowiska do badań doświadczalnych, opis badań, analiza



niepewności pomiarowych oraz charakterystyki przepływowo nie stanowią nowego wkładu w stosunku do treści mojej rozprawy doktorskiej. Nie są one jednak główną częścią pracy. Stanowią jedynie zestaw danych wejściowych, które zostały wykorzystane do dalszych analiz. Model obliczeniowy, procedura obliczeń oraz założenia, w tym w szczególności propozycja uproszczonej procedury wykorzystania wyników badań doświadczalnych dla wymienników krótkich do obliczeń strat ciśnienia w wymiennikach o dłuższych gałęziach, nie były przedmiotem pracy doktorskiej i stanowią nowy wkład w rozwój dyscypliny w stosunku do osiągnięć rozprawy. W artykule porównano straty ciśnienia w wielorurowych i analogicznych jednorurowych wymiennikach ciepła (o tej samej łącznej długości rur użytych do ich budowy) dla różnych przepływów powietrza. Takie porównanie nie było przedmiotem badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej, ponieważ pomimo dostępności danych wejściowych do obliczeń dla wymienników o krótkich gałęziach (wyniki badań doświadczalnych) nie opracowano wówczas metody obliczeń dla wymienników wielorurowych o dłuższych gałęziach niż wykorzystywane podczas badań eksperymentalnych. W artykule [2] przeprowadzono analizę rocznych zysków ciepła i chłodu oraz rocznego zużycia energii elektrycznej przez wentylator wspomagający PRGWC, biorąc pod uwagę również wyniki opublikowane we wcześniejszych artykułach [1] i [3], dotyczące wpływu nierównomierności rozdziału powietrza na efektywność cieplną wymienników wielorurowych. W dalszej części pracy przeprowadzono analizę polegającą na poszukiwaniu równoważnej długości jednorurowego wymiennika ciepła, który pod względem rocznych zysków ciepła zastąpiłby referencyjny wielorurowy wymiennik (ta sama roczna ilość pozyskanego ciepła zamiast tej samej długości rur). Podobne analizy nie były wcześniej publikowane. Wyniki pokazały, że wielorurowe PRGWC można z powodzeniem zastąpić konstrukcją jednorurową o takich samych parametrach cieplnych i podobnych stratach ciśnienia, jeśli zastosuje się odpowiednią średnicę rury. Wyniki zaprezentowane w artykule wzbogacają wiedzę z zakresu efektywności energetycznej PRGWC i wskazują na konieczność prowadzenia pogłębionych analiz przed podjęciem decyzji o wyborze typu wymiennika. Artykuł przedstawia metodologię prowadzenia obliczeń cieplno-przepływowych. Nowością metodologii jest uwzględnienie w obliczeniach następujących aspektów: (i) wykorzystanie wyników badań eksperymentalnych strat ciśnienia w wymiennikach wielorurowych, (ii) uwzględnienie obniżenia sprawności cieplnej wymiennika wielorurowego ze względu na nierównomierny rozkład powietrza oraz (iii) uwzględnienie nie tylko zysków energii, ale również kosztów użytkowania systemu (energia do napędu wentylatora), co zwykle jest zanedbywane. Publikacja wyników badań w międzynarodowych czasopismach przyczyniła się do polepszenia wiarygodności modelowania, a co za tym idzie – dokładniejszej i bardziej wiarygodnej oceny efektywności PRGWC. **Działanie to sprzyja stosowaniu efektywniejszych energetycznie systemów wentylacji z powietrznymi gruntowymi wymiennikami ciepła oraz wzrostowi wykorzystania odnawialnych źródeł energii w postaci energii gruntu.**

## 2) Systemy wentylacji zdecentralizowanej (o zwiększonej efektywności).

Efektywne energetycznie systemy wentylacyjne w nowoprojektowanych budynkach wykonuje się zazwyczaj jako centralne, złożone z sieci przewodów oraz central wentylacyjnych wyposażonych w płytowe (np. krzyżowe lub krzyżowo-przeciwprądowe) bądź obrotowe wymienniki ciepła, które umożliwiają odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego. W przypadku budynków już istniejących i termo-modernizowanych najczęściej wymienia się stolarkę okienną i ociepla się przegrody warstwą izolacji termicznej. Niezwykle rzadko zmianom poddaje się system wentylacji, ponieważ zwykle brakuje wystarczającej przestrzeni do montażu systemu kanałów oraz montażu centrali wentylacyjnej. Nowością na rynku urządzeń grzewczo-wentylacyjnych, które mogą być z łatwością zastosowane do modernizacji i zmniejszenia energochłonności systemu wentylacji są ścienne jednorurowe systemy



wentylacyjne z akumulacyjnym wymiennikiem ciepła. Posiadają one jedno- lub dwudzielny kanał, który montowany jest w ścianie zewnętrznej budynku, w którym zlokalizowany jest akumulacyjny, np. ceramiczny, wymiennik ciepła oraz wentylator/wentylatory rewersyjne. W wersji jednowentylatorowej powietrze jest naprzemiennie nawiewane do i usuwane z pomieszczenia przez określony czas. W tym czasie warstwa akumulacyjna ulega zimą wygrzaniu (tryb wywiewu) lub schłodzeniu (tryb nawiewu) przez przepływające powietrze, które odpowiednio ochładza się lub podgrzewa. W ten sposób realizowane jest cykliczne odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego. W systemach z dwoma wentylatorami powietrze jest jednocześnie nawiewane i usuwane do pomieszczenia przez określony czas, po którym następuje zamiana kierunku obrotu wentylatorów, a część nawiewna staje się wywiewną i odwrotnie. Powietrze nawiewane przepływa przez wygrzaną część wymiennika ogrzewając się, a usuwane przez schłodzoną, podgrzewając ją. Mało kłopotliwy montaż i możliwość realizacji odzysku ciepła z powietrza usuwanego, a także decentralizacja – dopasowanie do chwilowych i miejscowych potrzeb użytkowników, są głównymi zaletami tych urządzeń. Decentralizacja systemu wentylacji jest korzystna z kilku względów, przede wszystkim z uwagi na skrócenie systemu dystrybucji powietrza i wynikające z tego zmniejszone straty ciśnienia (mniejsze koszty energetyczne transportu powietrza), a także z uwagi na lepsze (lokalne) dopasowanie do chwilowych potrzeb użytkowników, co wpływa zarówno na zmniejszenie kosztów transportu powietrza, jak również zmniejszenie kosztów jego obróbki termicznej. Z prawnego punktu widzenia, większość z dostępnych na rynku tego typu urządzeń nie spełnia jednak wymagań stawianych systemom wentylacyjnym opisanych w Ustawie „*Warunki Techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*” (WT). Dzieje się tak głównie z powodu niemożności spełnienia warunku zachowania odpowiedniej odległości wyrzutni od okien, a także odległości między czerpnią i wyrzutnią. Intencją Ustawodawcy w kontekście ostatniego wymogu było zapewnienie bezpieczeństwa higienicznego, polegającego na nieprzedstawianiu się zanieczyszczeń z powietrza usuwanego do strumienia powietrza świeżego. Z powodu niespełnienia tych warunków, tego typu systemy albo są niewykorzystywane i niebrane pod uwagę podczas modernizacji budynków, albo są montowane, ale wspomagająco – jako aktywne urządzenia nawiewne wspomagające wentylację naturalną. Nie sprzyja to zmniejszeniu energochłonności systemów wentylacji i ogrzewania budynków, szczególnie tych istniejących. Z tego powodu we współpracy z dystrybutorem takich urządzeń, firmą Vents, przeprowadzono badania, które miały na celu ocenę możliwości mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i usuwanego w zintegrowanej czerpnię-wyrzutni tych urządzeń. W artykułach [5] i [6] zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych, polegających na napełnieniu komory testowej dymem lub dwutlenkiem węgla i odpowiednio: albo wizualnej ocenie kierunków przemieszczania się powietrza usuwanego w obrębie czerpnię-wyrzutni albo pomiarach stężenia dwutlenku węgla w komorze, strefie powietrza świeżego i strefie powietrza usuwanego. Badaniom poddano jednorurowe rekuperatory ściennie z akumulacyjnym wymiennikiem ciepła oraz jednym lub dwoma wentylatorami ([6]), a także centralę ścienną z krzyżowo-prądowym wymiennikiem odzysku ciepła ([5]). Wszystkie urządzenia posiadały zintegrowaną czerpnię-wyrzutnię ścienną. Badania miały na celu ocenę prawdopodobieństwa zawracania części lub całości strumienia powietrza usuwanego z powrotem do pomieszczenia. Wyniki pokazały, że sytuacja taka jest mało prawdopodobna, nawet w przypadku silnego wiatru o niekorzystnym kierunku, który co prawda może zawrócić część strumienia z wyrzutni do czerpni, ale aby to nastąpiło, musi być on na tyle silny, że powoduje równocześnie intensywną dyspersję zanieczyszczeń i do czerpni trafia powietrze usuwane dobrze wymieszane z powietrzem świeżym, do tego stopnia, że nie obniża to skuteczności wentylacji komory testowej. Z uwagi na wysoki potencjał zastosowania badanych systemów wentylacji zdecentralizowanej w budynkach istniejących oraz z uwagi na raportowaną w licznych badaniach publikowanych w literaturze



międzynarodowej niską jakość powietrza w szkołach, przedszkolach i żłobkach, w artykule [5] przeanalizowano zastosowanie wspomnianych systemów w placówkach edukacyjnych. W efekcie badań przeprowadzonych dla centrali wentylacyjnej ze zintegrowaną czerpniowyrzutnią o wydajności dostosowanej do potrzeb wentylacyjnych typowych sal lekcyjnych, zarekomendowano stosowanie tego typu rekuperatorów w ramach modernizacji obiektów edukacyjnych w celu poprawy jakości powietrza wewnętrznego oraz **zwiększenia efektywności energetycznej systemu wentylacji**. Badania przedstawione w artykułach [5] i [6] wykazały bezpieczeństwo higieniczne stosowania omawianych systemów, a także istotny ich wpływ w zakresie zwiększania efektywności energetycznej systemu wentylacji, stanowiąc istotny wkład w rozwój i promocję systemów wentylacji o zwiększonej efektywności energetycznej.

W roku 2020 opublikowano artykuł [4] w renomowanym czasopiśmie **Energy and Buildings (IF = 5.879)**. Przedstawiono w nim metodologię badań oraz rozszerzono badania dotyczące pomiaru zaniku stężenia dwutlenku węgla w komorze testowej w wyniku działania jednorurowego rekuperatora ściennego z pojedynczym wentylatorem. Przeprowadzono również analizę energetyczną rocznej pracy urządzenia, wykazując, że jego zastosowanie jest nie tylko bezpieczne pod względem higienicznym, ale również może przynosić **znaczące oszczędności energii podnosząc efektywność energetyczną systemu wentylacji budynku**. Wyniki uzyskane podczas badań porównywano z obliczeniami rozcieńczania się zanieczyszczeń w komorze testowej wg równania zaniku zanieczyszczeń. Wykonano również obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię użytkową i nieodnawialną energię pierwotną, przedstawiające potencjał zmniejszenia energochłonności systemów wentylacji i ogrzewania dzięki zastosowaniu badanych urządzeń w budynkach modernizowanych. W krótkim czasie artykuł [4] został wielokrotnie zacytowany przez innych badaczy w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, co świadczy o wysokiej aktualności poruszanej tematyki oraz potrzebie prowadzenia badań w tym zakresie. Wyniki badań stały się podstawą do opracowania pisma skierowanego do Ministerstwa Infrastruktury z propozycją wzięcia pod uwagę możliwości zmiany zapisów prawa, które uniemożliwiają stosowanie tych urządzeń i skorzystanie z możliwości oszczędzania energii, które oferują.

**Stosowanie rekuperatorów ściennych zwiększa efektywność systemu wentylacji wg wyników analiz przedstawionych w artykule [4]. Ocena bezpieczeństwa higienicznego ich stosowania przedstawiona w pracach [4] i [5] może wpłynąć pozytywnie na popularność tego rozwiązania oraz zmianę warunków prawnych, które będą dopuszczać montowanie czerpniowyrzutni ściennych w elewacji budynków, umożliwiając odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego, a przez to sprzyjając wzrostowi efektywności energetycznej systemów wentylacji. W tym kontekście badania wnoszą istotny wkład w zakresie zwiększania efektywności energetycznej systemów wentylacji budynków.**

### **3) Panele ścienne grzewcze z rurkami ciepła (określenie efektywnego energetycznie sposobu regulacji ich wydajności) oraz panele sufitowe grzewczo-chłodzące o nowej konstrukcji (wzrost efektywności w stosunku do bazowej konstrukcji).**

Kolejną grupą urządzeń poddanych badaniom w Instytucie Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Poznańskiej są niskotemperaturowe systemy ogrzewania pomieszczeń. Zagadnienie jest o tyle istotne, że nowoczesne systemy grzewcze wyposażone w pompy ciepła powinny pracować jako niskotemperaturowe w celu maksymalizacji zysków oraz dla zapewnienia korzystnych warunków do efektywnego energetycznie ich działania. Wymusza to stosowanie niskiej temperatury zasilania grzejników. Niska temperatura powierzchni grzejnika wymusza z kolei zastosowanie większej powierzchni oddawania ciepła. Z tego powodu najczęściej stosuje się wówczas ogrzewanie płaszczyznowe: podłogowe lub



ścienne. Zwykle są to systemy zbudowane z węzownicy ułożonej na warstwie izolacji podłogi albo zlokalizowanej pod tynkiem w ścianie.

Innowacyjnym systemem ogrzewania płaszczyznowego ściennego są panele ścienne z rurkami ciepła. Stały się one przedmiotem mojego zainteresowania w ramach kontynuacji badań wybranych elementów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w kontekście wzrostu ich efektywności energetycznej. Są one zbudowane z kolektora, przez który przepływa woda grzejna oraz z rurek ciepła napełnionych czynnikiem chłodniczym o niskiej temperaturze parowania, połączonych wzajemnie siatką aluminiową, która ma zapewnić bardziej równomierne rozprowadzanie ciepła od rurek do pomieszczenia. Rurki ciepła są częściowo (w dolnej części) zanurzone w kolektorze wodnym i omywane przez przepływającą wodę grzejną. To powoduje odparowanie czynnika chłodniczego zawartego w rurkach ciepła i transfer energii z wody do pary czynnika w postaci gazowej, a w dalszej kolejności, do powierzchni panelu i później do pomieszczenia, podczas procesu skraplania się pary czynnika w wyniku jego ochładzania. Jest to jeden z wielu przykładów zastosowania rurek ciepła do przenoszenia ciepła bez mieszania się czynników wymieniających ciepło. Urządzenia te mogą być zabudowane wprost pod tynkiem lub pod płytą gipsowo-kartonową. Zaletą tego typu paneli jest rezygnacja z pętli wodnej w przestrzeni ściany na rzecz rurek ciepła, co zapewnia większą elastyczność w aranżacji pomieszczenia i montażu elementów naściennych takich jak np. obrazy czy półki. Woda grzejna nie przepływa przez długą pętlę, jak to się dzieje w przypadku typowych systemów ogrzewania podłogowego czy ściennego, co eliminuje koszty związane z pokonaniem oporów przepływu. Wyznaczanie mocy cieplnej, jak również sterowanie wydajnością paneli z rurkami ciepła nie mogą być realizowane za pomocą metod opracowanych dla systemów z pętlami wodnymi. **Fakt ten uznano jako istotną lukę w wiedzy, wymagającą przeprowadzenia badań eksperymentalnych w celu poznania charakterystyki cieplnej pracy urządzenia.** Producentem tego typu paneli jest w Polsce firma 3Thermo, z którą podjęto współpracę badawczą. W ramach współpracy z firmą 3Thermo, przeprowadzono badania wydajności cieplnej wybranej konstrukcji paneli ściennych z rurkami ciepła oraz przeanalizowano możliwość sterowania jego wydajnością poprzez zmianę strumienia masy wody grzewczej oraz zmianę jej temperatury. Badania eksperymentalne przeprowadzono w komorze klimatycznej dla zestawu trzech paneli. Badania wykazały, że wydajność paneli jest bardziej wrażliwa na zmiany temperatury niż na zmiany masowego natężenia przepływu wody zasilającej. Z tego powodu wydajność cieplną należy kontrolować poprzez zmianę temperatury wody zasilającej przy małych przepływach masowych w celu uzyskania niskiego zużycia energii przez pompy (zmniejszone straty ciśnienia) oraz zapewnienia dobrej jakości sterowania wydajnością paneli. Wyniki badań zaprezentowano w 2020 roku w artykule [7] opublikowanym w międzynarodowym czasopiśmie **Energies (IF = 3.004)**. Uzyskane wyniki oprócz wniosków natury praktycznej pozwoliły na sformułowanie dalszych kierunków badań, które są planowane do przeprowadzenia we współpracy z firmą 3Thermą w konsorcjum, w ramach projektu badawczego. Obecnie jestem w trakcie przygotowania formalnych aspektów tej współpracy i liczę na kontynuację badań w zespole badawczym, w który chciałbym włączyć również studentów i doktorantów, ponieważ dostrzegam potencjał badawczy, a wyznaczone kierunki dalszych badań obejmują szeroki zakres eksperymentów i analiz.

