

Gliwice, 12.11.2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Moniki JAKUBIAK
pt.: „Wybór energo optymalnego odzysku ciepła i konfiguracji chłodziw w centralach
systemów klimatyzacyjnych pomieszczeń czystych”

wykonanej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Mieczysława Porowskiego, prof. PP

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego o sygnaturze WISIE.63.59.2025 z dnia 18 września 2025 r. wystosowane zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 16 września 2025 r.

Recenzję wykonano w oparciu o dostarczony egzemplarz pracy doktorskiej.

2. Zasadność podjętej tematyki

W dobie intensywnego rozwoju zaawansowanych technologii rośnie zapotrzebowanie na pomieszczenia czyste (ang. *cleanrooms*), w których kontroluje się nie tylko stężenie cząstek i mikroorganizmów, ale także parametry ciepłno-wilgotnościowe powietrza. Z definicji systemy HVAC (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) w takich obiektach muszą spełniać znacznie bardziej restrykcyjne wymagania niż standardowe budynki użytkowe, co wpływa na ich znaczną energochłonność. Literatura wskazuje, że systemy HVAC w pomieszczeniach czystych należą do najbardziej energochłonnych elementów infrastruktury i odpowiadają za znaczną część całkowitego zużycia energii w tego typu obiektach. Ponadto, współczynnik zużycia energii w pomieszczeniach czystych może być wielokrotnie wyższy niż w budynkach komercyjnych – np. w przemyśle farmaceutycznym nawet 20-25 krotnie większy.

W tej sytuacji tematyka wyboru energo optymalnego odzysku ciepła oraz konfiguracji chłodziw w centralach klimatyzacyjnych dla pomieszczeń czystych jest w pełni uzasadniona. Z jednej strony – oszczędności energetyczne i redukcja zużycia energii pierwotnej tworzą realny potencjał poprawy efektywności i zgodności z celami zrównoważonego rozwoju. Z drugiej – istnieje luka metodologiczna w literaturze – choć publikowane są badania nad skutecznością odzysku ciepła czy różnych wariantów wentylacji w *cleanroomach*, zazwyczaj dotyczą one konkretnych fabryk i nie uwzględniają jednocześnie wielu kluczowych parametrów decyzyjnych takich jak klasa czystości, udział powietrza zewnętrznego, jednostkowe obciążenie chłodziw czy zróżnicowane warunki klimatyczne.

W świetle powyższego, przyjęta w rozprawie teza badawcza – mówiąca, że energooptymalne struktury systemów HVAC dla pomieszczeń czystych są funkcjami kombinacji głównych parametrów (klasy czystości, udziału powietrza zewnętrznego, jednostkowego obciążenia oraz klimatu) – wpisuje się w istotną i aktualną potrzebę badawczą. Realizacja symulacyjno-optymalizacyjna tej tezy oraz opracowanie narzędzi wspierających wybór optymalnych konfiguracji systemu stanowi wartościowy wkład zarówno w teorię, jak i praktykę projektowania systemów HVAC dla pomieszczeń czystych.

Zatem celowość podjęcia tej tematyki w pracy doktorskiej przez Panią mgr inż. Monikę Jakubiak jest słuszna i uzasadniona. Temat rozprawy został sformułowany prawidłowo.

3. Ogólna charakterystyka układu rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa napisana jest w języku polskim i liczy 151 stron. Praca obejmuje: 13 numerowanych rozdziałów zawierających 19 tabel, 24 rysunki, spis 52 cytowanych pozycji bibliograficznych i 4 załączniki, a także streszczenia w języku polskim i angielskim i wykaz ważniejszych oznaczeń umieszczone na początku pracy.

W rozprawie doktorskiej w części studialnej zamieszczono następujące rozdziały: *Wprowadzenie i geneza podjęcia badań, Klasyfikacja pomieszczeń czystych, parametry powietrza wewnętrznego oraz Stan badań nad optymalizacją systemów HVAC pomieszczeń czystych*. Następnie zdefiniowano *Problem badawczy, cel i tezę pracy*.

