



prof. dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz

Katedra Techniki Ciepłej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-950 Białystok.
tel. 571 443 089
505 835 170
e-mail: d.butrymowicz@pb.edu.pl

Białystok, 01.08.2023

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Anny Pacak

Modelowanie dystrybucji powietrza w płytowych wymiennikach ciepła o wysokiej sprawności stosowanych w systemach klimatyzacyjnych

Opinia została opracowana na zlecenie Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej, Pana Dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, Prof. uczelni, pismo W9/PW/369/2023 z dnia 23 maja 2023.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski.

I. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 126 stron. Rozprawa składa się z następujących części: wykazu oznaczeń, streszczenia w języku polskim i angielskim, Części teoretycznej I obejmującej rozdziały 1 do 8, Części II, tj. sformułowania celu, tezy i zakresu rozprawy, Części III do V prezentujących własny materiał badawczy oraz podsumowanie, obejmującej rozdziały 9 do 17, wykazu literatury, spisu rysunków i tabel. Zawartość poszczególnych rozdziałów obejmuje:

1. **Część I**, zawierająca wprowadzenie do podstaw teoretycznych działania układów chłodniczych i klimatyzacyjnych, opis układów chłodniczych sprężarkowych, opis układów sorpcyjnych zamkniętych oraz otwartych, a także sposobów podwyższania ich efektywności energetycznej, jak również aspekty projektowania pośrednich wymienników wyparych.
 2. **Część II**, w której został sformułowany cel, teza i zakres rozprawy.
 3. **Części III - V**. Doktorantka przedstawiła w tej części stanowisko badawcze oraz metodykę własnych prac badawczych, modelowanie numeryczne wyparych wymienników ciepła i walidację eksperymentalną, a także podsumowanie uzyskanych wyników.
- **Bibliografia** zawierająca wykaz 85 pozycji literatury, obejmuje ona najnowsze publikacje z renomowanych czasopism międzynarodowych oraz krajowych, publikacje książkowe z dziedziny chłodnictwa, klimatyzacji i wentylacji, normy techniczne, akty prawne oraz

Wydział Mechaniczno-Energetyczny
45/644/2023
Wpłynęło dnia 26.08.2023

1 z 8

dokumentację techniczną. W wykazie literatury zidentyfikowałem publikacje współautorskie Doktorantki, w tym: dwie publikacje w czasopiśmie *Building and Environment* [35, 77] (IF 7.4, 200 pkt w Wykazie MEiN); dwie publikacje w czasopiśmie *Energy Conversion Management* [43, 48] (IF 10.4, 200 pkt w Wykazie MEiN); trzy publikacje w czasopiśmie *International Communications in Heat and Mass Transfer* [51, 59, 79] (IF 7.0, 140 pkt w Wykazie MEiN); publikację w czasopiśmie *Applied Sciences* [59] (IF 2.83, 100 pkt w Wykazie MEiN); dwie publikacje w czasopiśmie *Applied Thermal Engineering* [74, 82] (IF 6.40, 140 pkt w Wykazie MEiN); dwie publikacje pokonferencyjne w E3S Web of Conferences [76, 78]. Wskazane powyżej publikacje są związane z zakresem rzeczowym rozprawy doktorskiej. Dorobek publikacyjny Doktorantki ujęty w wykazie literatury jest w mojej ocenie bardzo duży i obejmuje publikacje w renomowanych czasopismach naukowych; w 6 publikacjach Doktorantka jest pierwszym autorem.

Doktorantka wskazała, że rozprawa doktorska zrealizowana została ze środków NCBR w ramach projektów dofinansowanych w konkursach Lider X „Wysokoelektrywna jednostka wentylacyjno-klimatyzacyjna” oraz Lider XII „Niskoenergetyczny dwustopniowy system klimatyzacyjny wykorzystujący strefowe wymienniki wyparne”.