Nowością na rynku urządzeń grzewczo-chłodzących są również sufitowe aluminiowe panele grzewczo-chłodzące. Są one wyciskane z aluminium jako monolityczne. Wewnątrz tych paneli znajdują się kanały, przez które przepływa woda grzewcza lub chłodząca. Ich charakterystyki cieplne nie są w pełni rozpoznane. Jednym z producentów tego typu systemów jest firma Albatros Aluminium, z którą Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Poznańskiej podjął współpracę badawczą. W ramach tej współpracy zaprojektowano i wykonano prototypowy panel z rozwiniętą powierzchnią wymiany ciepła



(zwiększoną w stosunku do powierzchni płaskiej). Przeprowadzono badania eksperymentalne, które potwierdziły większą wydajność chłodniczą takich paneli o 26-55% w stosunku do panelu o powierzchni płaskiej. Opis stanowiska pomiarowego, wyniki badań jak i projekt innowacyjnego panelu o rozwiniętej powierzchni zaprezentowano w artykule [8] opublikowanym w międzynarodowym czasopiśmie **International Journal of Energy Research** w 2019 roku (IF = 3.741). Wyniki badań [8] wykorzystano do walidacji parametrycznego modelu wymiany ciepła między powierzchnią pofałdowaną, a pomieszczeniem. Pozytywnie zweryfikowano możliwość zastosowania tego modelu do matematycznego opisu procesu wymiany ciepła na drodze konwekcji. Parametry, którymi w modelu opisano geometrię pofałdowania powierzchni to długość i kąt pofałdowania. Zwalidowany model wykorzystano do poszukiwania najkorzystniejszego zestawu parametrów, skutkujących największą wydajnością chłodniczą przy tej samej powierzchni panelu zajmowanej w suficie chłodzonego pomieszczenia. Przeprowadzono wiele serii obliczeń, a wyniki opublikowano w recenzowanym czasopiśmie międzynarodowym **Thermal Science and Engineering Progress** (wydawca: Elsevier), w artykule [9] w roku 2019.

Bazując na wynikach przeprowadzonych badań dokonano w roku 2018 **zgłoszenia patentowego nr P.425848**, a w październiku 2020 roku uzyskano patent nr PL 235704 B1 pt. „*Wielopłaszczyznowy monolityczny panel grzewczo-chłodzący*”. Wyniki badań prowadzonych w latach 2016-2020 doprowadziły do powstania nowego typu panelu chłodzącego o polepszonej wydajności chłodniczej, tzn. zwiększonej efektywności energetycznej.

**Podsumowując, w artykułach [1]-[9] przedstawiono wyniki badań i analiz wybranych elementów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej**, sprzyjających zmniejszeniu zużycia energii oraz zwiększeniu stopnia wykorzystania energii odnawialnej. Badania i analizy były prowadzone w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej w latach 2015-2021 (do roku 2020, obecnie w Instytucie Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych). Badania prowadziłem albo samodzielnie, albo wchodząc w skład różnych, wieloosobowych zespołów. Podczas realizacji badań byłem zwykle odpowiedzialny za opracowanie koncepcji stanowisk pomiarowych, opomiarowanie stanowisk, prowadzenie badań doświadczalnych, a także interpretację wyników. Brałem udział w opracowaniu dyskusji wyników oraz formułowaniu wniosków, a także opracowywaniu kierunków dalszych badań. **Jestem również inicjatorem popularyzacji wyników badań w środowisku naukowym oraz wśród inżynierów branżystów** za pośrednictwem udziału w konferencjach naukowo-technicznych i technicznych oraz publikacji w czasopismach o charakterze naukowo-technicznym lub technicznym. Praca w różnych zespołach badawczych dostarczyła mi wiele nowych informacji i inspiracji związanych z wymianą wiedzy, opinii i doświadczeń. Cenię ją sobie ze względu na **możliwość podnoszenia kompetencji w zakresie pracy w zespole i kierowania zespołem badawczym**. Kilkakrotnie w ramach projektów związanych z badawczą działalnością statutową Instytutu, jak również w ramach współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym, pełniłem rolę kierownika zespołu.

W przyszłości planuję kontynuację dotychczas prowadzonych badań. Chciałbym je realizować w ramach własnego zespołu badawczego oraz we współpracy z otoczeniem gospodarczym. Moim celem jest również dalsza popularyzacja wiedzy i wyników badań, której efektem ma być zwiększenie wiedzy oraz świadomości możliwości stosowania energooszczędnych systemów ogrzewania i wentylacji budynków, zwiększania ich efektywności energetycznej, a także zwiększanie stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii do zaspokajania potrzeb energetycznych współczesnych budynków.



## Podsumowanie dorobku

Zaprezentowany cykl publikacji przedstawia zbiór 9 prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, dotyczących wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej. Mój wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka polega na:

- I. opracowaniu metody obliczeń cieplno-przepływowych rocznej pracy wielorurowych PRGWC, uwzględniającej dotychczas niebrany pod uwagę aspekt nierównomierności rozdziału powietrza pomiędzy poszczególne gałęzie wymiennika oraz harmonogram użytkowania systemu wentylacji, a także przedstawieniu uniwersalnej zależności między stopniem nierównomierności rozdziału powietrza określonym współczynnikiem  $\Omega$ , a procentową różnicą w wynikach obliczeń cieplnych pomiędzy wariantem zakładającym rzeczywisty i idealny rozdział powietrza,
- II. opracowaniu metodologii porównywania pod względem efektywności energetycznej jednorurowych i wielorurowych wymienników ciepła na zasadzie ekwiwalentności cieplnej, uwzględniającej roczne zyski oraz roczne koszty energetycznej ich pracy, jak również opracowaniu metody przeliczania strat ciśnienia w wymiennikach wielorurowych o krótkich gałęziach, uzyskanych na drodze badań doświadczalnych, na straty ciśnienia w wymiennikach o dłuższych gałęziach,
- III. współopracowaniu metodologii prowadzenia badań związanych z bezpieczeństwem higienicznym stosowania czepnio-wyrzutni ściennych w rekuperatorach ściennych, połączonej z krytyczną analizą stanu prawnego i ilościową oceną zysków związanych z ich stosowaniem w celu zwiększenia efektywności energetycznej systemu wentylacji, w szczególności w budynkach istniejących,
- IV. zaprojektowaniu i wykonaniu badań eksperymentalnych wydajności innowacyjnych ściennych paneli grzewczych z rurkami ciepła oraz określeniu efektywnego energetycznie sposobu sterowania ich wydajnością cieplną poprzez zmianę temperatury i/lub strumienia wody grzewczej,
- V. współprzeprowadzeniu badań eksperymentalnych oraz analiz obliczeniowych dotyczących możliwości zwiększenia wydajności cieplnej aluminiowych monolitycznych paneli grzewczo-chłodzących poprzez zmianę ich konstrukcji oraz współopracowaniu prototypowego wielopłaszczyznowego panelu grzewczo-chłodzącego, charakteryzującego się zwiększoną jednostkową wydajnością cieplną stosunku do panelu o podobnej konstrukcji, ale gładkiej powierzchni, w rezultacie czego współopracowano patent nr PL 235704 B1 pt. „*Wielopłaszczyznowy monolityczny panel grzewczo-chłodzący*”.

Analiza wybranych systemów ogrzewania i wentylacji budynków, mająca na celu wzrost ich efektywności energetycznej jest działaniem zgodnym z zasadami zrównoważonego rozwoju, minimalizującym ich oddziaływanie na środowisko. Przeprowadzone badania i analizy sprzyjają doskonaleniu procesu określania charakterystyki energetycznej budynków oraz poprawie efektywności energetycznej wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków.



## 5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

### a) Publikacje naukowe i naukowo-techniczne

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałem następujące współautorskie artykuły, dotyczące głównie gruntowych powietrznych wymienników ciepła:

- [10] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Badania eksperymentalne wpływu zmian sposobu zasilania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu rurowego na jego charakterystykę przepływową. Część 1 Równomierność rozprywu, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2010, 41 (6), 208-212,220,
- [11] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Badania eksperymentalne wpływu zmian sposobu zasilania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu rurowego na jego charakterystykę przepływową. Część 2 Straty ciśnienia, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2010, 41 (7-8), 263-266, 282,
- [12] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Straty ciśnienia w gruntowych powietrznych wielorurowych wymiennikach ciepła o kącie odejścia 45 stopni, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2010, 41 (12), 451-454,
- [13] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Wpływ oporu przewodzenia ciepła w gruncie oraz wykraplania wilgoci na obliczeniową ilość energii z gruntowego powietrznego wymiennika ciepła, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2012, 43 (1), 22-25,
- [14] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Experimental flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers, Foundation of Civil and Environmental Engineering, 2012, 15, 5-18,
- [15] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Ilościowy opis równomierności rozdziału powietrza w wielorurowych gruntowych wymiennikach ciepła, Rynek Instalacyjny 2014, 1-2, 70-73,
- [16] Amanowicz Ł., Jaskulska J., Projektowanie przyłączy wodnych i kanalizacyjnych w praktyce – aspekty formalno-prawne, Rynek Instalacyjny 2015, 4, 76-81.

Zestawienie danych nauko-metrycznych na temat publikacji naukowych i naukowo-technicznych opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora przedstawiono w Tabeli 2.

**Tabela 2.** Zestawienie danych nauko-metrycznych publikacji przed doktoratem

Poz.	Udział	IF	Punkty (całość)	Punkty (udział)	Cytowania			
					Scopus		Google Scholar	
					Łącznie	Bez autocyt.	Łącznie	Bez autocyt.
[10]	65%	-	6	3,9	-	-	13	7
[11]	65%	-	6	3,9	-	-	9	6
[12]	65%	-	6	3,9	-	-	3	3
[13]	65%	-	5	3,25	-	-	2	1
[14]	65%	-	4	2,6	-	-	5	0
[15]	65%	-	5	3,25	-	-	3	1
[16]	50%	-	6	3	-	-	0	0
<b>Suma</b>	-	-	<b>38,0</b>	<b>23,8</b>	-	-	<b>35</b>	<b>18</b>



Po uzyskaniu stopnia doktora:

Następujące artykuły zostały opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora, ale nie zostały włączone w cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Najwyżej punktowane publikacje zostały wyróżnione pogrubioną czcionką i przedstawiono ich dane nauko-metryczne:

- [17] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Wpływ właściwości cieplnych gruntu na wydajność powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC), Instal 2015, 10, 59-62,
- [18] Amanowicz Ł., Doświadczane charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016, ISBN 978-83-7775-411-5,
- [19] Wojtkowiak J., Amanowicz Ł., Badania wydajności cieplnej aluminiowego sufitowego panelu grzewczo-chłodzącego, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2016, 47 (10), 413-417,
- [20] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Wpływ nierówności rozdziału powietrza na wydajność cieplną wielorurowych gruntowych wymienników ciepła, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja 2017, 48 (12), 505-510,
- [21] Chmielewski K., Amanowicz Ł., Bezprzeponowe powietrzne gruntowe wymienniki ciepła w układach wentylacji mechanicznej, Rynek Instalacyjny 2017, 5, 76-80,
- [22] **Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Validation of CFD model for simulation of multi-pipe earth-to-air heat exchangers (EAHEs) flow performance, Thermal Science and Engineering Progress 2018, 5, 44-49, 20 pkt. (lista 2019), udział: 70%,**
- [23] **Amanowicz Ł., Influence of geometrical parameters on the flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers – experimental and CFD investigations, Applied Energy 2018, 226, 849-861, 45 pkt. (lista 2018) (200 pkt. wg listy 2019), udział: 100%,**
- [24] Szymański M., Amanowicz Ł., Ratajczak K., Górzeński R., Instalacje HVAC laboratoriów chemicznych – wyposażenie techniczne. Wentylacja ogólna, Rynek Instalacyjny 2015, 11, 59-66,
- [25] Szymański M., Amanowicz Ł., Ratajczak K., Górzeński R., Instalacje HVAC laboratoriów chemicznych – wyposażenie techniczne. Wentylacja technologiczna, Rynek Instalacyjny 2015, 12, 56-60,
- [26] Amanowicz Ł., Szymański M., Górzeński R., Wentylacja – ważny element w kontekście energooszczędności laboratoriów, Laboratorium – Przegląd Ogólnopolski 2016, 9-10, 49-55,
- [27] Amanowicz Ł., Filipiak M., Ratajczak K., Weryfikacja skuteczności działania dygestoriów laboratoryjnych w świetle normy PN-EN 14175, Instal 2017, 1, 39-44,
- [28] Amanowicz Ł., Szymański M., Górzeński R., Systemy wentylacji laboratoriów – wymagania projektowe, studium przypadku, Laboratorium – Przegląd Ogólnopolski 2017, 3-4, 14-18,
- [29] Amanowicz Ł., Filipiak M., Ratajczak K., Badania odbiorowe instalacji wentylacyjnej w laboratorium z dygestoriami wg normy PN-EN 14175, Instal 2017, 3, 34-40,



- [30] Amanowicz Ł., Szczechowiak E., Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 2017, 48 (2), 72-78,
- [31] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Szczechowiak E., Stosowanie rekuperatorów ściennych w budynkach nowych i modernizowanych ciepłnie w świetle aktualnych wymagań prawnych, *Rynek Instalacyjny* 2019, 11, 58-62,
- [32] **Ratajczak K., Michalak K., Narojczyk M., Amanowicz Ł., Real Domestic Hot Water Consumption in Residential Buildings and Its Impact on Buildings' Energy Performance – Case Study in Poland, *Energies* 2021, 14, 5010, 140 pkt. (lista 2019),**
- [33] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Praktyczne aspekty projektowania energooszczędnych systemów wentylacyjnych, *Rynek Instalacyjny* 2021, 6, 42-48,
- [34] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Stosowanie odzysku ciepła, OZE oraz zdecentralizowanych systemów wentylacyjnych w kontekście wymagań WT 2021, *Rynek Instalacyjny* 2021, 7-8, 46-51,
- [35] **Hussain L., Khan M.M., Masud M., Ahmed F., Rehman Z., Amanowicz Ł., Rajski K., Heat Transfer Augmentation through Different Jet Impingement Techniques: A State-of-the-Art Review. *Energies* 2021, 14, 6458, 140 pkt. (lista 2019), udział: 14%,**
- [36] Bandurski K., Ratajczak K., Amanowicz Ł., Transformacja energetyczna, a Metodologia sporządzania charakterystyki energetycznej..., *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 2021, 52 (10), 20-26,
- [37] Bandurski K., Ratajczak K., Amanowicz Ł., Różnica między obliczeniowym i pomiarowym wykorzystaniem energii do ogrzewania w budynkach wielorodzinnych, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 2021, 52 (12), 12-16,
- [38] **Amanowicz Ł., Peak Power of Heat Source for Domestic Hot Water Preparation (DHW) for Residential Estate in Poland as a Representative Case Study for the Climate of Central Europe, *Energies* 2021, 14, 8047, 140 pkt. (lista 2019), udział: 100%.**