W badawczej części pracy Doktorantka przedstawiła kolejno rozdziały: *Zagadnienie optymalizacji i metoda rozwiązania w aplikacji do wyznaczania optymalnej recyrkulacji, odzysku ciepła i układu chłodziw w centralach systemów, Dopuszczalne struktury systemu HVAC pomieszczeń czystych, Optymalne struktury układów recyrkulacji powietrza w systemach HVAC pomieszczeń czystych, Optymalne układy odzysku ciepła w systemach HVAC pomieszczeń czystych, Optymalne układy konfiguracji chłodziw powietrza w centralach klimatyzacyjnych systemów HVAC pomieszczeń czystych, Weryfikacja wyników obliczeń symulacyjnych oraz Podsumowanie*. Część badawcza pracy jest uzupełniona danymi i analizami zawartymi w *Załącznikach*.

Układ pracy należy uznać za prawidłowy.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Część studialną pracy rozpoczyna wprowadzenie do tematu, które zawiera krótkie uzasadnienie wyboru tematyki badawczej wynikające z potrzeby zmniejszenia zużycia energii przez systemy HVAC przy jednoczesnym zapewnieniu wymaganych parametrów środowiska wewnętrznego w pomieszczeniach czystych. Doktorantka wskazuje, że rozwój nowoczesnych technologii znacząco zwiększa zapotrzebowanie na pomieszczenia czyste, stosowane m.in. w przemyśle półprzewodnikowym, biotechnologicznym i medycznym. Utrzymanie w nich wysokich standardów czystości, stabilnej temperatury, wilgotności i ciśnienia wymaga stosowania zaawansowanych systemów HVAC, które należą do najbardziej energochłonnych elementów infrastruktury przemysłowej. Autorka przywołuje dane literaturowe wskazujące, że zużycie energii w pomieszczeniach czystych może przekraczać 10 000 kWh/m² rocznie, a systemy HVAC odpowiadają za 30–65% całkowitego zapotrzebowania na energię.

W rozdziale *Klasyfikacja pomieszczeń czystych, parametry powietrza wewnętrznego* Doktorantka przedstawia zasady klasyfikacji pomieszczeń czystych według norm krajowych i międzynarodowych, w tym Federal Standard 209E oraz ISO 14644-1. Omówiono podział na klasy czystości pyłowej i mikrobiologicznej oraz zależności między tymi systemami klasyfikacji. W dalszej części określono wymagane parametry powietrza wewnętrznego – temperaturę i wilgotność względną – uzależnione od

funkcji pomieszczenia i branży. Przytoczono normy i zalecenia dotyczące m.in. obiektów medycznych, laboratoriów biotechnologicznych, fabryk półprzewodników i przemysłu farmaceutycznego, podkreślając konieczność indywidualnego dostosowania parametrów mikroklimatu do specyfiki procesu technologicznego i wymagań jakościowych produktu.

W rozdziale 3 obejmującym trzy podrozdziały opisano aktualny stan wiedzy związany z tematem rozprawy. Doktorantka dokonała przeglądu literatury dotyczącej optymalizacji systemów HVAC w pomieszczeniach czystych. Omówiono dwa główne kierunki badań: optymalizację struktury systemów oraz optymalizację algorytmów sterowania. W pierwszym zakresie przedstawiono przykłady modyfikacji układów central wentylacyjnych, konfiguracji komponentów oraz rozwiązań odzysku ciepła, które prowadzą do znaczących oszczędności energii, redukcji strat przesyłowych i poprawy efektywności chłodzenia. W drugim obszarze zaprezentowano nowoczesne strategie sterowania oparte na modelach inteligentnych, adaptacyjnych i probabilistycznych, umożliwiające dostosowanie pracy systemu do zmiennych warunków eksploatacyjnych. Autorka podkreśla, że rozwój tych metod stanowi kluczowy kierunek działań na rzecz ograniczenia energochłonności pomieszczeń czystych przy zachowaniu stabilnych warunków mikroklimatycznych. Doktorantka identyfikuje lukę badawczą polegającą na braku holistycznej metodologii wyznaczania struktur optymalnych systemów HVAC w zależności od kluczowych parametrów, takich jak klasa czystości, udział powietrza zewnętrznego, obciążenie chłodnicze i uwarunkowania klimatyczne, co stanowi podstawę podjętych badań.