II. Cel i zakres rozprawy

Doktorantka sformułowała cel, zasadniczy zakres rozprawy oraz tezę w Części II rozprawy, wskazując za podstawowy cel analizę dystrybucji powietrza w wyparnych wymiennikach pośrednich oraz opracowanie urządzenia o gabarytach i kształcie umożliwiającym podwyższenie efektywności otwartego systemu sorpcyjnego.

Doktorantka sformułowała tezę w postaci jawnej w następującej postaci: „Zastosowanie wymiennika pośredniego wyparnego pozwala na podwyższenie efektywności otwartego sorpcyjnego systemu klimatyzacyjnego, stwarzając potencjał do jego komercjalizacji”. Tak postawiona bardzo ogólna teza dotyczy kwestii o raczej ugruntowanym charakterze, wobec czego rzeczywistym, kluczowym wyzwaniem podejmowanym w ramach rozprawy jest przeprowadzenie systematycznych badań w zakresie zjawisk przepływowych oraz transportu ciepła i masy w pośrednich wyparnych wymiennikach ciepła w zastosowaniu do systemów klimatyzacji.

Sformułowany został w sposób ogólny zakres rzeczowy prac badawczych, w którym Doktorantka wskazała cztery etapy prac obejmujące: przeprowadzenie badań eksperymentalnych wstępnych; weryfikację metody wyznaczenia strat ciśnienia w pośrednich wyparnych wymiennikach ciepła; analizę wpływu dystrybucji powietrza na efektywność pracy pośrednich wyparnych wymienników ciepła; modelowanie pośrednich wyparnych wymienników ciepła. W pracy podjęto badania nad trzema wymiennikami wyparnymi, w tym jednym stanowiącym własne oryginalne rozwiązanie Doktorantki.

Cel, zakres rzeczowy oraz teza rozprawy zostały sformułowane na podstawie ogólnej analizy dotychczasowego stanu wiedzy przedstawionej w Części I rozprawy doktorskiej w zakresie zagadnień dotyczących układów klimatyzacyjnych z wykorzystaniem pośrednich wyparnych wymienników ciepła. Niewątpliwie sformułowany cel oraz wskazany zakres rozprawy ze sobą w pełni korespondują, program prac o charakterze analitycznym oraz eksperymentalnym zaproponowany przez Doktorantkę ze sformulowanym celem oraz postawioną tezą w pełni

korespondują. W układzie pracy, przy tak postawionym celu oraz zakresie - znajdują się wątki o charakterze prac w zakresie projektowania pośrednich wyparnych wymienników ciepła. Należy wziąć pod uwagę, że rozprawa podejmuje zagadnienia aktualne, o otwartym charakterze badawczym, coraz intensywniej rozważane w literaturze naukowej i technicznej. W tym kontekście wskazany cel oraz tezę postawioną w rozprawie uznaję za adekwatne.

Biorąc pod uwagę zawarte w rozprawie rezultaty badań eksperymentalnych oraz analiz teoretycznych, w tym opartych na modelowaniu numerycznym – stwierdzam, że odpowiadają one sformułowanemu celowi rozprawy. Zakres rzeczowy rozprawy oraz zaproponowany jej zakres korespondują ze sformułowaną tezą rozprawy i pozwalają na uzyskanie rezultatów pozwalających na jej udowodnienie.