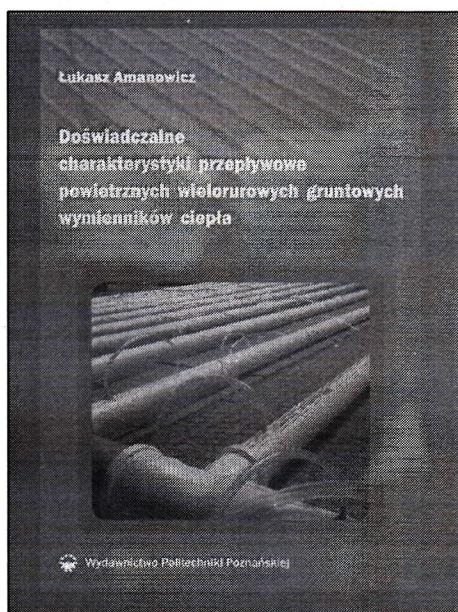
**Krótką charakterystyką artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, które nie wchodzi w skład osiągnięcia przedstawionego w punkcie 4 autoreferatu.**

Kontynuując prace badawczą w zakresie powietrznych gruntowych wymienników ciepła, w artykule [17] z 2015 roku przeanalizowano wpływ właściwości cieplnych gruntu na wydajność gruntowych powietrznych rurowych wymienników ciepła. Pomimo, że tematyka wydajności cieplnej tego typu systemów jest dość popularna w literaturze, to w artykule dokonano nietypowej, pogłębionej analizy wpływu poszczególnych parametrów termofizycznych gruntu, biorąc pod uwagę czynniki, które są zwykle pomijane w innych opracowaniach, np. rodzaj pokrycia terenu czy szeroki zakres prędkości przepływu powietrza oraz uwzględniono wpływ długości rur na wnioski odnośnie znaczenia rodzaju gruntu dla wydajności wymiennika. Zwykle analizy wpływu rodzaju gruntu na wydajność PRGWC są wykonywane dla pojedynczej, stałej geometrii wymiennika oraz nominalnego strumienia przepływającego powietrza i dlatego prezentowane w nich wnioski nie mają charakteru uniwersalnego – bazują na analizie pojedynczego przypadku (case study), dla którego są one ważne. W artykule opisano niejednoznaczny wpływ przewodności cieplnej gruntu na wydajność PRGWC. Można w nim przeczytać m.in.: „*Wykazano, że wbrew obiegowym opiniom tendencja zmian wydajności PRGWC ze zmianą przewodności cieplnej gruntu nie jest*



*jednoznaczna – w zależności od długości rur wymiennika, strumienia powietrza i rodzaju pokrycia terenu efekt może być dodatni lub ujemny. Przyczyną jest istnienie dwóch przeciwstawnych mechanizmów wpływu przewodności cieplnej gruntu na wydajność wymiennika. Z jednej strony rosnąca wartość przewodności cieplnej powoduje intensyfikację wymiany ciepła pomiędzy gruntem, a przepływającym w rurach wymiennika powietrzem (na skutek zmniejszenia oporu przejmowania ciepła po stronie gruntu), z drugiej strony powoduje wzrost dyfuzyjności cieplnej gruntu i zmianę przebiegu jego temperatury, sprzyjając zmniejszonemu uzyskowi ciepła i chłodu w rocznym cyklu pracy wymiennika (obniżenie temperatury gruntu zimą i podwyższenie latem)”. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały brak jednoznacznej reguły rządzącej zależnością wydajności PRGWC od przewodności cieplnej gruntu. Tym samym badania te sprzyjają zwiększeniu efektywności energetycznej systemu wentylacji poprzez bardziej wiarygodną ocenę wydajności gruntowego wymiennika ciepła.*

W 2015 roku brałem udział w badaniach odbiorowych systemu wentylacji dygestoriów w laboratoriach chemicznych budynku Centrum Dydaktycznego Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. W ramach pracy w zespole wieloosobowym opracowaliśmy metodologię pomiarów opartą na badaniach opisanych w normie PN-EN 14175. W wyniku tych prac zespół opracował cykl sześciu artykułów ([24]-[29]), w których opisano stosowaną metodykę pomiarów, omówiono specyfikę systemów wentylacji laboratoriów chemicznych oraz przykładowe zapisy przetargowe, które mogą być przydatne dla praktyków, którzy chcieliby zapewnić swoim inwestycjom prawidłowe warunki wykonania i odbioru tego typu instalacji.



W roku 2016 opublikowałem część wyników badań z rozprawy doktorskiej, w ramach monografii [18] pt. „Doświadczalne charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła”, która została wydana przez Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. W książce szczegółowo opisałem metodykę badań oraz wyniki eksperymentów, polegających na wyznaczeniu strat ciśnienia w funkcji strumienia powietrza przepływającego przez wymiennik oraz wartości strumieni objętości powietrza przepływających przez każdą z gałęzi wymiennika. Szczególnie przydatną z praktycznego punktu widzenia częścią pracy jest rozdział prezentujący uogólnione wyniki badań oraz wytyczne do projektowania wielorurowych PRGWC. Książka, pomimo wąskiej i specjalistycznej treści, w roku 2018 doczekała się wznowienia z uwagi na wyczerpanie pierwszego nakładu.

W kolejnych latach pracowałem nad popularyzacją pozostałych wyników badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej za pośrednictwem artykułów w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Pierwszą taką publikacją był artykuł [22] dotyczący walidacji modelu numerycznego, wykorzystywanego do przeprowadzenia badań i analiz wpływu parametrów geometrycznych gruntowych powietrznych wielorurowych wymienników ciepła na ich charakterystyki przepływowe, który ukazał się w czasopiśmie **Thermal Science and Engineering Progress (20 pkt. wg listy z 2019 roku, wydawca: Elsevier)**. W tym samym roku opublikowałem artykuł [23] bazujący na wynikach badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej. Ukazał się on w czasopiśmie **Applied Energy (IF 8.426, 45 pkt. wg listy z 2018 roku, 200 pkt. wg listy z 2019 roku, wydawca: Elsevier)**. Oba



artykuły zostały szybko zauważone i wielokrotnie zacytowane przez międzynarodowe środowisko naukowe. Do dnia złożenia niniejszego autoreferatu artykuł [22] **był cytowany w czasopismach międzynarodowych 35 razy (wg bazy Scopus)** w tym **27 razy** bez uwzględniania autocytowań, a artykuł [23] **był cytowany w czasopismach międzynarodowych 43 razy (wg bazy Scopus)** w tym **37 razy** bez uwzględniania autocytowań. Warto podkreślić, że artykuł [23] w pierwszym roku został zacytowany 20 razy, co **dwukrotnie przewyższyło średnią liczbę cytowań artykułów w czasopiśmie Applied Energy z tego okresu**. Inne prace w zakresie badań i analiz powietrznych gruntowych wymienników ciepła, które opublikowałem w czasopismach krajowych w okresie po obronie pracy doktorskiej to artykuły [20] i [21].

W latach 2015-2018 współpracowałem z firmą Albatros Aluminium. Przeprowadzono wówczas badania, mające na celu eksperymentalne wyznaczenie mocy grzewczej i chłodniczej monolitycznych paneli aluminiowych zasilanych wodą. W artykule [19] opublikowano wyniki badań nad wydajnością wybranego typu panelu aluminiowego. Wyniki pokazały, że z uwagi na niską emisyjność półmatowej, surowej powierzchni aluminiowej, wydajność cieplna tego typu paneli jest relatywnie niska i przy temperaturze wody zasilającej 39°C nie przekracza 40 W/m<sup>2</sup>. Niska wydajność sprawia, że systemy te są nieefektywne energetycznie i ekonomicznie. Posiadają jednak potencjał zaspokojenia potrzeb grzewczych budynków niskoenergetycznych, jak również wspomagania chłodzenia pomieszczeń latem, co czyni je atrakcyjnymi do zastosowania w tego typu budynkach. W celu uzyskania wyższych wydajności poprzez zintensyfikowanie wymiany ciepła pomiędzy panelem, a pomieszczeniem na drodze promieniowania, pomalowano panele farbą o znanej emisyjności i powtórzono badania eksperymentalne, których wyniki zaprezentowano podczas konferencji EKO-DOK w roku 2018 [49]. Wzrost emisyjności powierzchni skutkowało znaczącym wzrostem wydajności cieplnej paneli, co stało się motywacją do dalszej pracy badawczej, mającej na celu poprawę charakterystyk cieplnych urządzenia.

Zmiany proporcji w zapotrzebowaniu na energię na cele ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej związane z podwyższonym standardem energooszczędności budynków sprawiły, że w budownictwie mieszkaniowym mogą dominować potrzeby związane z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej. Stało się to przyczyną do podjęcia analizy na temat rozbieżności między rzeczywistym, a obliczeniowym rocznym zużyciem energii na cele c.w.u., zaprezentowanej w artykule [32], a także przyczyną do przeanalizowania zmian w zakresie szczytowej mocy źródła ciepła, co przedstawiono w artykule [38]. Wyniki przeprowadzonych analiz pokazały, że obliczeniowe roczne zapotrzebowanie na energię na cele podgrzewu c.w.u. jest większe niż rzeczywiste zużycie energii na ten cel, zmierzone dla przykładowych budynków jednorodzinnych poddanych analizie. Z przeprowadzonych badań wynika, że obecnie konieczna jest dokładna analiza instalacji ciepłej wody użytkowej, gdyż element ten może decydować o doborze mocy szczytowej źródła ciepła. Jest to szczególnie ważne w przypadku korzystania z odnawialnych źródeł energii (OZE), gdy koszt zakupu jednostek przewymiarowanych może zniechęcić do korzystania z OZE. Wyniki badań wskazują, że zmniejszenie mocy szczytowej źródła powinno być osiągnięte poprzez zastosowanie układów akumulacyjnych z zasobnikami ciepłej wody użytkowej, co skutkuje akceptowalną mocą szczytową przygotowania c.w.u. w porównaniu z mocą potrzebną do ogrzewania i wentylacji.

W ramach współpracy międzynarodowej, w roku 2021 opublikowano przegląd literatury w zakresie intensyfikacji wymiany ciepła w strugach uderzających [35]. W artykule dokonano przeglądu różnych badań doświadczalnych i numerycznych. Dokonano przeglądu wpływu kształtu powierzchni uderzanej, odległości między dyszą, a powierzchnią, kształtu dyszy,



zastosowania nanopłynów oraz wykorzystania materiałów zmiennofazowych (PCM) na intensywność wymiany ciepła w różnych zastosowaniach przemysłowych.

W 2017 roku, wspólnie z **prof. dr hab. inż. Edwardem Szczechowiakiem**, opisałem w artykule [30] autorski zbiór zasad projektowania systemów wentylacji w budynkach energooszczędnych, stanowiący praktyczny zestaw wytycznych, którymi powinno się kierować podczas procesu projektowania. Zwróciliśmy w nim uwagę na zwykle pomijane aspekty, dotyczące samej konstrukcji budynku, a w szczególności pojemności cieplnej przegród budowlanych i szczelności powietrznej budynku. Na przykładach obliczeniowych dla kilku typów budynków wykazaliśmy, że rodzaj wentylacji (naturalna / mechaniczna) w znaczący sposób wpływa na roczne zużycie energii. Tym samym wykazaliśmy, że tematyka efektywności systemów wentylacyjnych jest istotna i zasługuje na szczególną uwagę podczas projektowania budynków. W zaleceniach projektowych podkreśliliśmy m.in. znaczenie właściwego doboru strumienia powietrza, sugerując dobór wynikający ze względów higienicznych. Jednocześnie przedstawiliśmy systemy chłodzenia i ogrzewania powietrznego jako nieefektywne energetycznie w porównaniu z systemami wodnymi. Uznaliśmy za niekorzystne z energetycznego punktu widzenia zwiększanie strumienia powietrza wentylacyjnego ponad wartości wynikające z kryterium higienicznego tylko po to, aby uzyskać wyższe moce grzewcze lub chłodnicze. Zwróciliśmy również uwagę na konieczność stosowania systemów wentylacji kontrolowanej. Uznaliśmy, że najkorzystniej by było, gdyby była ona sterowana w funkcji aktualnego zapotrzebowania danego pomieszczenia. Wyraziliśmy opinię, że w miarę możliwości powinno się stosować systemy wentylacji zdecentralizowanej, dopasowanej do specyficznych potrzeb małej grupy użytkowników. Przywołaliśmy zalety stosowania systemów odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego, których stosowanie jest zapisane w wymaganiach tzw. „*Ekoprojektu*” dla systemów wentylacyjnych. Jedno z zaleceń zakładało również wykorzystywanie do celów grzania/chłodzenia odnawialnych źródeł energii, np. poprzez stosowanie pomp ciepła czy gruntowych powietrznych wymienników ciepła. **Omawiany artykuł łączy się treścią z większością artykułów zaprezentowanych jako cykl publikacji, stanowiących osiągnięcie, będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.** Punktami wspólnymi tych artykułów są np.: (i) postulat holistycznego spojrzenia na proces projektowania (tzw. projektowanie zintegrowane), (ii) konieczność zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w zaspokajaniu potrzeb energetycznych budynków, (iii) podkreślenie roli użytkownika oraz pracy systemów HVAC w zmiennych warunkach obciążenia, (iv) konieczność szybkiego i komfortowego dopasowania się systemów ogrzewania i wentylacji do aktualnych, chwilowych potrzeb użytkowników. Bazując na wytycznych opisanych w artykule [30] dotyczących zaleceń do projektowania energooszczędnych systemów wentylacji, w 2021 roku opracowane zostały artykuły [33] i [34], będące jego rozwinięciem. Poruszono w nich kwestie wytycznych do projektowania systemów wentylacji w budynkach energooszczędnych w kontekście zmian w wymaganiach prawnych, które w 2021 roku wprowadziła aktualizacja Rozporządzenia WT2021 (*Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*). Osiągnięciem tych prac jest poszerzenie dotychczasowych wytycznych o obliczeniową analizę szczelności powietrznej budynków o różnych wartościach współczynnika przenikania ciepła U przegród budowlanych. Analiza wykazała, że w przypadku współczesnych budynków, które są dobrze zaizolowane (niska wartość współczynnika U), szczelność powietrzna bardzo istotnie wpływa na roczne zapotrzebowanie na energię użytkową. W pracach skomentowano również znaczenie zmian w wymaganiach prawnych dla wyboru systemów ogrzewania i wentylacji budynków. W szczególności wskazano na brak wystarczającej motywacji do stosowania efektywnych systemów wentylacji w kontekście dominującego wpływu wyboru źródła energii na wartość wskaźnika EP. Z kolei w artykułach [36] i [37] poddano dyskusji potrzebę rewizji „*Metodologii*



sporządzania charakterystyki energetycznej” oraz porównano wyniki obliczeniowego i rzeczywistego zużycia energii przez budynki. We wnioskach odniesiono się do poprzednich prac [30], [33] i [34] w kontekście zmian prawnych, wpływających na wybór i projektowanie systemów HVAC.