Oceniając opisany w części studialnej zestaw literatury, należy podkreślić jego wysoki poziom aktualności i kompletności. Niemal połowa pozycji bibliograficznych (ok. 44%) pochodzi z ostatnich pięciu lat, a ponad połowa (ok. 58%) z okresu nie dłuższego niż dziesięć lat. Wskazuje to na bardzo dobre osadzenie pracy w najnowszym dorobku naukowym dotyczącym energooszczędnych systemów HVAC w pomieszczeniach czystych. Literatura obejmuje zarówno źródła naukowe, jak i normatywne – siedem pozycji stanowią normy i akty prawne, w tym kluczowe dokumenty ISO 14644-1, DIN 1946-4, GMP EU oraz wytyczne krajowe. Wśród badań dominują opracowania azjatyckie, co odzwierciedla globalny układ ośrodków badawczych w branży półprzewodników, ale obecne są również aktualne źródła europejskie (np. Eindhoven University of Technology). Całość literatury jest spójna tematycznie, reprezentatywna dla aktualnego stanu wiedzy oraz dobrze zrównoważona między źródłami teoretycznymi, normatywnymi i praktycznymi. Wprawdzie Doktorantka przywołała w części studialnej jedynie 43 pozycje literaturowe, co w obecnych czasach, przy szerokim i łatwym dostępie do wyników badań naukowych, może wydawać się liczbą stosunkowo skromną. Należy jednak zauważyć, że problematyka pomieszczeń czystych, szczególnie w kontekście energooptymalizacji systemów HVAC, stanowi obszar bardzo wąski i wyspecjalizowany, w którym liczba dostępnych, wartościowych publikacji jest ograniczona. W tym kontekście dobór źródeł należy ocenić jako trafny i reprezentatywny – obejmuje on zarówno uznane normy międzynarodowe, jak i aktualne wyniki badań publikowane w renomowanych czasopismach naukowych, co zapewnia solidne podstawy merytoryczne opracowania. Przeprowadzenie syntetycznej analizy danych literaturowych pozwoliło na jasne określenie luki badawczej i wskazuje na zadowalającą umiejętność Doktorantki do poszukiwania i systematyzowania wiedzy naukowej.

W rozdziale 4 sformułowano problem badawczy i określono cel i tezę pracy. Doktorantka następująco określiła problem badawczy: *brak metody wyznaczania energooptymalnych struktur systemów HVAC pomieszczeń czystych uwzględniającej dopuszczalne konfiguracje komponentów realizujących elementarne przemiany obróbki termodynamicznej powietrza – dotyczy to zwłaszcza wyboru optymalnej opcji odzysku ciepła i konfiguracji chłodnic w centralach klimatyzacyjnych.*

Celem naukowym rozprawy było więc *opracowanie procedury optymalizacyjnej i wyznaczenie struktur systemów HVAC pomieszczeń czystych realizujących energooptymalną obróbkę termodynamiczną powietrza.*

Teza rozprawy doktorskiej brzmi: *energooptymalne struktury systemów HVAC pomieszczeń czystych, w tym opcje układu odzysku ciepła i konfiguracji chłodziń powietrza w centralach klimatyzacyjnych, są funkcjami kombinacji kluczowych parametrów: klasy czystości, udziału powietrza zewnętrznego, jednostkowego obciążenia chłodniczego oraz parametrów klimatu zewnętrznego.*