III. Treść rozprawy

We Wstępie rozprawy Doktorantka zamieściła omówienie ogólnych aspektów związanych z energochłonnością układów klimatyzacyjnych, a w tym obsługujących je układów chłodniczych. Doktorantka zaproponowała oryginalną klasyfikację układów produkujących chłód dla celów klimatyzacji, wyszczególniając dwie grupy urządzeń: sprężarkowe oraz sorpcyjne. W tej drugiej grupie wydzieliła grupę urządzeń pracujących w obiegu zamkniętym oraz układy pracujące w obiegu otwartym – które mają bezpośredni związek z przedmiotem ocenianej rozprawy, tj. zastosowanie pośrednich wymienników wyparnych. Omówione zostały obiegi realizowane w układach z powyżej wskazanych grup. W dalszej kolejności Doktorantka przedstawiła procesy chłodzenia wyparnego w układzie pośrednim, w tym chłodzenie wyparne punktu rosy, w którym dzięki przekierowaniu części powietrza z kanału suchego do kanału mokrego – możliwe jest schłodzenie obrabianego powietrza nawet do temperatury punktu rosy. Doktorantka omówiła przemiany zachodzące w powyżej wskazanych sposobach wyparnego chłodzenia powietrza, aspekty oceny sprawności tych sposobów oraz klasyfikację konfiguracji wyparnych wymienników ciepła. W dalszej kolejności w tej części rozprawy Doktorantka przedstawiła klasyfikację sposobów podwyższania efektywności energetycznej wyparnych wymienników ciepła oraz je scharakteryzowała. Szczególną uwagę zwróciła na zastosowanie wstępnego ochładzania powietrza przed osuszaniem powietrza drogą sorpcyjną (w tym z zastosowaniem koła dedykacyjnego). Następnie Doktorantka omówiła ogólne aspekty dotyczące projektowania wyparnych wymienników ciepła, w tym elementarne podstawy zagadnień modelowania transportu ciepła oraz zjawisk przepływowo-wych w wymiennikach ciepła. Tę część pracy kończy ogólne podsumowanie, w którym Doktorantka sformułowała ogólne aspekty dotyczące potrzeb badawczych w zakresie wyparnych wymienników ciepła, zwłaszcza w konfiguracji odpowiadającej wymiennikom w układzie pośrednim umożliwiającym osiągnięcie temperatury punktu rosy.

W II Części rozprawy zamieszczono sformułowanie celu, zakresu oraz tezy rozprawy – do czego odniosłem się w punkcie II niniejszej recenzji. Części od III od V rozprawy obejmują rezultaty stanowiące własne osiągnięcia badawcze Doktorantki.

W Części III w Rozdziale 9 zamieszczono opis stanowiska badawczego oraz zastosowanego wymiennika wyparnego będącego przedmiotem badań eksperymentalnych. Zamieszczono informacje o wyposażeniu pomiarowym, analizie błędów pomiarowych oraz procedurze badań eksperymentalnych. Badania w pierwszej części obejmowały warunki pracy układu obróbki powietrza z kołem dedykacyjnym bez chłodzenia powietrza na wlocie, a następnie z chłodzeniem z zastosowaniem wyparnego wymiennika ciepła punktu rosy. Przedstawiono

uzyskane wyniki badań eksperymentalnych oraz dokonano oceny efektywności pracy układu klimatyzacji dla obydwu wariantów, wskazując na korzystniejsze efekty procesu osuszania powietrza dla drugiego z wariantów, tj. z zastosowaniem wstępnego ochładzania powietrza przed układem osuszającym (kołem dedykacyjnym).