Zestawienie danych nauko-metrycznych publikacji naukowych i naukowo-technicznych opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, które nie wchodzi w skład cyklu, przedstawiono w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Zestawienie danych nauko-metrycznych publikacji po doktoracie, które nie wchodzi w skład cyklu

Poz.	Udział	IF	Punkty (całość)	Punkty (udział)	Cytowania			
					Scopus		Google Scholar	
					Łącznie	Bez autocyt.	Łącznie	Bez autocyt.
[17]	70%		7	4,9	-	-	4	3
[18]	100%		25	25	-	-	0	0
[19]	50%		10	5	-	-	6	3
[20]	70%		10	7	-	-	5	1
[21]	50%		6	3	-	-	10	3
[22]	70%		20	14	35	27	48	39
[23]	100%	8.426	45 (200 *)	45 (200 *)	43	37	29	25
[24]	25%		6	1,5	-	-	9	5
[25]	25%		6	1,5	-	-	4	2
[26]	33%		2	0,7	-	-	3	2
[27]	33%		7	2,3	-	-	3	1
[28]	33%		2	0,7	-	-	1	0
[29]	33%		7	2,3	-	-	2	0
[30]	50%		10	5	-	-	17	7
[31]	33%		5	1,7	-	-	5	3
[32]	20%	3.004	140	28	2	0	2	0
[33]	70%		5	3,5	-	-	2	1
[34]	70%		5	3,5	-	-	1	1
[35]	14%	3.004	140	19,6	2	2	2	2
[36]	33%		20	6,6	-	-	1	1
[37]	33%		20	6,6	-	-	0	0
[38]	100%	3.004	140	140	0	0	0	0
<b>Suma</b>	-	<b>17.438</b>	<b>638</b>	<b>327,4</b>	<b>82</b>	<b>66</b>	<b>154</b>	<b>99</b>
			<b>(793*)</b>	<b>(482,4*)</b>				

\*) Z powodu zmiany skali w punktacji ministerialnej, dla artykułu [23] przyjęto punktację wg listy z 2019 r. tzn. 200 pkt. zamiast 45 pkt. jak wg listy z roku 2018



**b) Aktywność podczas konferencji krajowych i zagranicznych**Przed uzyskaniem stopnia doktora:

- [39] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Experimental investigation of main pipes diameter influence on earth-to-air multi pipe heat exchangers flow characteristics, 11<sup>th</sup> REHVA world Congress CLIMA 2013, Prague, 16-19.06.2013.
- [40] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Wpływ parametrów gruntu na wydajność powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC), XIV International Conference Air, Heat & Energy 2014, 26-29.06.2014, materiały konferencyjne, 331-336
- [41] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Multi-pipe earth-to-air heat exchanger (EAHE) geometry influence on the specific fan power (SFP) and fan energy demand in mechanical ventilation systems, Proceedings, 279-286, 35<sup>th</sup> AIVC Conference, Ventilation and airtightness in transforming the building stock to high performance, 24-25.09.2014, Poznań.
- [42] Amanowicz Ł., Górka A., Szymański M., Górzeński R., Pomiar szczelności dużych budynków na przykładzie Term Maltańskich I Ogólnopolska Konferencja Air-Tight – szczelność powietrza budynków, Poznań, 23 kwietnia 2015.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

- [43] Amanowicz Ł., Szymański M., Górzeński R., Systemy wentylacji i klimatyzacji w laboratoriach, Konferencja Perspektywy rozwoju laboratoriów badawczych, Wrocław, 10-11 marca 2016,
- [44] Biedroń J., Cybulski D., Pirańska K., Urbańska S., Amanowicz Ł., Badania doświadczalne modeli wymienników ciepła typu woda-woda, III Ogólnopolska Studencka Konferencja Budowlana Budmika 2016, Politechnika Poznańska, Poznań 20-22 kwietnia 2016, ISBN 978-83-89333-67-4,
- [45] Amanowicz Ł., Szczechowiak E., Rozwiązania energooszczędne w instalacjach wentylacji i klimatyzacji, Konferencja Wielkopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa podczas targów Instalacje 2016, Międzynarodowe Targi Poznańskie, Poznań, 25 kwietnia 2016,
- [46] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Effect of connection angle between main and parallel pipes in multi-pipe earth-to-air heat exchangers (EAHE) on the total pressure losses, Heiselberg, P. K. (Ed.), CLIMA 2016 – proceedings of the 12<sup>th</sup> REHVA World Congress: volume 3, Aalborg 22-25.05.2016,
- [47] Amanowicz Ł., Gruntowe powietrzne rurowe wymienniki ciepła – efektywność w układach wentylacyjnych, Wiosenna Szkoła Fizyki Budowli i Środowiska, Świeradów Zdrój, 10-12 maja 2017,
- [48] Amanowicz Ł., Efektywność energetyczna powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła, a ich charakterystyki przepływowe, Forum Wentylacja (konferencja Stowarzyszenia Polska Wentylacja), Warszawa, 27-28.02.2018,
- [49] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Experimental investigations of thermal performance improvement of aluminum ceiling panel for heating and cooling by covering its surface with paint, E3S Web of Conferences 2018, vol. 44, s. 00002-1-00002-8 (konferencja EKO-DOK 2018, 16-18 kwietnia 2018 Polanica-Zdrój),



- [50] Wojtkowiak J., Amanowicz Ł., A method of cooling capacity enhancement of ceiling panel, E3S Web of Conferences 2019, vol. 116, s. 00099-1-00099-6 (konferencja międzynarodowa ASEE 2019, 9-12.06.2019 Wrocław),
- [51] Amanowicz Ł., Stosowanie rekuperatorów ściennych w świetle obowiązujących wymagań, Forum Wentylacja (konferencja Stowarzyszenia Polska Wentylacja), Warszawa, 3-4.03.2020.

### c) Kierowanie i udział w projektach badawczych

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Od początku pracy w Politechnice Poznańskiej moje zainteresowania naukowe skupiały się wokół badań eksperymentalnych, mających na celu wyznaczenie charakterystyk cieplno-przepływowych elementów systemów ogrzewania wentylacji i klimatyzacji (HVAC), a także wokół symulacji numerycznych cieplno-przepływowych:

- **2011-2012 – wykonawca w granicze Narodowego Centrum Nauki NCN pt. „Optymalizacja rurowych wymienników ciepła typu grunt-powietrze (RWCG-P)”, nr N N523 738 340, kierownik: prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak.** Grant dotyczył gruntowych powietrznych rurowych wymienników ciepła.

Równolegle w latach **2011-2015**, realizowałem jako kierownik uczelniane projekty badawcze stymulujące rozwój młodej kadry w ramach tzw. działalności statutowej oznaczone wg wewnętrznej nomenklatury symbolami „DS-MK”:

- **2011 – kierownik** DSMK 13-723/2011, „*Wpływ parametrów konstrukcyjno-operacyjnych na efektywność powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (RPGWC)*”,
- **2012 – kierownik** DSMK 13-723/2012, „*Wpływ parametrów konstrukcyjno-operacyjnych na efektywność powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (RPGWC)*”,
- **2013 – kierownik** DSMK 13-735/13 i DSMK 13-751/13, „*Modelowanie i symulacja systemów HVAC i ich elementów*”,
- **2014 – kierownik** 01/13/DSMK/0778, „*Symulacje numeryczne gruntowych powietrznych wielorurowych wymienników ciepła*”.

Brałem również udział w uczelnianych projektach badawczych realizowanych w ramach działalności statutowej **jako wykonawca**:

- **2011 – wykonawca** DSPB 13-474/11, „*Badania i doskonalenie procesów użytkowania energii i urządzeń w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Halina Koczyk**,
- **2014 – wykonawca** 01/13/DSPB/0742 i 01/13/DSPB/0759, „*Badania i doskonalenie procesów użytkowania energii i urządzeń w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Halina Koczyk**, zadanie: „*Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne zjawisk cieplno-przepływowych w urządzeniach i systemach technicznego wyposażenia budynków energooszczędnych*”, kierownik zadania: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**.

#### Po uzyskaniu stopnia doktora:

W latach 2015-2021 brałem udział w następujących projektach badawczych finansowanych ze środków zewnętrznych:

- **2015-2018 – wykonawca** w projekcie „*Analiza teoretyczna i badania doświadczalne parametrów cieplno-przepływowych innowacyjnego panelu grzewczo-chłodzącego oraz projekt panelu wielofunkcyjnego*”, realizowanym w ramach Programu Operacyjnego



Inteligentny Rozwój „Bony na innowacje dla MŚP” w konsorcjum: Politechnika Poznańska – Albatros Aluminium, kierownik: **prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**.

- **2018 – wykonawca** w projekcie „Badania Modułowej Pompy Ciepła (MPC)” realizowanym w ramach Poddziałania 2.3.2 „Bony na innowacje dla MŚP”, Działania 2.3 Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020 we współpracy z firmą ISSYSTEM, kierownik: **dr inż. Michał Szymański**.

W latach 2015-2021 realizowałem badania statutowe **jako kierownik lub wykonawca** następujących projektów wewnętrznych Politechniki Poznańskiej:

- **2015 – kierownik** 01/13/DSMK/0803, „*Numeryczne charakterystyki przepływowe gruntowych powietrznych wielorurowych wymienników ciepła: cz. I wpływ długości gałęzi*”,
- **2016 – kierownik** 01/13/DSMK/0835, „*Modelowanie i symulacje systemów HVAC i ich elementów*”,
- **2017 – wykonawca** 01/13/DSMK/0862, „*Analiza wybranych parametrów wpływających na zużycie energii w systemie HVAC*”, kierownik: **dr inż. Katarzyna Ratajczak**,
- **2017 – wykonawca** 01/13/DSPB/0831 i 01/13/DSPB/0855, „*Badania i doskonalenie procesów użytkowania energii i urządzeń w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Halina Koczyk**, zadanie: „*Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne zjawisk cieplno-przepływowych w urządzeniach i systemach technicznego wyposażenia budynków energooszczędnych*”, kierownik zadania: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **2018 – kierownik** 01/13/DSMK/0885, „*Efektywność systemów HVAC i ich elementów*”,
- **2018 – wykonawca** 01/13/DSPB/0889 i 01/13/DSPB/0855, „*Badania i doskonalenie procesów użytkowania energii i urządzeń w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Halina Koczyk**, zadanie: „*Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne zjawisk cieplno-przepływowych w urządzeniach i systemach technicznego wyposażenia budynków energooszczędnych*”, kierownik zadania: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **2019 – wykonawca** 01/13/SBAD/0915, „*Wpływ rozwiązań energooszczędnych w budownictwie na zużycie energii i komfortu użytkowników*”, kierownik: **dr inż. Katarzyna Ratajczak**,
- **2019 – wykonawca** 01/13/SBAD/0911, „*Badania i doskonalenie procesów użytkowania energii i urządzeń w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Halina Koczyk**, zadanie: „*Modelowanie numeryczne i badania doświadczalne zjawisk cieplno-przepływowych w urządzeniach i systemach technicznego wyposażenia budynków energooszczędnych*”, kierownik zadania: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **2020-2021 – kierownik** 504101/0713/SBAD/0935, „*Analiza wybranych systemów HVAC (ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji) w kontekście zużycia energii w budownictwie*”,
- **2020-2021 – wykonawca** 504101/0713/SBAD/0940, „*Doskonalenie urządzeń i systemów wykorzystujących energię odnawialną w budynkach*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **2021-2022 – wykonawca** 504101/0713/SBAD/0947, „*Analiza wybranych procesów inżynierii środowiska*”, kierownik: **dr inż. Jędrzej Bylka**,
- **2021-2022 – wykonawca** 504101/0713/SBAD/0948, „*Doskonalenie metod, urządzeń i systemów inżynierii środowiska na rzecz zrównoważonego rozwoju*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,



- **2022 – wykonawca** 504101/0713/SBAD/0958, „*Innowacyjne technologie, urządzenia i systemy inżynierii środowiska uwzględniające zasady gospodarki o obiegu zamkniętym*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **2022 – wykonawca** 504101/0713/SABD/0957, „*Analiza metod projektowania i eksploatacji układów w inżynierii środowiska*”, kierownik: **dr inż. Jędrzej Bylka**.

#### d) Współpraca krajowa i zagraniczna, aktywność w innych ośrodkach

##### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

W roku 2013 w okresie 10.09-18.09 odbyłem wyjazd studyjny do Univesite de Liege w miejscowości Arlon (Belgia) w ramach programu Erasmus „*Staff training mobility*”. Podczas pobytu w jednostce: „*Monitorowanie i symulacja energii budynku (BEMS)*” (Arlon Campus Environment), której kierownikiem był Prof. Philippe Andre, wziąłem udział w kursie obsługi oprogramowania TRNSYS, służącego m.in. do zaawansowanych symulacji energetycznych budynków. W ramach pobytu prezentowałem własną działalność naukową oraz działalność badawczą Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej w celu nawiązania długoterminowej współpracy międzynarodowej przy realizacji wspólnych projektów. Podczas wyjazdu miałem również możliwość odwiedzić laboratoria badawcze i zapoznać się z zakresem badań prowadzonych przez jednostkę, w której odbywałem staż.

**2014.10-2015.12** – praca w zespole eksperckim działającym przy **Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Poznaniu** w ramach programu Unii Europejskiej pt. “*System Weryfikacji Technologii Środowiskowych ETV (ang. Environmental Technology Verification)*”. Ekspert przy ocenie wniosków w zakresie „*IETV 3: technologie energetyczne - produkcja energii elektrycznej i ciepłej z odnawialnych źródeł: 1. Biomasy, 2. Słońca; kolektory, akumulatory, ogniwa, fotowoltaiczne, 3. Wiatru; siłownie wiatrowe, 4. Wody; elektrownie, i turbiny, 5. Ziemi; pompy ciepła, wymienniki gruntowe, rekuperatory*”.

##### Po uzyskaniu stopnia doktora:

W roku 2019 współorganizowałem warsztaty pt. „*Energooszczędne rozwiązania przy projektowaniu i eksploatacji instalacji HVAC*” w dniu 3.10.2019, które były efektem współpracy naukowej między uczelniami w zespole: dr hab. inż. Tomasz Cholewa (**Politechnika Lubelska**), mgr inż. Grzegorz Ojczyk (firma Herz), dr inż. Zenon Spik (**Politechnika Warszawska**) oraz dr inż. Sylwia Szczeńsiak (**Politechnika Wroclawska**). Warsztaty zostały przeprowadzone w ramach wydarzenia PziTS pt. „*Warsztaty pracy projektanta i rzeczoznawcy instalacji i sieci sanitarnych*”, **Warszawa, 3-4.10.2019**.

W roku 2020 uzyskałem zgodę oraz finansowanie na pięciodniowy wyjazd studyjny do **Delft University of Technology, Sanitary Engineering w Holandii w ramach programu ERASMUS+**. Celem wyjazdu był udział w szkoleniu podnoszącym kwalifikacje związane z charakterem pracy wykonywanej w uczelni macierzystej (udział w seminarium, warsztatach z elementami szkolenia, wizyta typu work shadowing), a także pozyskanie wiedzy z zakresu mechaniki płynów oraz technologii basenowych i metod badawczych stosowanych za granicą. W ramach pobytu zaplanowano:

1. Wizytę w laboratoriach TU Delft, pracujących nad systemami uzdatniania wody basenowej oraz w zakresie mechaniki płynów.
2. Zapoznanie się z technikami badawczymi (m. in. oznaczenia substancji organicznych wprowadzanych do basenów) stosowanymi TU Delft.
3. Zapoznanie się z technikami kształcenia i sposobami realizacji zajęć laboratoryjnych.



4. Przegląd badań prowadzonych przez Uniwersytet z zakresu inżynierii środowiska.
5. Wizyty mające na celu zapoznanie się z technologią basenową stosowaną w Holandii.
6. Dyskusje na temat współpracy.

Z powodu pandemii COVID-19 wstrzymano wyjazdy zagraniczne pracowników Politechniki Poznańskiej. Wyjazd jest planowany na **drugą połowę czerwca 2022**, po wznowieniu przez uczelnię realizacji wyjazdów w ramach programu ERASMUS+.

**W roku 2021** w wyniku współpracy międzynarodowej opublikowano przegląd literatury w zakresie intensyfikacji wymiany ciepła w strugach uderzających: [35] **Hussain L., Khan M.M., Masud M., Ahmed F., Rehman Z., Amanowicz Ł., Rajski K., Heat Transfer Augmentation through Different Jet Impingement Techniques: A State-of-the-Art Review. Energies 2021, 14, 6458 (IF = 3.004, 140 pkt., lista 2019)**. W kolejnych latach liczę na podtrzymanie współpracy w zakresie badawczym i publikacyjnym.