Postawiony cel można uznać za słuszny w omawianym obszarze badawczym i mający praktyczne zastosowanie w obszarze projektowania i eksploatacji systemów HVAC pomieszczeń czystych. Osiągnięcie celu głównego wymagało zrealizowania przez Doktorantkę zadań szczegółowych, takich jak: opracowanie opisu matematycznego systemu HVAC pomieszczenia czystego z wykorzystaniem wektora funkcji parametrów stałych i zmiennych decyzyjnych; wyznaczenie zbioru dopuszczalnych wariantów spełniających określone ograniczenia funkcjonalne; identyfikację struktur systemów HVAC z optymalnymi opcjami recyrkulacji w zależności od klasy czystości, udziału powietrza zewnętrznego i obciążenia chłodniczego; określenie optymalnych układów odzysku ciepła oraz konfiguracji układów chłodziń w funkcji zmiennych warunków klimatycznych.

Zastosowanie analizy systemowej, modelowania symulacyjnego oraz optymalizacji wielopoziomowej jako narzędzi badawczych należy ocenić jako trafne i adekwatne do złożoności problematyki systemów HVAC w pomieszczeniach czystych. Wskazanie, że trzy pierwsze zadania badawcze oparto na wcześniejszych pracach Porowskiego i Porowskiego i Jakubiak, świadczy o logicznej kontynuacji i rozwinięciu istniejących badań. Jednocześnie opracowanie autorskich algorytmów dotyczących optymalizacji odzysku ciepła i konfiguracji układów chłodziń stanowi istotny wkład oryginalny w dziedzinę, nadając pracy charakter nowatorski i aplikacyjny.

W części analityczno-obliczeniowej pracy najpierw opisano algorytm rozwiązania problemu badawczego – metodę wyboru energooptymalnego systemu HVAC, a następnie przedstawiono wyniki symulacji numerycznych rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną analizowanych wariantów systemów HVAC dla różnych klimatów zewnętrznych

W rozdziale 5, omówiono model optymalizacji proponowanego systemu oraz procedurę optymalizacyjną. Opisano parametry stałe i zmienne decyzyjne. Funkcją celu na każdym etapie wyznaczania wariantów optymalnych było minimum zapotrzebowania na energię pierwotną. Jako narzędzie wyznaczania funkcji celu wykorzystano modele symulacyjne działania systemu HVAC w ciągu całego roku, a dla wyznaczenia wariantu optymalnego metodą bezpośredniego wyszukiwania. W pracy poprawnie przedstawiono procedurę wyznaczania wariantów optymalnych systemu HVAC, jednakże w opisie zabrakło uzasadnienia wyboru zastosowanej metody optymalizacji. Wskazanie przyczyn, dla których wybrano metodę bezpośredniego wyszukiwania – na przykład ze względu na charakter funkcji celu, brak jej analitycznej postaci lub złożoność problemu – pozwoliłoby lepiej ocenić trafność przyjętego podejścia oraz jego adekwatność do rozwiązania postawionych zadań badawczych.

W rozdziale 6 opisano dopuszczalne struktury systemu HVAC. Jako parametry stałe przyjęto: temperaturę i wilgotność względną powietrza, dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń, klasę czystości, nadciśnienie w pomieszczeniu oraz udział powietrza zewnętrznego w powietrzu nawiewanym. Natomiast kombinacje zmiennych decyzyjnych ujęte w kolejnych macierzach normowania parametrów stałych były podzbiorami zbioru następujących zmiennych: rodzaj nośników ciepła lub chłodu doprowadzone do pomieszczeń, typ systemu obróbki powietrza, rodzaj nawilżania, lokalizacja nawilżaczy, rodzaj osuszania, lokalizacja osuszaczy, liczba central klimatyzacyjnych, elementy centrali, rodzaj odzysku ciepła, lokalizacja centrali klimatyzacyjnej, wykonanie wentylatorów nawiewnych

i wywiewnych, rodzaj urządzeń końcowych w pomieszczeniach klimatyzowanych, liczba stopni filtracji, klasa filtrów i ich lokalizacja, sposób regulacji przepływu powietrza w instalacji, wydajność urządzeń oraz moc akustyczna i widmo hałasu. W kolejnym etapie zidentyfikowano strukturę 19 wariantów dopuszczalnych systemu HVAC pomieszczenia czystego.