Część IV rozprawy dotyczy zagadnień wyznaczania strat ciśnienia w wyparnych wymiennikach ciepła. W Rozdziale 10 zostały przeanalizowane geometrie kanałów przepływowych w wymiennikach wyparnych w aspekcie identyfikacji charakteru przepływu w tych kanałach. W Rozdziale 11 zamieszczono dane empiryczne dla badanego wymiennika ciepła uwzględniające wymagania normy EN 308 udostępnione przez producenta wybranego wyparnego wymiennika ciepła. W Rozdziale 12 zamieszczono zależności korelacyjne na opory przepływu powietrza w kanałach wymienników o różnym kształcie przekroju oraz porównano uzyskane wyniki z danymi eksperymentalnymi producenta, wskazując na potrzebę rozwoju metod predykcji oporów przepływu w analizowanych wymiennikach ciepła. W Rozdziale 13 zamieszczono ogólną prezentację metody modelowania numerycznego wymiennika ciepła wraz z równaniami zachowania masy, pędu i energii, warunki brzegowe, walidację numeryczną modelu. Zamieszczono także walidację eksperymentalną modelu z wykorzystaniem danych eksperymentalnych producenta wybranego wymiennika ciepła, która w pełni potwierdziła dużą dokładność predykcji oporów przepływu powietrza w tym wymienniku. W oparciu o wyniki obliczeń numerycznych przeanalizowano pole prędkości powietrza w wymienniku. W Rozdziale 13.4 zamieszczono model wyparnego wymiennika ciepła oparty na równaniach transportu ciepła jawnego, transportu ciepła utajonego oraz transportu masy dla obydwu stron wymiennika ciepła (łącznie 6 równań różniczkowych zwyczajnych) opisujących jednowymiarowy, ustalony proces wymiany ciepła i masy w wyparnym wymienniku ciepła. Przedstawiono warunki brzegowe dla rozpatrywanego wymiennika ciepła. Przedstawiono wyniki obliczeń efektywności energetycznej analizowanego wyparnego wymiennika ciepła dla trzech poziomów zawartości wilgoci w powietrzu wlotowym oraz trzech prędkości powietrza w kanale wymiennika. W analizowanych przypadkach uzyskano wskaźnik efektywności energetycznej COP od 25 do 147. Uzyskane wyniki w Części IV rozprawy w sposób ogólny podsumowano w Rozdziale 14.

Część V rozprawy dotyczy zagadnień modelowania numerycznego wyparnych wymienników ciepła. W Rozdziale 15 przeanalizowano proponowaną konfigurację przepływu powietrza w wyparnym wymienniku punktu rosy dla rozwiązania wymiennika proponowanego przez Doktorantkę do zastosowania w centralach klimatyzacyjnych. Dokonano walidacji siatki numerycznej oraz kroku czasowego w modelu numerycznym analizowanego wymiennika. Przeanalizowano spadki ciśnienia oraz pola prędkości w analizowanym wymienniku dla różnych wysokości kanału dla dwóch przyjętych konfiguracji przepływu, tj. z otwartym lub zamkniętym kanałem wylotu z kanału mokrego. Przeanalizowano zagadnienie regulacji dystrybucji powietrza dla poszczególnych kanałów poprzez wprowadzenie dodatkowych oporów przepływu, które w modelu numerycznym uwzględniono w postaci dodatkowego członu źródłowego w równaniu ruchu opartym na modelu osrodka porowatego. Wykonano obliczenia predykcji parametrów powietrza wylotowego oraz efektywności energetycznej analizowanego wymiennika. W Rozdziale 16 Doktorantka zaproponowała własną geometrię płyt wymiennika dostosowanego do aplikacji w centrali klimatyzacyjnej. Przedstawiono warianty geometryczne tego wymiennika, przeanalizowano dystrybucję powietrza w kanałach wymiennika oraz wskaźniki efektywnościowe dla rozpatrywanego wymiennika. W oparciu o uzyskane wyniki numeryczne wykazano, że opracowany wymiennik charakteryzuje się

najwyższą wydajnością chłodniczą, jakkolwiek ma niższe wskaźniki efektywności energetycznej oraz sprawności punktu rosy w odniesieniu do rozwiązania wymiennika analizowanego w Rozdziale 15. Uzyskane wyniki w Części V rozprawy w sposób ogólny podsumowano w Rozdziale 17, przy czym wskazano an zakres uzyskanych sprawności punktu rosy od 0.64 do 0.90, względną wydajność chłodniczą od 8.5 do 11.8 kW/(m³/s) oraz efektywności energetycznej wymiennika wyparnego COP od 30 do 175. Wskazano na realizację prac badawczych w ramach projektów finansowanych przez NCBR w ramach programu Lider oraz wskazano na zakres rzeczowy przyszłych prac badawczych.