**2021-obecnie – współpracuję z Międzynarodową Agencją Energii w ramach projektu „IEA EBC – Annex 79 – Occupant-Centric Building Design and Operation”**, który ma na celu poprawę jakości modelowania zachowania użytkowników w budynkach, realistyczne odzwierciedlenie ich wpływu na zużycie energii przez budynek oraz transfer wiedzy na ten temat do społeczności praktyków. Tematyka ta jest bardzo istotna z punktu widzenia zwiększania efektywności energetycznej budynków, ponieważ wraz ze wzrostem izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych oraz stosowaniem wysokoefektywnych systemów HVAC oraz elektrycznych, wpływ użytkowników na zużycie energii przez budynek wzrósł, co wykazały wyniki poprzednich projektów realizowanych przez Europejską Agencję Energii. W ramach „Annex 79” wspólnie z **dr inż. Karolem Bandurskim**, koordynujemy tłumaczenie i modyfikacje polskiej wersji międzynarodowej ankiety dotyczącej uwzględniania wpływu i oczekiwań użytkowników budynku na etapie projektowania i eksploatacji, a także jesteśmy zaangażowani w dystrybucję ankiety oraz analizę wyników. Projekt ma zakończyć się w roku 2022. Wyniki badań mają zostać opublikowane w czasopiśmie krajowych i zagranicznych w kolejnych latach.

**W terminie od 3.01.2022 do 29.04.2022 odbywam staż naukowy** (jestem w trakcie) w Katedrze Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza Wydziału Inżynierii Środowiska **Politechniki Wrocławskiej**. Opiekunem stażu jest **dr hab. inż. Monika Maciejewska, prof. PWr**.

W trakcie stażu przeprowadziłem wykład dla studentów trzeciego roku pt. *„Wentylacja zdecentralizowana i jednorurowe systemy wentylacyjne w aspekcie energooszczędności”*.

W ramach stażu opracowano artykuł dotyczący aktualnego tematu wpływu pandemii COVID-19 na wydłużenie okresów stagnacji wody w instalacjach. Wykazano wzrost znaczenia wyboru właściwych materiałów instalacyjnych używanych do budowy instalacji w kontekście wzmożonej stagnacji wody. W artykule zwrócono uwagę na konieczność wyboru rodzaju materiału rur w oparciu o wyniki badań jakości wody w lokalnym systemie wodociągowym z uwagi na możliwość występowania korozji oraz powstawanie biofilmu, które sprzyjają rozwojowi bakterii Legionella. Tematyka zyskała na znaczeniu z uwagi na to, że śmiertelność wśród osób zakażonych Legionellą jest bardzo wysokie (do 80%) wśród osób z osłabioną odpornością, a choroba rozwija się w płucach. Obecnie wiele osób po przebytej chorobie wywołanej wirusem COVID-19 ma obniżoną odporność oraz cierpi na powikłania, często w obrębie płuc. Dokonano przeglądu światowych zaleceń, które pojawiły się w związku z pandemią COVID-19, dotyczących sposobu dezynfekcji i niezbędnych działań, które należy wykonać podczas rozruchu nieużytkowanych budynków lub instalacji użytkowanych znacznie mniej intensywnie



niż było to zakładane na etapie projektu (np. instytucje, budynki użyteczności publicznej, uczelnie i inne). Artykuł został przyjęty do druku w recenzowanym czasopiśmie Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja:

**Dudkiewicz E., Amanowicz Ł., Materiały instalacyjne w kontekście stagnacji wody wzmożonej pandemią COVID-19, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, przyjęto do druku na maj 2022 (20 pkt.).**

W ramach stażu opracowano również plan dalszej współpracy, która ma dotyczyć badań nad intensywnością parowania wody z powierzchni płaskich ogrzewanych promiennikami gazowymi. W trakcie opracowania znajduje się koncepcja badań oraz projekt stanowiska do badań doświadczalnych. Uszczegółowienie koncepcji oraz realizacja badań ma być przedmiotem kolejnego stażu w ramach współpracy z Katedrą Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

#### e) recenzje prac naukowych, pełnienie funkcji edytora

W ślad za publikacjami o zasięgu międzynarodowym pojawiły się pierwsze propozycje współpracy w zakresie recenzji artykułów w czasopismach zagranicznych. Z czasem wzrosła liczba różnych czasopism, dla których opracowuję recenzje artykułów **na zasadzie cyklicznej współpracy o charakterze międzynarodowym**. Najczęściej jestem zapraszany do **recenzowania artykułów w dwóch prestiżowych czasopismach: Renewable Energy (Elsevier, IF = 8.001) oraz Energy Conversion and Management (Elsevier, IF = 9.709)**. W obu wspomnianych czasopismach w różnych okresach czasu znajdowałem się na liście najczęściej wybieranych recenzentów wg portalu Publons.

**Od roku 2018 do dnia 11.04.2022** wykonałem **309 recenzji dla 30 różnych czasopism** o zasięgu międzynarodowym. Dokumentację mojej aktywności w roli recenzenta prowadzę na portalu Publons, który zajmuje się weryfikacją i indeksowaniem recenzji. Zestawienie liczby recenzji z podziałem na czasopisma przedstawiono w Tabeli 4.

**Tabela 4.** Podsumowanie recenzji artykułów dla czasopism o zasięgu międzynarodowym (do dnia 11.04.2022)

Czasopismo	Wydawca	IF	Liczba recenzji (wg Publons)
Renewable Energy	Elsevier	8.001	94
Energy Conversion and Management	Elsevier	9.709	56
Energies	MDPI	3.004	37
Environmental Science and Pollution Research	Springer Nature	4.223	15
Building and Environment	Elsevier	6.456	13
Energy and Buildings	Elsevier	5.879	13
Sustainability	MDPI	3.251	9
Geothermics	Elsevier	4.284	8
Energy Conversion and Management: X	Elsevier	–	7
Processes	MDPI	2.847	7
Heat Transfer – Asian Research	Wiley	2.421	6
International Journal of Mechanical Sciences	Elsevier	5.329	5
Applied Sciences	MDPI	2.679	5



Thermal Science and Engineering Progress	Elsevier	–	5
Water	MDPI	3.103	5
Heat transfer	b/d	–	3
Archives of Electrical Engineering	PAN	1.01	2
Archives of Thermodynamics	PAN	0.53	2
Electronics	MDPI	2.397	2
Fuels	MDPI	–	2
International Journal of Molecular Sciences	MDPI	5.924	2
Symmetry	MDPI	2.713	2
Journal of Applied Science and Engineering	Tamkang University	0.364	2
Clean technologies	MDPI	–	1
Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects	Taylor & Francis	3.447	1
European Journal of Environmental and Civil Engineering	Taylor & Francis	2.516	1
Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences	Akademia Baru	–	1
Journal of Chemical Engineering of Japan	Society of Chemical Engineers of Japan	0.73	1
Journal of Renewable and Sustainable Energy	American Institute of Physics	2.219	1
Science and Technology of Nuclear Installations	Hindawi	0.939	1
<b>Łącznie</b>	–	–	<b>309</b>

Zostałem również zaproszony do pełnienia funkcji **Edytora Gościnnego („Guest Editor”)** w dwóch specjalnych wydaniach („*special issue*”) czasopism recenzowanych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku IF:

- 1) Sustainability (Wydawca: MDPI, IF 3.251), Special Issue: „*Renewable Energy Use and Savings in Buildings for Sustainable Development*”. Zespół Gościnnych Edytorów w składzie:

**dr hab. inż. Tomasz Cholewa (Politechnika Lubelska),**  
**dr hab. inż. Alicja Siuta-Olcha (Politechnika Lubelska),**  
**dr hab. inż. Dorota Krawczyk (Politechnika Białostocka),**  
**dr hab. inż. Michał Turski (Politechnika Częstochowska),**  
**dr inż. Łukasz Amanowicz (Politechnika Poznańska).**

Termin nadsyłania prac do Special Issue: 30.09.2022.

- 2) Energies (Wydawca MDPI, IF 3.004), Special Issue: „*Internal Environment and Thermal Performance of Buildings*”. Zespół Gościnnych Edytorów w składzie:

**dr inż. Katarzyna Ratajczak (Politechnika Poznańska),**  
**dr inż. Łukasz Amanowicz (Politechnika Poznańska).**

Termin nadsyłania prac do Special Issue: 15.06.2022.



**f) Patenty, wdrożenia, współpraca z otoczeniem gospodarczym, staże przemysłowe**Przed uzyskaniem stopnia doktora:

**W okresie od 1.09.2012 do 31.12.2012** odbywałem **czteromiesięczny staż przemysłowy** w przedsiębiorstwie „Optima” w ramach stażu organizowanego przez Sense Consulting Poznań pt. „Sztuka współpracy – program staży i szkoleń praktycznych dla pracowników naukowych w wielkopolskich przedsiębiorstwach”, finansowanego z Priorytetu VIII Regionalne kadry gospodarki, Działania 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.1 Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki i współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego, realizowanego od grudnia 2011 roku do maja 2013 roku. Przedmiotem stażu było wykonanie analiz i przedstawienie koncepcji dla celów poszerzenia oferty firmy o projektowanie i wykonawstwo nowoczesnych instalacji grzewczych i wentylacyjnych współpracujących z odnawialnymi źródłami energii, zaproponowanie koncepcji zainstalowania i wyeksponowania pod kątem promocji i szkoleń z zakresu rozwiązań nowoczesnych systemów instalacyjnych w sali dydaktyczno-szkoleniowej oraz opracowanie materiałów dydaktycznych promujących inwestycje w odnawialne źródła energii. Program stażu obejmował również udział w szkoleniach zwiększających kompetencje społeczne i przedsiębiorczość naukowców w zakresie współpracy z przemysłem:

1. Cykl szkoleń pt. „Komunikacja w biznesie”.
2. Cykl szkoleń pt. „Tworzenie przedsięwzięć typu spin-off / spin-out”.
3. Cykl szkoleń pt. „Komercjalizacja wyników badań, własność intelektualna”.

**W latach 2009-2015 współpracowałem z otoczeniem gospodarczym, biorąc udział w następujących badaniach zleconych przez firmy zewnętrzne:**

- 2014-2015, **Wykonawca** w zleceniu „Badania wydajności cieplnej aluminiowego panelu grzewczo-chłodzącego”, kierownik zlecenia: **prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

**W latach 2015-2021 współpracowałem z otoczeniem gospodarczym, biorąc udział w badaniach zleconych przez firmy zewnętrzne (Albatros Aluminium, 3Thermo, Ruukki, WPiP i Vents) oraz wykonywałem ekspertyzy:**

- 2015 – **Wykonawca** ekspertyzy pt. „Analiza efektywności energetycznej budynku biurowo-produkcyjnego” dla WPiP, **kierownik: prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**.
- 2016 – **Wykonawca** pracy badawczej „Analiza cieplno-wilgotnościowa termomodernizacji ścian budynków z płyt warstwowych” dla firmy Ruukki, **kierownik: prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**.
- 2016 – **Kierownik** pracy badawczej „Badania liniowych i miejscowych strat ciśnienia w rurze kauczukowej i panelu aluminiowym” dla firmy 3Thermo.
- 2016-2017 – **Wykonawca** pracy badawczej „Zwiększenie mocy cieplnej / chłodniczej panelu przez rozwinięcie jego powierzchni (pseudo-żebrowanie) - opracowanie koncepcji konstrukcyjnej nowego panelu wielofunkcyjnego mające wpływ na walory estetyczne produktu” dla firmy Albatros Aluminium, **kierownik: prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**.
- 2017 – **Kierownik** pracy badawczej „Badania wydajności cieplnej paneli ściennych” dla firmy 3Thermo.
- 2018 – **Wykonawca** pracy badawczej „Zaprojektowanie stanowisk badawczych i przeprowadzenie kompleksowych badań oraz opracowanie raportu z badań czterech typów urządzeń wentylacyjnych: Vento Expert, Vento Expert Duo, Civic i Freshbox pod



*kątem mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego*” dla firmy Vents, kierownik: **prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak**.

- 2018 – **Wykonawca** w projekcie „*Badania Modułowej Pompy Ciepła (MPC)*” realizowanym w ramach Poddziałania 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP, Działania 2.3 Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020 we współpracy z firmą ISSYSTEM, kierownik: **dr inż. Michał Szymański**.
- 2019 – **Wykonawca** „*Ekspertyzy dotyczącej funkcjonowania systemu wentylacji mechanicznej w Zespole Szkolno-Przedszkolnym nr 9 w Poznaniu, przy ul. Umultowskiej 114*”, kierownik: **prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**.

W efekcie współpracy z firmą Albatros Aluminium powstały publikacje, które wchodzą w skład dorobku przedstawionego do oceny w punkcie 4 c) niniejszego autoreferatu. Efektem współpracy z firmą Albatros Aluminium jest również **zgłoszenie patentowe nr P.425848 [WIPO ST 10/C PL 425848] z roku 2018**, w efekcie którego w październiku 2020 uzyskany został **patent nr PL 235704 B1** pt. „*Wielopłaszczyznowy monolityczny panel grzewczo-chłodzący*” należący do firmy Albatros Aluminium Sp. z o.o., którego autorami jest zespół z Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej w składzie:

- **prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak**,
- **prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz**,
- **dr inż. Łukasz Amanowicz** (udział w opracowaniu patentu: 20%).

Od 2019 roku jestem członkiem **Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych (PZiTS)**. W dniach 3-4 października 2019 brałem udział w Warszawie w wydarzeniu „*Warsztaty pracy projektanta i rzeczoznawcy instalacji sanitarnych*” organizowanym przez PZiTS jako prelegent warsztatów pt. „*Energooszczędne rozwiązania przy projektowaniu i eksploatacji instalacji HVAC*”, a także koordynowałem udział studentów z Koła naukowego Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej w wykładzie pt. „*Efektywność energetyczna systemów ciepłowniczych – zagadnienia problemowe i projektowe*”, który wygłosił **prof. dr hab. inż. Robert Sekret** w dniu 5.12.2019 r. w Warszawie.

#### **g) Nagrody za osiągnięcia naukowe**

Przed uzyskaniem stopnia doktora: brak

Po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Wyróżnienie przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska pracy doktorskiej pt. „*Wpływ parametrów konstrukcyjnooperacyjnych na efektywność powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)*”.
2. Nagroda Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2015/2016.
3. Nagroda Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2016/2017.
4. Nagroda Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2017/2018.
5. Nagroda Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2020/2021.



## 6. Działalność dydaktyczna

### a) Przed uzyskaniem stopnia doktora

Od początku mojej pracy w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej, brałem udział w prowadzeniu zajęć dydaktycznych na kierunku inżynieria środowiska. W Tabeli 5 przedstawiłem listę zajęć, które prowadziłem w latach 2009-2015.

W trakcie prowadzonych zajęć analizowałem proces dydaktyczny jego efekty na różnych semestrach studiów I i II stopnia, wyszukując potencjalnych możliwości do poprawy jakości kształcenia w zakresie zajęć, za które byłem odpowiedzialny. W efekcie tego powstawały nowe materiały pomocnicze do zajęć, zaktualizowane karty tematyczne i pomysły na nowe stanowiska laboratoryjne.