W rozdziale 7 określono optymalne struktury układów recyrkulacji powietrza w systemach HVAC pomieszczeń czystych. Na podstawie algorytmu zaprezentowanego we wcześniejszych pracach, wyznaczone zostały struktury systemów HVAC z energooptymalnymi opcjami recyrkulacji w funkcji kluczowych parametrów stałych: klasy czystości pomieszczenia, jednostkowych obciążeń chłodniczych oraz udziału powietrza zewnętrznego. Wyznaczone struktury systemów HVAC z optymalnymi opcjami recyrkulacji stały się wariantami dopuszczalnymi dla realizacji kolejnych zadań: wyznaczenia optymalnych układów odzysku ciepła oraz optymalnych konfiguracji chłodnic powietrza w centralach klimatyzacyjnych systemów HVAC pomieszczeń czystych.

Rozdziały 8 i 9 przedstawiają wyniki symulacji i wybór energooptymalnych rozwiązań kolejno dla układu odzysku ciepła oraz układu konfiguracji chłodnic powietrza. Obliczenia przeprowadzono dla czterech wariantów klimatu zewnętrznego: klimat kontynentalny (Poznań, Polska), klimat subarktyczny (Irkuck, Rosja), klimat subtropikalny (Sao Paulo, Brazylia) i klimat subtropikalny (Taipei, Tajwan). W opisie źródeł danych klimatycznych należałoby doprecyzować, czy wykorzystane dane pochodzące z bazy NSRDB mają charakter standardowych danych typu TMY (*Typical Meteorological Year*). Określenie „dane pobrano z NSRDB” jest zbyt ogólne – baza ta udostępnia zarówno dane surowe (rzeczywiste, czasowo zmienne), jak i dane typowe (TMY), które są statystycznie uśrednione i w efekcie „spłaszczone” w stosunku do danych rzeczywistych, tj. pozbawione ekstremalnych wartości temperatury, wilgotności i promieniowania. Wskazanie, że użyto danych TMY, byłoby istotne z punktu widzenia interpretacji wyników optymalizacji energetycznej, ponieważ dane te lepiej reprezentują przeciętne warunki klimatyczne, ale mogą nie odzwierciedlać rzeczywistych szczytowych obciążeń chłodniczych czy grzewczych.

W sumie przeprowadzono 96 symulacji na etapie wyznaczania optymalnej opcji odzysku ciepła i 32 symulacje na etapie wyznaczania optymalnej konfiguracji chłodnic w centralach, każda dla całego roku. Brakuje wyraźnej informacji, że obliczenia były wykonywane z krokiem 1 godziny. Można się tego domyślić na podstawie schematycznie przedstawionych algorytmów modelu symulacyjnego (np. rys. 8.6), jednak taka informacja w tekście (z podaniem uzasadnienia dla wyboru kroku symulacji) byłaby wskazana. Wynikiem obliczeń była energia użytkowa, która następnie była przeliczana na energię końcową oraz pierwotną biorąc pod uwagę średniosezonowe sprawności urządzeń oraz współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej. Wykazano, że zastosowanie odzysku ciepła w systemach bez recyrkulacji lub z recyrkulacją wewnętrzną jest energetycznie uzasadnione w klimacie kontynentalnym i subarktycznym, szczególnie przy użyciu regeneratora sorpcyjnego. Dla klimatu subtropikalnego opłacalność potwierdzono jedynie w tym wariantcie. Natomiast w systemach z recyrkulacją zewnętrzną lub mieszaną zastosowanie odzysku ciepła nie przynosi korzyści energetycznych. Stwierdzono również, że efektywność chłodzenia dwutemperaturowego zależy od klimatu – jest nieuzasadniona w chłodniejszym, a korzystna w subtropikalnym. Opracowane wykresy umożliwiają dobór optymalnych energetycznie opcji odzysku ciepła i konfiguracji chłodnic w zależności od klasy czystości, obciążenia chłodniczego i udziału powietrza zewnętrznego.