IV. Oryginalność i wartości poznawcze rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy z jednej strony rozpoznania zasadniczych kwestii związanych z osiągalnym poziomem wytwarzanej różnicy temperatur oraz związanej z nią wydajności chłodniczej oraz efektywności energetycznej wyparnego wymiennika ciepła punktu rosy dedykowanego do aplikacji w centralach klimatyzacyjnych. Z drugiej jednak strony, w rozprawie podjęto zagadnienia metodyczne stanowiące istotne osiągnięcie Doktorantki. W rozprawie podjęto w sposób oryginalny zagadnienia doboru kluczowych parametrów geometrycznych oraz parametrów pracy warunkujących prawidłową pracę wyparnego wymiennika ciepła punktu rosy. Podejmowane zagadnienia badawcze należą do obszaru dość intensywnie podejmowanego w literaturze naukowej, stąd uzyskanie wartościowych poznawczo rezultatów, w znaczącej mierze opublikowanych w licznych publikacjach w prestiżowych czasopismach naukowych, jest znaczącym osiągnięciem Doktorantki. Badania eksperymentalne wzbogacone szczegółowymi analizami obliczeniowymi zostały podjęte przez Doktorantkę w sposób oryginalny, twórczy oraz z zastosowaniem właściwych narzędzi metodycznych.

Za szczególne osiągnięcia Doktorantki uważam:

- opracowanie ramowego własnego rozwiązania wyparnego wymiennika ciepła punktu rosy dedykowanego do aplikacji w centralach klimatyzacyjnych pracujących z zastosowaniem koła dedykacyjnego;
- wykonanie systematycznych badań eksperymentalnych oraz analiz numerycznych w zakresie oporów przepływu oraz efektywności transportu ciepła i masy wraz z oceną efektywności energetycznej wyparnych wymienników ciepła punktu rosy.

Prezentowane w rozprawie rezultaty prac mają niewątpliwie oryginalny charakter. Uzyskany materiał badawczy pozwala na stwierdzenie, że cel oraz zakres recenzowanej rozprawy zostały w całości zrealizowane, zaś teza rozprawy udowodniona. Zaprezentowane w rozprawie rezultaty wnoszą wkład poznawczy w dziedzinie chłodnictwa i klimatyzacji – mieszczący się w obszarze dotyczącym dyscypliny: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

V. Wartości użytkowe rozprawy

W recenzowanej rozprawie podjęto zagadnienia dotyczące wprost potrzeb aplikacyjnych dla układów klimatyzacyjnych wynikających z chęci ograniczenia energochłonności tychże układów. W szczególności, podjęto zagadnienie zastosowania ciepła niskotemperaturowego do realizacji procesu ochładzania powietrza w układach klimatyzacji z zastosowaniem wyparnych wymienników ciepła punktu rosy współpracujących z urządzeniem sorpcyjnym, w tym przykładowo z kołem dedykacyjnym. Rozprawa doktorska koncentruje się wokół

zagadnienia opracowania własnego rozwiązania wymiennika wyparnego punktu rosy, który możliwy będzie do aplikacji w centralach klimatyzacyjnych wyposażonych w koło dedykacyjne. W podjętej systematycznej analizie uwzględniono wymagania normatywne oraz prawne w tym zakresie, dokonano oceny osiągalnych parametrów wydajnościowych oraz sprawnościowych dla zaproponowanego rozwiązania wyparnego wymiennika ciepła punktu rosy. Niewątpliwie przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej prace badawcze otwierają możliwości aplikacyjne opracowanego rozwiązania wymiennika w obszarze związanym z nowoczesną techniką chłodniczą klimatyzacyjną.

VI. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

VI.1. Uwagi o charakterze merytorycznym

W rozprawie zaprezentowano oryginalne ujęcie podejmowanego zagadnienia. Zaprezentowany w rozprawie materiał wymagał znacznego nakładu pracy oraz inwencji i stanowi niewątpliwie oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe Doktorantki. Poniższe uwagi, mające w dużej mierze charakter komentarzy bądź sugestii - nie umniejszają mojej jednoznacznie pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej i w znacznej mierze mają raczej charakter porządkowy, formalny bądź dyskusyjny.