**Tabela 5.** Lista przedmiotów, z których prowadziłem zajęcia w latach 2009-2015 kursywą oznaczono zajęcia, które prowadziłem w zastępstwie lub jednorazowo

Nazwa	Forma zajęć	Rodzaj	Stopień	Semestr
<b>Kierunek: inżynieria środowiska</b>				
Informatyka i programowanie	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	2
Mechanika płynów 1	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	2
Technika cieplna	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	3
Ciepłownictwo i Gazownictwo	ćw. projektowe	stacjonarne	I	5
<i>Wentylacja</i>	<i>ćw. projektowe</i>	<i>stacjonarne</i>	<i>I</i>	<i>5</i>
Inżynieria Ochrony Atmosfery	ćw. projektowe	stacjonarne	I	7
Inżynieria Ochrony Atmosfery	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	7
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. projektowe	stacjonarne	II	2
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. projektowe	niestacjonarne	II	2
Systemy Energetyki Komunalnej	ćw. projektowe	niestacjonarne	II	2
<b>Kierunek: technologia ochrony środowiska</b>				
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	5

Najbardziej istotnym z osiągnięć było stanowisko do badania charakterystyk cieplnych różnego typu współprądowych i przeciwprądowych wymienników ciepła. Opracowałem projekt stanowiska, dzięki któremu można zmierzyć strumienie przepływającej wody po stronie czynnika grzejącego i ogrzewanego, a także temperatury na wlocie i wylocie obu strumieni. W roku 2015 wszedłem w skład zespołu powołanego do przeprowadzenia modernizacji bazy dydaktycznej Instytutu. Jednym z zadań było zorganizowanie zakupu gotowych stanowisk z bazy urządzeń wiodących producentów stanowisk dydaktycznych. Brałem udział w wyspecyfikowaniu potrzeb Instytutu oraz negocjacji z firmami.

### b) Po uzyskaniu stopnia doktora

#### Prowadzenie zajęcia

Listę przedmiotów, z których prowadziłem zajęcia w latach 2015-obecnie przedstawiono w Tabeli 6.



**Tabela 6.** Lista przedmiotów, z których prowadziłem zajęcia w latach 2015-obecnie, kursywą oznaczono zajęcia, które prowadziłem w zastępstwie lub jednorazowo

Nazwa	Forma zajęć	Rodzaj	Stopień	Semestr
<b>Kierunek: inżynieria środowiska</b>				
Mechanika płynów 1	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	2
Technika cieplna	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	3
<i>Ogrzewnictwo</i>	<i>wykład</i>	<i>stacjonarne</i>	<i>I</i>	<i>4</i>
<i>Ogrzewnictwo</i>	<i>ćw. projektowe</i>	<i>stacjonarne</i>	<i>I</i>	<i>4</i>
Ciepłownictwo i Gazownictwo	ćw. projektowe	stacjonarne	I	5
Ciepłownictwo i Gazownictwo	wykład	stacjonarne	I	5
Ciepłownictwo i Gazownictwo	wykład	niestacjonarne	I	7
Inżynieria Ochrony Atmosfery	ćw. projektowe	stacjonarne	I	7
Inżynieria Ochrony Atmosfery	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	7
<i>Systemy ciepłownicze</i>	<i>wykład</i>	<i>niestacjonarne</i>	<i>I</i>	<i>8</i>
Mechanika płynów 2	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	II	1
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. projektowe	stacjonarne	II	2
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. projektowe	niestacjonarne	II	2
Systemy Energetyki Komunalnej	ćw. projektowe	niestacjonarne	II	2
Systemy Energetyki Komunalnej	wykład	stacjonarne	II	2
<b>Kierunek: technologia ochrony środowiska</b>				
Systemy Ochrony Powietrza	ćw. laboratoryjne	stacjonarne	I	5
<b>Kierunek: Sustainable Buildings Engineering</b>				
Heat Engineering in Buildings	ćw. audytoryjne	stacjonarne	I	2
Fundamentals of integrated building design	wykład	stacjonarne	I	5
Fundamentals of integrated building design	ćw. projektowe	stacjonarne	I	5
External Infrastructure	wykład	stacjonarne	I	6
External Infrastructure	ćw. projektowe	stacjonarne	I	6

Zajęcia, które prowadzę staram się realizować zgodnie z aktualnymi trendami w nauczaniu zdalnym i stacjonarnym. Wykorzystuję platformy e-learningowe typu Moodle oraz posiłkuję się materiałami dynamicznymi, takimi jak filmy video czy quizy edukacyjne. W ramach wykładów z przedmiotu Ciepłownictwo i Gazownictwo opracowałem cykl quizów edukacyjnych wspomagających prowadzenie zajęć. Quizy wykorzystują aplikację dostępną na serwerze platformy internetowej „Kahoot”. Każdy z pięciu quizów zawiera średnio po ok. 20 pytań wraz z czterema odpowiedziami. Są one skonstruowane jako inspirujące do zadawania pytań podczas wykładu – po wyświetleniu poprawnej odpowiedzi w naturalny sposób ujawnia się potrzeba dopowiedzenia / wyjaśnienia materiału oraz skomentowania błędów popełnionych przez studentów. Jest to zatem narzędzie prowokujące wysoką aktywność studentów w zakresie zainteresowania przerabianym materiałem, a jednocześnie doskonała okazja do realizacji postulatu „*nauki przez zabawę*”. Quizy podsumowują wiedzę już zdobytą oraz zachęcają do



większej uwagi podczas zdobywania nowej wiedzy, ponieważ zawierają pytania zmuszające do myślenia.

### **Prowadzenie prac inżynierskich i magisterskich**

Od 2016 roku do obecnie jestem promotorem prac inżynierskich i magisterskich, a także recenzentem prac inżynierskich. W Tabeli 7 zestawiono liczbę prowadzonych oraz recenzowanych prac z podziałem na prace inżynierskie i magisterskie na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych.

**Tabela 7.** Podsumowanie działalności w zakresie prowadzenia prac promocyjnych i ich recenzji

<b>Promotor prac:</b>	<b>mgr</b>	<b>inż.</b>
studia stacjonarne	19	26
studia niestacjonarne	17	2
<b>Suma:</b>	<b>36</b>	<b>28</b>
<b>Łącznie:</b>	<b>Promotor 64 prac (36 mgr + 28 inż.)</b>	
<b>Recenzje prac inż.:</b>	<b>18</b>	

Prace inżynierskie, których jestem promotorem zwykle dotyczą wielowariantowych koncepcji projektowych różnego typu systemów HVAC (ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji) budynków. Studenci, którzy dotychczas pisali prace pod moim kierunkiem poddali analizie wymagania projektowe oraz dokonali przeglądu rozwiązań systemów HVAC stosowanych w budynkach jednorodzinnych, wielorodzinnych, biurowych, laboratoryjnych, halach magazynowych, hotelach, schroniskach górskich, basenach, serwerowniach i kurnikach. Podczas realizacji prac inżynierskich nie unikam nawiązywania współpracy z zaprzyjaźnionymi biurami projektów oraz praktykami z branży HVAC. W zależności od potrzeb organizuję studentom dodatkowe szkolenia z zakresu doboru urządzeń czy obsługi programów komputerowych, będących narzędziami wspomagającymi wykonanie zadania projektowego w ramach pracy inżynierskiej. Na przestrzeni ostatnich lat wypracowałem zestaw wewnętrznych wytycznych odnośnie standardu prac inżynierskich, które prowadzę. W trakcie konsultacji prowadzę z dyplomantami grupowe dyskusje na temat problemów, na które napotykają podczas realizacji swoich prac. W ten sposób studenci uczą się ogólnych mechanizmów i zasad oraz całościowego spojrzenia na zagadnienia inżynierskie, stawiając je w kontraście do utartych schematów postępowania. Podczas prowadzenia prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich staram się wykorzystywać metodę mentoringu i tutoring. Kładę nacisk na holistyczne spojrzenie na budynek, jego integrację z użytkownikiem, otoczeniem, a także sam proces projektowania. Promuję ideę projektowania zintegrowanego jako alternatywę dla liniowej realizacji procesu projektowania. Analogicznie jak w przypadku prac inżynierskich zwracam uwagę i zachęcam do krytycznego spojrzenia na metody, schematy, szablony, narzędzia wspomagające projektowanie oraz wszelkie aspekty związane z procesem projektowym. W moim odczuciu sprzyja to uzyskaniu przez studentów kompetencji inżynierskich takich jak np. świadomość współoddziaływania różnych czynników na finalny efekt czy odpowiedzialności za przyjęte rozwiązanie projektowe, które trudno jest wykształcić podczas zajęć.

W pracach magisterskich, których jestem promotorem, studenci realizują badania eksperymentalne elementów systemów HVAC lub przeprowadzają analizy teoretyczne działania systemu HVAC budynku, zwykle pod kątem możliwości zmniejszenia zużycia energii użytkowej i ograniczenia zużycia energii pierwotnej. W celu wykonania analiz



energetycznych studenci tworzą autorskie arkusze kalkulacyjne, wykorzystujące rzeczywiste dane meteorologiczne, umożliwiające przeprowadzenie obliczeń godzina po godzinie. Arkusze opracowane w ten sposób dają szerokie spektrum możliwości w zakresie różnych czynników, mających wpływ na zużycie energii w budynkach. Spośród wielu z takich czynników, szczególną uwagę zwracam zwykle na wpływ zachowania użytkowników. Charakterystyczną cechą wielu z tych prac jest uwzględnienie różnych harmonogramów użytkowania budynku oraz różnych preferencji użytkowników odnośnie ilości powietrza wentylacyjnego, temperatury powietrza wewnętrznego czy zużycia ciepłej wody użytkowej.

Oddzielną kategorię stanowią prace magisterskie o charakterze badawczym, w ramach których studenci przeprowadzają eksperymenty w laboratorium, wyznaczając charakterystyki ciepło-przepływowe elementów systemów HVAC. Ciekawym przykładem pracy, która łączyła w sobie badania doświadczalne i analizę energetyczną w autorskim arkuszu metodą godzina po godzinie była praca pt. „*Analiza wpływu rozstawu płyt wymiennika ciepła w centrali wentylacyjnej na efektywność systemu wentylacji*”. W pracy najpierw wyznaczono eksperymentalnie charakterystyki cieplne rekuperatorów płytowych krzyżowych o różnym rozstawie płyt wymiennika, a następnie dane te wykorzystano do przeprowadzenia analizy porównawczej działania przykładowych systemów wentylacji dla budynku biurowego wyposażanych w wymienniki ciepła o różnym rozstawie płyt.

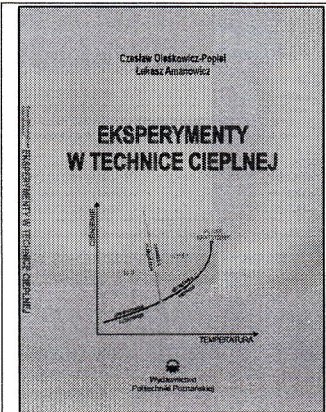
### **Skrypty i podręczniki akademickie**

Jestem współautorem następujących skryptów i podręczników:

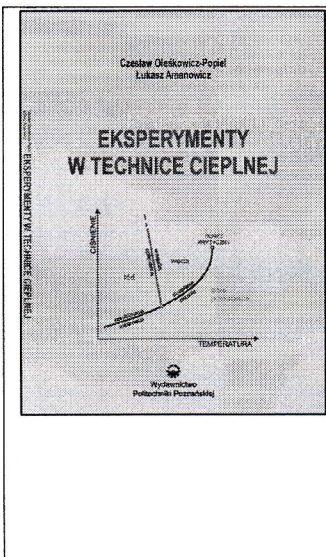
- [52] Oleśkowicz-Popiel Cz., Amanowicz Ł., Eksperymenty w technice cieplnej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016, ISBN 978-83-7775-425-2.
- [53] Oleśkowicz-Popiel Cz., Amanowicz Ł., Eksperymenty w technice cieplnej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2017, ISBN 978-83-7775-446-7.
- [54] Bagieński Z., Amanowicz Ł., Ciepłownictwo. Projektowanie kotłowni i ciepłowni, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2018, ISBN 978-83-7775-519-8.
- [55] Amanowicz Ł., Schiller T., Mechanika płynów w inżynierii środowiska – wybrane zagadnienia w eksperymentach, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, w druku.

W 2016 roku wspólnie z **prof. dr hab. inż. Czesławem Oleśkowicz-Popielem** opracowaliśmy skrypt do ćwiczeń laboratoryjnych adresowany głównie do studentów kierunku inżynieria środowiska, biorących udział w zajęciach z przedmiotu technika cieplna 1 oraz częściowo technika cieplna 2. W skrypcie pt. „*Eksperymenty w technice cieplnej*” [52] wydanym nakładem Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, opisaliśmy najpopularniejsze urządzenia i metody do pomiaru podstawowych wielkości fizycznych wykorzystywanych w technice cieplnej. Jestem autorem większości wyjaśnień, opisów oraz rysunków i schematów, które opisują budowę i zasadę działania urządzeń oraz metody prowadzenia pomiarów. W skrypcie położono duży nacisk na uproszczenie schematów i zapewnienie przystępności prezentacji przekazywanych treści dydaktycznych tak, aby umożliwić Czytelnikowi ich dogłębne zrozumienie.



	<p>Skrypt do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu technika cieplna [52]: <b>liczba stron: 124</b>,  <b>Recenzent: prof. dr hab. inż. Teodor Skiepmo.</b></p> <p>Rozdziały:  (1) pomiar ciśnienia, (2) pomiar temperatury, (3) ciepło spalania paliw stałych, (4) ciepło spalania paliw gazowych, (5) analiza spalin aparatem Orsata, (6) wyznaczanie ciepła właściwego gazów, (7) wyznaczanie wykładnika adiabaty powietrza</p> <p>Nakład wyczerpany, książka niedostępna w księgarni</p>
---	---

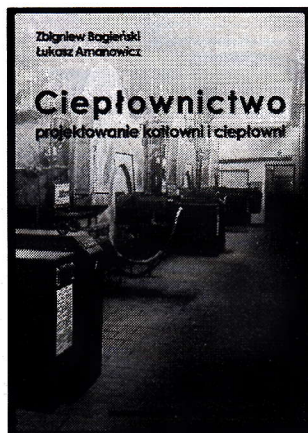
Z uwagi na dużą popularność wspomnianego skryptu wśród studentów, nakład pierwszego wydania szybko się wyczerpał. Z tego powodu w 2017 roku rozszerzyliśmy zakres materiału i zaprezentowaliśmy drugie wydanie **skryptu pt. „Eksperymenty w technice cieplnej”**: **poprawione i uzupełnione** [53], które również ukazało się nakładem Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej.