W rozdziale 10 przedstawiono weryfikację wyników obliczeń symulacyjnych. Weryfikacji tych obliczeń dokonano na podstawie porównania otrzymanych wyników autorskich z wynikami badań dostępnymi w literaturze uzyskując akceptowalną zgodność obu wyników obliczeń. Z kolei rozdział 11

to podsumowanie badań, gdzie Doktorantka zawarła ogólne wnioski z pracy, które potwierdziły postawioną na początku pracy tezę.

Analizując treść pracy i opis wyników należy stwierdzić, że Doktorantka wykazała się umiejętnością analizy wyników badań i ich opracowania graficznego i syntetycznego podsumowania. Szkoda jednak, że nie skonfrontowano rezultatów badań z innymi dostępnymi w doniesieniach literaturowych, co jest podstawą dyskusji prac naukowych. Nie zawarto także ograniczeń badań i kierunków dalszych prac w zakresie optymalizacji układów odzysku ciepła i chłodziw w centralach systemów klimatyzacyjnych pomieszczeń czystych.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. W rozprawie pojawia się sformułowanie „*obróbka termodynamiczna powietrza*”, które nie jest powszechnie stosowane w literaturze technicznej ani normach branżowych dotyczących systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. W kontekście układów HVAC oraz central klimatyzacyjnych właściwszym i bardziej zgodnym z terminologią norm (np. PN-EN 16798-3) określeniem byłoby „*uzdatnianie powietrza*” lub ewentualnie „*obróbka powietrza*”. Terminy te obejmują procesy ogrzewania, chłodzenia, osuszania, nawilżania oraz filtracji, a więc w sposób pełniejszy i precyzyjniejszy opisują zjawiska zachodzące w centralach klimatyzacyjnych.
2. Zapis „*dane klimatyczne dla klimatu kontynentalnego pochodzą z materiałów dostępnych na stronie rządowej*” wymaga doprecyzowania, o jakie źródło chodzi.
3. Sprawność odzysku ciepła stanowiła kluczowy parametr w przeprowadzonej analizie, dlatego wskazane byłoby doprecyzowanie metody jej wyznaczenia oraz wskazanie, czy była ona zależna od parametrów pracy systemu, np. zmian strumienia powietrza.
4. Sposób ujęcia w obliczeniach sprawności całkowitej systemu chłodu wymaga doprecyzowania. We wzorze 8.1 przyjęto wartość średniosezonową, podczas gdy w rozdziale 8.3.2 wskazano, że współczynnik EER oraz energia końcowa były wyznaczane dla każdego i-tego kroku symulacji. Należy wyjaśnić, w jaki sposób powiązano te dwa podejścia w procesie obliczeniowym.
5. W obliczeniach przyjęto stałe jednostkowe obciążenie chłodnicze pomieszczenia zarówno w ujęciu dobowym, jak i rocznym, co stanowi uproszczenie zakładające niezmiennosc bilansu ciepło-wilgotnościowego. W rzeczywistych warunkach obciążenie to ulega jednak zmianom w zależności od pory dnia, roku oraz warunków eksploatacyjnych. Zasadne byłoby odniesienie się do tej kwestii i wskazanie, w jakim stopniu przyjęte założenie mogło wpłynąć na uzyskane wyniki optymalizacji oraz sformułowane wnioski.
6. Doktorantka przeprowadziła weryfikację modelu symulacyjnego, porównując uzyskane wyniki z wynikami obliczeń dostępnymi w literaturze. Czy rozważano również weryfikację modelu na podstawie danych pomiarowych lub czy taka weryfikacja jest planowana w dalszych etapach badań?
7. W pracy rozważano oddzielnie dobór energetycznie optymalnego układu odzysku ciepła oraz konfiguracji chłodziw w centralach klimatyzacyjnych pomieszczeń czystych. Czy możliwe byłoby przeprowadzenie optymalizacji zintegrowanej, obejmującej jednocześnie oba te podsystemy, co mogłoby prowadzić do uzyskania bardziej kompleksowych i potencjalnie korzystniejszych energetycznie rozwiązań w stosunku do tych które przedstawiono w pracy?