1. W procedurze modelowania numerycznego wymiennika ciepła w Rozdziale 15 wskazano jedynie w postaci ogólnej na zastosowanie modelu ośrodka porowatego do modelowania lokalnych dodatkowych oporów przepływu w celu uzyskania żądanej dystrybucji powietrza w kanałach. Należałoby w przypadku zastosowania modelu ośrodka porowatego wskazać na przyjęte parametry tego ośrodka. Nie jest także jasne, w jaki sposób dokonywano obliczeń współczynników wnikania ciepła i masy w oparciu o obliczenia numeryczne, gdyż w Rozdziale 15.6 wskazano jedynie, że metoda ta została właśnie opisana w tym rozdziale. Najprawdopodobniej wyniki obliczeń CFD wykorzystano do modelu opartego na układzie równań różniczkowych zaprezentowanym w Rozdziale 13.4, jednakże wymagana byłaby dokładniejsza informacja w tym zakresie. W procedurze modelowania numerycznego nie podano informacji dotyczącej modelowania własności powietrza.
2. W rozprawie nie odniesiono się do zagadnień związanych z przepływem dwufazowym formującym się w kanałach mokrych i zagadnień predykcji przepływu w tych kanałach również w aspekcie oporów przepływu. Z uwagi na złożoność tego zagadnienia jest zrozumiałe, że w rozprawie niezbędne jest przyjęcie założeń upraszczających, które pozwolą na efektywną predykcję pracy wymiennika w oparciu o połączenie modelu CFD oraz modelu transportu ciepła i masy w ujęciu jednowymiarowym. Tym niemniej w rozprawie byłoby wskazane odniesienie do tego obszaru zagadnień.
3. Warto byłoby w rozprawie odnieść się do kwestii przyjętej definicji COP. W rozprawie urządzenia wyparno-sorpcyjne otwarte są traktowane jako urządzenia chłodnicze o napędzie cieplnym pracujące w układzie otwartym. Analogicznie, jak dla urządzeń chłodniczych o napędzie cieplnym pracujących w układzie zamkniętych – należałoby zatem rozważyć uwzględnienie w definicji COP ciepła napędowego, nie zaś tylko zużywanej mocy elektrycznej. Należy wziąć pod uwagę, że omawiane urządzenia są przecież napędzane łącznie mocą cieplną z dodatkowym udziałem mocy elektrycznej niezbędnej do transportu powietrza oraz wody.
4. Klasyfikacja typów układów chłodzących powietrza zaproponowana w Rozdziale 1.2 nie jest w pełni jasna co do kryteriów przyjętych do podziału układów sprężarkowych. W

układach zasilanych energią cieplną nie uwzględniono układów strumieniowych, które są również aplikowalne dla celów ochładzania powietrza dla systemów klimatyzacji.

5. Nie jest jasne stwierdzenie dotyczące zakresu stosowalności urządzeń chłodniczych adsorpcyjnych (str. 19): „dla agregatów adsorpcyjnych dolną granicą jest temperatura równa 60 °C, ale zakres pracy przekracza wartość temperatury równej 65 °C”. Należałoby także wskazać źródła stanowiące podstawę do oceny zakresu stosowalności urządzeń absorpcyjnych oraz adsorpcyjnych

VI. 2. Uwagi porządkowe

Należy podkreślić staranne przygotowanie rozprawy doktorskiej pod względem edytorskim. Zwraca uwagę przejrzystość tekstu, a także wysoka jakość rysunków. Poniżej zawarte uwagi nie wpływają na moją jednoznacznie bardzo wysoką ocenę rozprawy i mają w dużej mierze charakter sugestii, które pozwalam sobie wypunktować mając na uwadze potencjalne wykorzystanie materiału zawartego w rozprawie w dalszych publikacjach Doktorantki.