	<p>Skrypt do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu technika cieplna [53]: <b>liczba stron: 146</b>,  <b>Recenzent I wydania: prof. dr hab. inż. Teodor Skiepmo.</b></p> <p>Rozdziały:  (1) pomiar ciśnienia, (2) pomiar temperatury, (3) ciepło spalania paliw stałych, (4) ciepło spalania paliw gazowych, (5) analiza spalin aparatem Orsata, (6) wyznaczanie ciepła właściwego gazów, (7) wyznaczanie wykładnika adiabaty powietrza, (8) Pomiar stopnia suchości pary wodnej (9) Badanie sprężarkowej pompy ciepła typu woda–powietrze</p> <p>Link do książki w księgarni:  <a href="https://politechnik.poznan.pl/ksiegarnia/eksperymenty-w-technice-cieplnej">https://politechnik.poznan.pl/ksiegarnia/eksperymenty-w-technice-cieplnej</a></p>
--	---

Od początku mojego zatrudnienia w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej prowadziłem ćwiczenia projektowe z przedmiotu Ciepłownictwo i gazownictwo. W ramach ćwiczeń projektowych realizowaliśmy poszczególne etapy projektu kotłowni gazowej wysokoparametrowej dla osiedla mieszkaniowego wraz z budynkami edukacyjnymi, biurowymi i usługowymi. W 2018 roku, wspólnie z **dr hab. inż. Zbigniewem Bagińskim**, wydaliśmy podręcznik do przedmiotu ciepłownictwo i gazownictwo, który bazował na naszych dotychczasowych materiałach i doświadczeniu w prowadzeniu wykładów i ćwiczeń projektowych z tego przedmiotu. **Książka [54] „Ciepłownictwo. Projektowanie kotłowni i ciepłowni”** została wydana nakładem Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej. Zawartość i charakter tego podręcznika opisaliśmy w przedmowie: *„Podręcznik obejmuje, obok rozdziałów prezentujących ogólne spojrzenie na zagadnienia ciepłownictwa i systemów ciepłowniczych, bilansowanie cieplne systemu oraz projektowanie ciepłowni. Omawiając bilans cieplny systemu, przedstawiono różne metody wyznaczania zróżnicowanych potrzeb cieplnych budynków mieszkalnych i obiektów użyteczności publicznej, ze szczególnym uwzględnieniem przyjmowanych założeń i zalecanego zakresu stosowalności. Oprócz algorytmu obliczeń mocy szczytowej w tzw. warunkach normatywnych omówiono*



funkcjonowanie źródeł ciepła w okresie całorocznej pracy, podkreślając wpływ warunków eksploatacji na dobór źródeł z wykorzystaniem tzw. wykresu kołowego i piłowego. Dla różnych typów ciepłowni omówiono schematy technologiczne, wykresy linii ciśnień, wykresy regulacyjne, a także układy zabezpieczeń oraz zagadnienia regulacji i sterowania poszczególnymi elementami systemu oraz współpracy między nimi. Przedstawione treści odwołują się do podstawowej wiedzy z zakresu techniki cieplnej i mechaniki płynów. Opisowy sposób prezentacji zagadnień, liczne rysunki, przykłady i pogłębione komentarze umożliwiają poprawne przeprowadzenie obliczeń oraz lepsze zrozumienie założeń, zalet i ograniczeń stosowanej metodyki projektowania. Duży nacisk położono na wyjaśnienie funkcjonowania systemu ciepłowniczego w okresie całego roku, z uwzględnieniem zagadnień regulacji, sterowania, automatyki i współpracy poszczególnych elementów systemu”. Wiedza zebrana w podręczniku stała się podstawą do opracowania nowych wykładów z przedmiotu Ciepłownictwo, które prowadzę od 2017 roku. Wartościowym i nietypowym dla podręczników akademickich elementem książki jest galeria autorskich zdjęć charakterystycznych elementów kotłowni wzbogacona o komentarz dotyczący sposobu ich montażu i/lub roli w danej instalacji. W roku 2020 nakład podręcznika wyczerpał się. W kolejnych latach planujemy rozszerzenie treści książki o kolejne rozdziały związane z projektowaniem sieci ciepłych i węzłów ciepłych i opublikowanie wydania drugiego rozszerzonego.



Podręcznik akademicki do przedmiotu ciepłownictwo [54]:

**liczba stron: 340,**

**Recenzent: prof. dr hab. inż. Robert Sekret.**

Rozdziały:

1. Wprowadzenie do ciepłownictwa
  2. Algorytm projektowania systemu ciepłowniczego
  3. Bilans cieplny systemu ciepłowniczego
  4. Źródła ciepła
  5. Projekt ciepłowni
- Załącznik. Zdjęcia wybranych elementów ciepłowni

Pełny spis treści podręcznika jest dostępny w opisie książki na stronie księgarni:

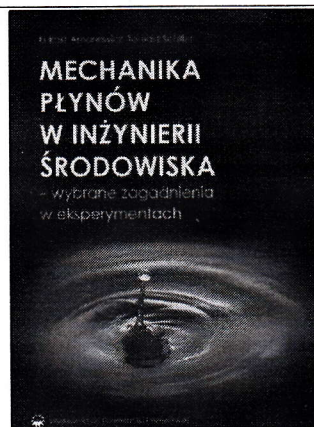
[www.ksiegarniatechniczna.com.pl/cieplownictwo-projektowanie-kotlowni-i-cieplowni.html](http://www.ksiegarniatechniczna.com.pl/cieplownictwo-projektowanie-kotlowni-i-cieplowni.html)

Od początku mojego zatrudnienia w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej prowadzę ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu mechanika płynów 1 na pierwszym stopniu studiów stacjonarnych (semestr 2). Jestem odpowiedzialny za ćwiczenia dotyczące przepływu płynów w kanałach zamkniętych pod ciśnieniem, natomiast **dr inż. Tomasz Schiller** prowadzi zajęcia związane z filtracją, przepływem płynu ze swobodnym zwierciadłem, przelewami. **W 2021 roku skończyliśmy opracowywać podręcznik [55] pt. „Mechanika płynów w inżynierii środowiska – wybrane zagadnienia w eksperymentach”**, który ukaże się nakładem Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej (został zrecenzowany i oczekuje na edycję tekstu w Wydawnictwie oraz przekazanie do druku). Przyczyny jego powstania oraz najważniejsze cele scharakteryzowaliśmy w przedmowie: „*W procesie kształcenia przyszłych inżynierów brakuje książek adresowanych do osób spotykających się po raz pierwszy z tematyką mechaniki płynów, które łączyłyby w sobie cechy skryptu do ćwiczeń laboratoryjnych, a zarazem podręcznika wprowadzającego do podstaw tego przedmiotu. Skrypty bywają zbyt skrótowe, a podręczniki zbyt trudne w odbiorze przez osoby początkujące – brakuje propozycji*



pośrednich. W ramach niniejszej książki postanowiliśmy połączyć najefektywniejszą formę nauki – poprzez eksperyment – z nietypowym, uproszczonym opisem jego podstaw teoretycznych, zapelniając tę lukę. Język książki został dostosowany do poziomu osoby rozpoczynającej studiowanie mechaniki płynów – absolwenta liceum lub technikum. Staraliśmy się opracować zapadające na długo w pamięć wyjaśnienia, stosując przy tym liczne kolokwializmy, powtórzenia i parafrazy, a także obrazowe porównania odnoszące się do doświadczeń z codziennego życia każdego człowieka. Podział podręcznika na rozdziały, a także sam styl prezentowanych treści odbiega od tradycyjnego modelu. Wyodrębnione uwagi „na marginesie”, emfazy, zachęty do szerszego spojrzenia na dane zagadnienie, uwypuklenie podziału na typowe podręcznikowe definicje i nietypowe, inżynierskie wyjaśnienia – mają prowadzić do lepszego zrozumienia zapamiętywanych treści tak, jakby nie były one narzucone, ale jak gdyby wynikały z naturalnej kolei pełnego twórczej satysfakcji procesu zdobywania wiedzy. Położyliśmy nacisk na aplikacyjny charakter przyswajanych informacji. Zakładamy też, że Czytelnik nie jest zmuszony do studiowania mechaniki płynów, ale z własnej ciekawości chce poznawać jej podstawy. Niniejsza książka ma, w odczuciu autorów, pomóc w zdobyciu podstawowej wiedzy z dziedziny mechanika płynów, a zarazem ułatwić dalsze jej uzupełnianie na bazie klasycznych podręczników. W tym celu zadbałszy o dużą liczbę szczegółowych odniesień do literatury, jak również dokładny opis uzupełnień, jakie Czytelnik znajdzie na cytowanych kartach tak, aby odesłać Go dokładnie tam, gdzie znajdzie odpowiedź”.

Recenzentka książki, **dr hab. inż. Katarzyna Weinerowska-Bords, prof. PG** napisała: „W niniejszej książce można znaleźć treści, których trudno szukać w innych akademickich pozycjach dydaktycznych – liczne informacje natury praktycznej i dygresje, niezwykle cenne z punktu widzenia Studenta inżynierii środowiska. Autorzy wchodzą z Czytelnikiem w swoisty dialog, zadają Mu pytania i udzielają wyjaśnień. Podsuwają pomysły i sugerują ogólny przebieg pracy w laboratorium, ale nie zamykają ich w ściśle określone ramy, ucząc samodzielności i pobudzając kreatywność. Pokazują, że praca w laboratorium wymaga odpowiedniego przygotowania i krytycznej refleksji, ale może być też swoistą „zabawą w eksperymentowanie”, co chroni przed mechanicznym wykonywaniem pomiarów i zniechęca do bezrefleksyjnego kopiowania raportów. Odejście od tradycyjnej formy podręcznika na korzyść formy zmniejszającej dystans między Autorami, a Czytelnikiem: koncepcję, styl i język książki, oceniam bardzo wysoko”. Słowa te utwierdzają mnie w przekonaniu, że książka będzie przydatnym materiałem wspomagającym proces dydaktyczny w zakresie nauczania przedmiotu mechanika płynów na kierunku inżynieria środowiska, a zarazem inspiracją do dalszego doskonalenia warsztatu naukowego i dydaktycznego w zakresie eksperymentów związanych z mechaniką płynów w inżynierii środowiska.



Podręcznik akademicki do przedmiotu mechanika płynów [55]:

**liczba stron: 290, w druku (2022)**

**Recenzent: dr hab. inż. Katarzyna Weinerowska-Bords.**

Rozdziały:

1. Wprowadzenie
2. Przyrządy pomiarowe
3. Eksperymenty

Przewidywany termin druku: maj 2022



### **Materiały do zajęć dydaktycznych oraz stanowiska laboratoryjne**

Od początku mojej pracy w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej brałem udział w prowadzeniu badań eksperymentalnych w laboratorium, a także prowadziłem zajęcia laboratoryjne z różnych przedmiotów. Czas spędzony w laboratorium oraz doświadczenie zdobyte podczas realizacji doświadczalnej części rozprawy doktorskiej zaowocowały nowymi materiałami do zajęć. Na bieżąco aktualizowałem również istniejące materiały dydaktyczne. Za mój najistotniejszy wkład w działalność dydaktyczną w Instytucie Inżynierii Środowiska (od roku 2020 w Instytucie Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych) Politechniki Poznańskiej w zakresie ćwiczeń laboratoryjnych uważam zaprojektowanie oraz doprowadzenie do powstania nowych stanowisk. Najważniejsze z nich to stanowiska umożliwiające:

- badania charakterystyki pojedynczego wentylatora oraz charakterystyki zastępczej wentylatorów połączonych szeregowo lub równolegle,
- wyznaczanie charakterystyki pompy dla różnych trybów pracy / sposobów regulacji wydajnością pompy,
- regulację aerodynamiczną instalacji wentylacyjnej i wizualizację zasady działania regulatorów VAV, CAV oraz zastosowanie w praktyce różnych metod pomiaru strumienia powietrza w wentylacji,
- wyznaczenie ciepła właściwego powietrza,
- wyznaczenie wykładnika adiabaty powietrza,
- badanie skuteczności wentylacji z zastosowaniem jednorurowych systemów wentylacyjnych,
- regulację hydrauliczną instalacji grzewczych z zaworami termostatycznymi,
- pomiar profilu prędkości w kanale okrągłym lub prostokątnych w różnych odległościach za zaburzeniem.

W ramach realizacji pracy magisterskiej inż. Agnieszki Kubiacyk pt. „*Budowa i weryfikacja działania stanowiska do badań współczynnika wydajności klimatyzatora kanałowego typu split*” oraz we współpracy z **dr inż. Fabianem Cybichowskim** i firmą **Mitshubishi**, w 2018 roku powstało zaawansowane technicznie stanowisko laboratoryjne, w którego budowie brałem udział. Stanowisko umożliwia wyznaczenie chwilowych wartości współczynników COP i EER dla różnych temperatur powietrza przepływającego przez parownik i skraplacz. W ten sposób można w doświadczalny sposób wyznaczyć charakterystykę cieplną klimatyzatora oraz zobrazować zmienność współczynników COP i EER w zależności od warunków (temperatury), w których pracuje urządzenie.

W 2018 roku w Instytucie trwały prace nad aktualizacją programu studiów na kierunku inżynieria środowiska. Wspólnie z **dr inż. Katarzyną Ratajczak** byłem inicjatorem wprowadzenia do siatki zajęć nowego przedmiotu pt. „*Laboratorium HVAC*”. Wziąłem udział w zaprojektowaniu zakresu przedmiotu oraz opracowywaniu karty ECTS. Nowy przedmiot ma na celu umożliwienie studentom przeprowadzenie złożonych badań, inspirowanych typowymi problemami, jakie spotyka się w systemach HVAC w ujęciu systemowym. Jest to pierwszy interdyscyplinarny przedmiot na kierunku inżynieria środowiska w Politechnice Poznańskiej, łączący systemowo zagadnienia HVAC (ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji). Przedmiot został przypisany do 7go semestru studiów pierwszego stopnia. W ramach zajęć przewidywane są następujące tematy ćwiczeń:



1. Równanie zaniku zanieczyszczeń.
2. Wpływ intensywności wentylacji na odparowanie wody w basenach.
3. Współpraca grzejnika z zaworami termostatycznymi.
4. Badanie układu klimatyzatora typu split.
5. Badanie skuteczności wentylacji i sprawności odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego za pomocą rekuperatorów ściennych.

### **Dyplomy, nagrody i wyróżnienia za osiągnięcia dydaktyczne**

W 2019 roku otrzymałem od Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska **Dyplom dla wyróżniającego się nauczyciela akademickiego.**

Za całokształt osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych otrzymałem w roku 2020 **Specjalną Nagrodę Rektora Politechniki Poznańskiej za wybitne osiągnięcia dydaktyczne w roku 2019.**

### **Funkcje sprawowane w ramach działalności dydaktycznej**

**2012-obecnie** – opiekun naukowy Koła Naukowego Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej.

**2020-obecnie** – członek Instytutowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Poznańskiej.



## 7. Działalność organizacyjna

### a) Przed uzyskaniem stopnia doktora

Na trzecim roku studiów, w 2007 roku, wspólnie z kolegą z roku Markiem Chylewskim założyłem Koło Naukowe Inżynierów Środowiska Politechniki Poznańskiej (KNIŚ PP). Koło powstało jako odpowiedź na rosnące potrzeby studentów odnośnie kontaktu z praktyczną stroną branży sanitarnej. Z tego powodu koło naukowe, którego opiekunem został wówczas **dr inż. Mieczysław Porowski**, przyjęło sobie za cel uzupełnianie regulaminowego toku studiów o zagadnienia związane z projektowaniem, wykonawstwem, technologią i sterowaniem systemów stosowanych w szeroko pojętej inżynierii środowiska.

Od marca do grudnia 2007 w wydarzeniach organizowanych przez KNIŚ wzięło udział 241 osób. Swoim zasięgiem koło naukowe docierało do studentów trzeciego i czwartego roku studiów. W roku 2008 zorganizowaliśmy 24 wydarzenia dla łącznej liczby 515 osób, a w 2009 roku 14 wydarzeń dla 220 osób. Należy podkreślić, że z czasem oprócz lokalnych szkoleń w salach wykładowych Politechniki Poznańskiej lub firmach zlokalizowanych w Poznaniu lub okolicach, zaczęliśmy wyjeżdżać na jedno i dwudniowe wyjazdy edukacyjne. Odwiedziliśmy m.in.:

- wodociągi warszawskie oraz filtry Lindleya,
- fabrykę akcesoriów wentylacyjnych Centrum Klima w Piastowie k. Warszawy,
- fabrykę firmy HERZ w Wieliczce,
- instalacje w szpitalu specjalistycznym w Kościerzynie wraz z Panami: Andrzejem Wolskim i Krzysztofem Kaiserem – eksploatatorami systemów w szpitalu,
- wzięliśmy udział w targach Forum Wentylacja Salon Klimatyzacja,
- siedzibę firmy Klimatherm w Gdańsku,
- linię produkcyjną wełny mineralnej Rockwool w Cigacicach,
- fabryki wentylatorów elektronicznie komutowanych ebm-papst w Niemczech (Muldingen i Hollenbach).

W październiku 2009 roku rozpocząłem pracę jako asystent w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Od samego początku wspierałem działalność koła naukowego jako opiekun pomocniczy.