6. Ocena strony redakcyjnej i językowej

Rozprawa została napisana poprawnym i zrozumiałym językiem naukowym. Tekst jest logicznie uporządkowany, a układ pracy przejrzysty i zgodny z zasadami redakcji prac naukowych. Styl

wypowiedzi jest spójny i adekwatny do charakteru rozprawy. Zauważono jedynie nieliczne drobne błędy literowe i stylistyczne (kilka z nich wymieniam poniżej), które nie wpływają na czytelność ani merytoryczną wartość pracy. Ogólnie strona redakcyjna i językowa opracowania zasługuje na pozytywną ocenę.

- Na str. 12 powinno być „coraz” a nie „co raz”.
- Na str. 14 powinno być „liczbę cząstek” a nie „liczba cząstek”.
- Na str. 14 powinno być „zalecanych” a nie „zaleanych”.
- na str. 18 powinno być „fabryka farmaceutyczna” lub „fabryki farmaceutyczne” zamiast „fabryka farmaceutyczne”.
- Na str. 19 powinno być „Wykazali, że przez zastosowanie opcji „Partially decupled option”...” zamiast „Wykazali, iż poprzez zastosowanie opcji „Partially decupled option”...”.
- Na str. 20 powinno być „...prowadzili Chen i in. [27]” zamiast „...prowadzili Chena i in. [27]”.
- Na str. 22 powinno być „Udowodniono, że przez zastosowanie strategii...” zamiast „Udowodniono, iż poprzez zastosowanie strategii...”.
- Na str. 24 powinno być „...klasę czystości, temperaturę, wilgotność względną, prędkość powietrza...” zamiast „...klasę czystości, temperaturę, wilgotność, względną prędkość powietrza...”.
- Na str. 24 powinno być „rys. 5.1” zamiast „rys. 1”.
- Na str. 30, w tym zdaniu czegoś brakuje „...na metodzie opracowanej przez Porowskiego [44] systemu HVAC wykorzystano analizę systemową...”.
- Na str. 38 powinno być „...niebezpieczeństwo zamarznięcia chłodnicy...” zamiast „...niebezpieczeństwo zamarznięcie chłodnicy...”.
- Na str. 65 powinno być „Liczba godzin” zamiast „Liczna godzin”.
- Na str. 73 powinno być „strat ciśnienia” zamiast „strat ciśnienie”.
- Rysunki 9.3, 9.4, 9.5 są mało czytelne.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedłożoną do oceny rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. W mojej opinii wnosi ona nowe i wartościowe aspekty w obszarze dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Tematyka pracy jest interesująca i, co istotne, ma charakter aplikacyjny. Doktorantka nie ustrzegła się drobnych usterek o charakterze redakcyjnym, stylistycznym i merytorycznym. Ich wskazanie powinno ułatwić Doktorantce poprawne opracowywanie tekstów publikacji w dalszej działalności naukowej. Zasadnicza, merytoryczna część pracy została przedstawiona w sposób właściwy i zgodny z zasadami opracowań naukowych. Zaprezentowany materiał badawczy jest spójny oraz wartościowy zarówno pod względem praktycznym, jak i naukowym. Wyniki badań dowodzą umiejętności Doktorantki w zakresie prowadzenia badań naukowych, opracowania i dyskusji wyników oraz formułowania wniosków.

Oceniając wartość naukową i poznawczą rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Jakubiak pt. „Wybór energooptimalnego odzysku ciepła i konfiguracji chłodnic w centralach systemów klimatyzacyjnych pomieszczeń czystych” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne zawarte w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2024 r., poz. 1571, z późn.zm.), dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Moniki Jakubiak do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Małgorzata Gypsa