- W wielu miejscach w Części I rozprawy stosowane są nieprecyzyjnie zdefiniowane pojęcia lub sformułowania, często nie operujące w pełni adekwatną nomenklaturą, np. „konwersja energii elektrycznej w chłodniczą”; „:chłodnice w centralach są zasilane bezpośrednio mieszanką substancji”; „cykl przemian termodynamicznych podtrzymywany przez czynnik grzewczy”; „moc urządzenia zasilającego”; „chłodziwa o niskim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego”.
- W Rozdziale 3.1.2 w opisie układów adsorpcyjnych założono, że czynnikiem roboczym jest woda, jednakże w systemach tych są także stosowane inne czynniki robocze.
- Rysunek 10 – należałoby doprecyzować, czy intencją Autorki jest wskazanie na Rys. 10a na równość temperatur termometru mokrego i temperatury punktu rosy oraz parametrów punkty wylotowego 1 i wlotowego 2.
- W Rozdziale 9.1 (str. 55) wprowadza się pojęcie potencjału chemicznego pary wodnej i sugeruje użyteczność tego pojęcia w analizie procesów transportu ciepła i masy dla powietrza wilgotnego. Nie zamieszczono dla celów porządkowych definicji tego potencjału, natomiast ostatecznie nie wskazano w sposób przejrzysty sposobu wykorzystania tej wielkości w analizie procesów transportu ciepła i masy w powietrzu wilgotnym
- W Rozdziale 13.4, str. 78 – nie podano jednostki konwekcyjnego współczynnika wnikania masy, na str. 79 podano warunki brzegowe nie zaś początkowe, gdyż rozpatruje się zagadnienie ustalone w czasie.
- Str. 48, Tabela 2 – wielkością adekwatną dla opisu własności silikażelu powinno być zapewne jednostkowe ciepło adsorpcji oraz opcjonalnie ciepło właściwe.

Uwagi edytorskie:

- Str. 7 – „bazujące parowaniu wody”; str. 20 – „niską średniej temperaturę ścianki”; str. 29 – brak jednostki długości.
- W cytowanych publikacjach [35, 48, 77] należałoby podać nazwiska współautorów, w tym również nazwisko Doktorantki.

VII. Uwagi końcowe

Praca jest starannie zredagowana, stosowana jest w zasadniczej części pracy obejmującej części II do V prezentującej własne osiągnięcia naukowe poprawna nomenklatura naukowa oraz techniczna. W pracy zamieszczono w niej wiele informacji pozwalających na szczegółowe przeanalizowanie materiału badawczego. Podane uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny bądź porządkowy i powinny być traktowane raczej jako pomoc w zakresie wykorzystania uzyskanego materiału w dalszej pracy nad bardzo złożonymi zagadnieniami transportu ciepła i masy w wyparnych wymiennikach ciepła w zastosowaniu dla nowoczesnej techniki klimatyzacyjnej. Uwagi te nie pomniejszają wartości merytorycznej opiniowanej rozprawy.

VIII. Wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest poważną, wnoszącą wkład poznawczy oraz metodyczny pracą naukową. Doktorantka wykazała się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu metod właściwych dla termodynamiki i mechaniki płynów. W moim przekonaniu przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia zwyczajowe ramy stawiane pracom doktorskim, zarówno pod względem zakresu rzeczowego, jak poziomowi oryginalności osiągnięć poznawczych oraz metodycznych. Co więcej – istotnym walorem pracy są aspekty aplikacyjne w obszarze efektywnych energetycznie układów klimatyzacyjnych. Uwagę zwraca także bardzo dobrze opanowany, dojrzały warsztat pracy naukowej, czego efektem jest wiele krytycznych analiz zawartych w rozprawie. Zaprezentowana w rozprawie analiza stanowi rozwiązanie zadania naukowego i spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że:

1. Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Pacak spełnia wymagania Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.
2. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Dorota Kłyszowska