**W roku 2010 zorganizowano 15 wydarzeń dla łącznej liczby 235 osób.**

**W roku 2011 zorganizowano 35 wydarzeń dla łącznej liczby 659 osób.**

**W roku 2012 zorganizowano 53 wydarzeń dla łącznej liczby 1057 osób.**

W 2012 roku przejąłem obowiązki opiekuna naukowego KNIŚ. Była to dla mnie motywacja do jeszcze większego zaangażowania się w jego działalność. Wzrost zainteresowania kołem, ale również wzrost zainteresowania studentów tematyką projektowania nowoczesnych systemów ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji i budynków energooszczędnych sprawił, że w licznym gronie członków KNIŚ powstała grupa szczególnie zainteresowana budownictwem pasywnym. W 2013 roku KNIŚ we współpracy z Kołem Naukowym SKN Elektro-energetyka zorganizowało konferencję popularyzującą wiedzę na temat energii odnawialnej, objętą patronatem „*Europejskich Słonecznych Dni*”, która odbywała się w ramach cyklu wielu tego typu wydarzeń na całym świecie pod wspólnym hasłem. Pozyskaliśmy sponsorów oraz prelegentów, a konferencja połączona z mini-przestrzenią targową firm-partnerów odbyła się w dniu 11 maja 2013 roku.

**6 grudnia 2013 roku** Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej zorganizowało pierwszy „*Dzień Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego*” – wydarzenie, mające na celu popularyzację wiedzy na temat budownictwa pasywnego i energooszczędnego, które na stałe weszło w harmonogram działań KNIŚ. Gościem



honorowym wydarzenia był **inż. Gunter Schlagowski, założyciel Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego i Energetyki Odnawialnej w Gdańsku**. Wydarzenie odniosło sukces i cieszyło się dużym zainteresowaniem studentów i projektantów, nie tylko z Poznania. Gościliśmy studentów z Politechniki Wrocławskiej, AGH, Uniwersytetu Ekonomicznego z Poznania i Uniwersytetu Przyrodniczego z Poznania oraz uczestników z wielu różnych części Polski. Równoległe do wykładów odbywały się również warsztaty polegające na wykonaniu eksperymentów w laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej na modelowej centrali wentylacyjnej, a także zwiedzaniu pokazowego domu pasywnego Politechniki Poznańskiej, maszynowni systemu solarnego podgrzewania ciepłej wody jednego z akademików oraz kawiarni „*CzyToGruszka*” zbudowanej w standardzie budynku pasywnego. Na temat wydarzenia powstał reportaż w lokalnej telewizji Politechniki Poznańskiej SPACJA TV, który jest dostępny za pośrednictwem platformy YouTube. Zarejestrowano również prezentację jednego z partnerów wydarzenia (firmy AGBUD) oraz wizytę w budynku wspomnianej kawiarni wykonanej w standardzie budynku pasywnego:

- [www.youtube.com/watch?v=ZjyRyH-UPJk](http://www.youtube.com/watch?v=ZjyRyH-UPJk) (reportaż SPACJA TV),
- [www.youtube.com/watch?v=\\_Sw3XBH6LQk](http://www.youtube.com/watch?v=_Sw3XBH6LQk) (prezentacja AGBUD),
- [www.youtube.com/watch?v=up7GW1tT1Fg](http://www.youtube.com/watch?v=up7GW1tT1Fg) (wizyta w bud. pasywnym kawiarni).

W 2015 roku Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej zostało zaproszone przez Koło Naukowe Studentów Budownictwa Politechniki Poznańskiej (KNSB) do współorganizacji drugiej edycji ogólnopolskiej studenckiej konferencji budowlanej pod nazwą **Budmika**. Świadomi konieczności i znaczenia integracji różnych branż podczas powstawania nowoczesnych, energooszczędnych, a przy tym funkcjonalnych i bezpiecznych budynków bez wahania podjęliśmy trud związany z organizacją wydarzenia. Ponieważ w tym samym roku planowaliśmy zorganizowanie **drugiej edycji Dnia Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE)**, postanowiliśmy połączyć oba wydarzenia. We współpracy z **Wielkopolską Okręgową Izbą Inżynierów Budownictwa** oraz **Centrum Budownictwa pasywnego Politechniki Poznańskiej**, którego kierownikiem był wówczas **dr inż. Andrzej Górka**, zorganizowaliśmy DBPiE 2015 pod hasłem konferencji „*Air-Thgt – szczelność powietrzna budynków*”. Większość wykładów i prezentacji była poświęcona ważnej tematyce szczelności powietrznej i jej znaczenia dla energochłonności budynków oraz właściwej pracy systemów ogrzewania i wentylacji. Pozyskaliśmy dużą liczbę sponsorów, którzy w ramach mini przestrzeni targowej prezentowali swoje stanowiska oraz asortyment urządzeń i usług w zakresie energooszczędnych technologii w budownictwie. W roku 2015 wypracowaliśmy formułę dzielącą DBPiE na część wykładową i warsztatową, obie prowadzone przez naszych partnerów, a także przez samych studentów. Warsztaty polegały m.in. na pomiarze szczelności powietrznej wybranego pomieszczenia, wykonywaniu termogramów za pomocą kamery termowizyjnej i zwiedzaniu pokazowego domu pasywnego Politechniki Poznańskiej.

## b) Po uzyskaniu stopnia doktora

Niedługo po zakończeniu konferencji BUDMIKA oraz DBPiE 2015, w czerwcu 2015 roku obroniłem rozprawę doktorską. Zasięg oddziaływania KNIŚ wyraźnie zwiększył się dzięki znaczącemu wzrostowi dostępu do Internetu. Wydarzenia KNIŚ były reklamowane za pośrednictwem strony internetowej, a także portalu społecznościowego Facebook i grup mailingowych, których byłem administratorem.

W 2017 roku zorganizowaliśmy kolejną edycję Dnia Budownictwa pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE). Ponieważ program DBPiE 2015 okazał się interesujący na tyle, że większość uczestników nie mogła wziąć udziału we wszystkich częściach tego wydarzenia, w 2017 roku zaplanowano wydarzenie dwudniowe: pierwszy dzień wykładów i drugi



warsztatów. Do współpracy zaprosiliśmy firmy, oferujące komponenty wykorzystywane podczas wznoszenia budynków energooszczędnych oraz zajmujące się diagnostyką energetyczną budynków: Aluprof, Termocent i Bims Plus.

**W 2019 roku** KNiŚ zorganizowało kolejną edycję DBPiE, ponownie jako wydarzenie dwudniowe: pierwszy dzień wykładowy i drugi dzień warsztatowy. Tym razem do współpracy zaprosiliśmy członków PZiTS – praktyków branży HVAC – którzy uzupełnili część wykładową, a przede wszystkim warsztatową. Oprócz prezentacji stanowisk laboratoryjnych i wizyt edukacyjnych w maszynowniach najnowszych budynków Politechniki Poznańskiej, które zostały przygotowane przez studentów KNiŚ, zrealizowaliśmy dzięki naszym Partnerom warsztaty z zakresu doboru pomp ciepła i bilansowania instalacji w rocznym okresie jej pracy, a także warsztaty dotyczące sporządzania charakterystyki energetycznej oraz prezentację typu case-study na temat prestiżowej inwestycji „Łódź Fabryczna” (druga po gazo-porcie w Świnoujściu największa inwestycja ostatnich lat w Polsce). Wydarzenie wspierały merytorycznie i finansowo firmy, z którymi utrzymujemy współpracę w ramach obowiązków opiekuna koła naukowego: Bims Plus, Sweco, Vents, Blauberg, Lindab i Bosh.

DBPiE 2022 odbędzie się w dniach **11-12 maja 2022**. Pierwszego dnia odbędą się wykłady, obejmujące swoją tematyką m.in.: wprowadzenie do budownictwa energooszczędnego, zagadnienia prawne, eksploatacyjne oraz case study z realizacji rzeczywistych obiektów. Drugiego dnia odbędą się warsztaty, podczas których będzie można m.in. zwiedzić energooszczędne budynki Politechniki Poznańskiej. Patronat nad wydarzeniem objął Rektor Politechniki Poznańskiej, Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki PP oraz PZiTS.

**Podsumowując cykl wydarzeń z serii DBPiE chciałbym podkreślić ich wielopłaszczyznowy efekt dydaktyczny.** Studenci nie tylko biorą udział w ciekawych wykładach i warsztatach. Mają okazję do kontaktu z praktykami z branży, którzy dzielą się swoim doświadczeniem. Co więcej sami są również zmotywowani do przygotowania się do prezentacji oraz prowadzenia warsztatów (np. dla zaproszonych na warsztaty licealistów i uczniów techników). Biorąc udział w organizacji uczą się samodzielności, odpowiedzialności oraz współpracy w grupie. Główni organizatorzy nabywają kompetencji zarządzania zespołem ludzkim oraz uczą się sztuki prowadzenia rozmów biznesowych ze sponsorami i partnerami. **Należy podkreślić, że DBPiE nie jest jednorazową konferencją, ale wydarzeniem cyklicznym, które na stałe wpisało się w kalendarz konferencji organizowanych w Politechnice Poznańskiej. Planujemy organizować ją regularnie co 2-3 lata.**

**Poza organizacją konferencji DBPiE w Kole Naukowym Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej realizujemy projekty,** za których przeprowadzenie odpowiedzialne są oddzielne zespoły, złożone z członków zarządu KNiŚ, zapraszające do udziału w nich pozostałych członków koła. Najważniejsze z nich to:

- gazетка KNiŚ – nieregularnie wydawana, cyfrowa gazетка, której zadaniem jest prezentacja ciekawostek branżowych, wyników prac magisterskich i inżynierskich realizowanych w Instytucie, a także integracja środowiska studentów inżynierii środowiska Politechniki Poznańskiej,
- osiedle BIM – długoterminowy projekt, którego celem jest organizacja cyklicznych szkoleń z zakresu obsługi różnych programów wspomagających projektowanie budynków w standardzie BIM, a także tworzenie warsztatów, tutoriali i doskonalenie umiejętności praktycznych poprzez wykonywanie projektów instalacji HVAC w tych programach; grupa współpracuje ze studentami kierunku budownictwo wraz z kołem naukowym kierunku budownictwo,



- licea – projekt, którego celem jest promocja kierunku inżynieria środowiska i Politechniki Poznańskiej wśród licealistów i uczniów techników poprzez organizację wycieczek, spotkań i wykładów,
- spotkania członków KNIŚ – regularnie odbywający się (ok. 3-4 razy na semestr) panel dyskusyjny z prezentacjami merytorycznymi, które przygotowują członkowie KNIŚ,
- sztuka prezentacji – projekt, w ramach którego studenci uczą się tworzenia i wygłaszania prezentacji, a zarazem przyswajają nową wiedzę, nieobjętą zwykle programem studiów; prezentacje są tworzone zazwyczaj na podstawie przeglądu artykułów z renomowanych międzynarodowych czasopism, co przygotowuje studentów do pisania prac magisterskich oraz otwiera na możliwość skorzystania ze światowej bazy dorobku naukowego,
- wyjścia na budowy – celem projektu jest umożliwienie członkom KNIŚ wizyty na placach budów pod okiem kierowników robót sanitarnych; KNIŚ było obecne na większości prestiżowych inwestycji w Wielkopolsce takich jak np. budowa fabryki Volksvagena, budowa nowego dworca PKP Poznań czy budowa Urzędu Marszałkowskiego w Poznaniu,
- szkolenia i warsztaty – stały projekt, w ramach którego organizowane są szkolenia warsztaty z zakresu projektowania i eksploatacji instalacji HVAC, a także obsługi programów wspierających prace projektanta instalacji HVAC.

#### **Dyplomy, nagrody i wyróżnienia za osiągnięcia organizacyjne**

Za zaangażowanie w działalność Koła Naukowego Inżynierii Środowiska w roku 2013 otrzymałem **Nagrodę Rektora za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2012/2013.**

Za całokształt osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych otrzymałem w roku 2020 **Specjalną Nagrodę Rektora Politechniki Poznańskiej za wybitne osiągnięcia dydaktyczne w roku 2019.**

**2021.01** – podziękowanie za zaangażowanie na rzecz promocji kierunku inżynieria Środowiska oraz wsparcia i pomoc podczas przygotowania scenariusza i realizacji filmu promującego kierunek Inżynieria Środowiska Politechniki Poznańskiej. **List Rektora PP.**



## 8. Tabelaaryczne zestawienie danych nauko-metrycznych dorobku

Tabela 8. Zestawienie danych nauko-metrycznych wszystkich publikacji

Poz.	Udział	IF	Punkty (całość)	Punkty (udział)	Cytowania			
					Scopus		Google Scholar	
					Łącznie	Bez autocyt.	Łącznie	Bez autocyt.
[1]	70%	8.001	140	98	12	11	13	12
[2]	70%	3.004	140	98	2	2	3	3
[3]	70%	4.284	100	70	11	10	13	12
[4]	40%	5.879	140	56	15	11	17	13
[5]	40%		70	28	3	2	8	5
[6]	40%		20	8	-	-	6	2
[7]	100%	3.004	140	140	3	2	3	2
[8]	20%	3.741	100	20	9	6	10	6
[9]	30%		20	6	7	6	7	6
[10]	65%		6	3,9	-	-	13	7
[11]	65%		6	3,9	-	-	9	6
[12]	65%		6	3,9	-	-	3	3
[13]	65%		5	3,25	-	-	2	1
[14]	65%		4	2,6	-	-	5	0
[15]	65%		5	3,25	-	-	3	1
[16]	50%		6	3	-	-	0	0
[17]	70%		7	4,9	-	-	4	3
[18]	100%		20	20	-	-	0	0
[19]	50%		10	5	-	-	6	3
[20]	70%		10	7	-	-	5	1
[21]	50%		5	2,5	-	-	10	3
[22]	70%		15	10,5	35	27	48	39
[23]	100%	8.426	45 (200*)	45 (200*)	43	37	29	25
[24]	25%		6	1,5	-	-	9	5
[25]	25%		6	1,5	-	-	4	2
[26]	33%		2	0,7	-	-	3	2
[27]	33%		7	2,3	-	-	3	1
[28]	33%		2	0,7	-	-	1	0
[29]	33%		7	2,3	-	-	2	0
[30]	50%		10	5	-	-	17	7
[31]	33%		5	1,7	-	-	5	3
[32]	20%	3.004	140	28	2	0	2	0
[33]	70%		5	3,5	-	-	2	1
[34]	70%		5	3,5	-	-	1	1
[35]	14%	3.004	140	19,6	2	2	2	2
[36]	33%		5	1,7	-	-	1	1



[37]	33%		5	1,7	-	-	0	0
[38]	100%	3.004	140	140	0	0	0	0
[39]	65%		5	3,25	3	3	8	7
[40]	65%		4	2,6	-	-	0	0
[41]	65%		5	3,25	-	-	0	0
[42]	25%		-	-	-	-	-	-
[43]	33%		-	-	-	-	1	0
[44]	20%		-	-	-	-	-	-
[45]	50%		-	-	-	-	-	-
[46]	50%		5	2,5	-	-	0	0
[47]	100%		-	-	-	-	-	-
[48]	100%		-	-	-	-	-	-
[49]	50%		15	7,5	3	3	8	7
[50]	30%		15	5	0	0	1	0
[51]	100%		-	-	-	-	5	3
[52]	50%		0	0	-	-	0	0
[53]	50%		0	0	-	-	0	0
[54]	50%		80	40	-	-	-	-
[55]	50%		80	40	-	-	-	-
<b>Suma</b>	-	<b>45.351</b>	<b>1746</b>	<b>975,2</b>	<b>150</b>	<b>122</b>	<b>292</b>	<b>195</b>
			<b>1901*)</b>	<b>1130,2*)</b>				

\*) Z powodu zmiany skali w punktacji ministerialnej, dla artykułu [23] przyjęto punktację wg listy z 2019 r. tzn. 200 pkt. zamiast 45 pkt. jak wg listy z roku 2018

**Tabela 9.** Podsumowanie wszystkich cytowań publikacji i indeks Hirscha

Źródło:	Liczba cytowań		Indeks Hirscha	
	ogółem	bez autocytowań	ogółem	bez autocytowań
Scopus <sup>a)</sup>	150	122	7	6
Scopus <sup>b)</sup>	195	156		
Google Scholar	292	195	9	7

<sup>a)</sup> dotyczy tylko publikacji indeksowanych w bazie Scopus

<sup>b)</sup> dotyczy publikacji indeksowanych i nieindeksowanych w bazie Scopus

*Łukasz Amanowicz*