



dr hab. inż. Kamil Śmierciew

Katedra Budowy Maszyn i Techniki Ciepłej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-950 Białystok,
tel. 571 443 096
500 477 704
e-mail: k.smierciew@pb.edu.pl

Białystok, 29.04.2019

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Zbigniewa Rogali

Analiza termodynamiczna intensyfikacji procesów adsorpcyjnego suszenia powietrza w chłodnictwie

Opinia została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gnutka, prof. zw, który jest jednocześnie promotorem opiniowanej rozprawy.

Promotorem pomocniczym rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Piotr Kolasiński.

I. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 200 stron wraz z załącznikami. Rozprawa została napisana w całości w języku polskim. Rozprawa składa się z następujących części: **nienumerowanych** (w początkowej części pracy) - spis treści, spis rysunków, spis tabel, wstęp, teza, cel i zakres pracy; w końcowej części pracy są to: bibliografia i 4 załączniki; oraz części **numerowanych**: wprowadzenia (rozdział 1), opisu badań eksperymentalnych (rozdział 2), modelu zjawiska adsorpcji podczas fluidyzacji (rozdział 3), wpływu parametrów sterowania na pracę chłodziarki adsorpcyjnej (rozdział 4), analizy egzergetycznej fluidalnej chłodziarki adsorpcyjnej (rozdział 5) opisu potencjalnych metod intensyfikacji procesów adsorpcyjnych w chłodnictwie (rozdział 6) i podsumowania (rozdział 7). Praca nie zawiera streszczenia. Zawartość poszczególnych rozdziałów obejmuje:

Teza i cele rozprawy. Doktorant sformułował tezę rozprawy, cel i zakres pracy doktorskiej na początku rozprawy.

Wprowadzenie, w którym Autor nawiązuje do Protokołu Montrealskiego i konsekwencji jakie wynikają z jego wprowadzenia w zakresie czynników roboczych stosowanych w technice chłodniczej. Przedstawione zostały pokrótce alternatywne względem urządzeń sprężarkowych technologie chłodnicze. Doktorant podsumował również dotychczasowe prace badawcze zarówno eksperymentalne jak i modelowe dotyczące urządzeń adsorpcyjnych.

Badania eksperymentalne. W rozdziale przedstawiono zestawienie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych. Zaprezentowany został opis stanowiska badawczego, zakres badań realizowanych w ramach rozprawy, opis aparatury i procedury pomiarowej oraz analiza niepewności pomiarowych.

Model zjawiska adsorpcji podczas fluidyzacji. W rozdziale przedstawiony został autorski model opisujący zjawisko absorpcji pary wodnej przez silikażel wraz z walidacją na podstawie danych eksperymentalnych prezentowanych w poprzednim rozdziale.

Wpływ parametrów sterowania na pracę chłodziarki adsorpcyjnej, gdzie Doktorant przedstawia wyniki analizy teoretycznej wpływu parametrów pracy adsorpcyjnego złoża fluidalnego na efektywność adsorpcji i desorpcji oraz efektywność fluidalnej chłodziarki adsorpcyjnej. Analizie poddane zostały następujące parametry: średnica ziaren sorbentu, czas przełączania złoża, prędkość powietrza przepływającego przez złożo oraz wysokość napełnienia złoża.

Analiza egzergetyczna fluidalnej chłodziarki adsorpcyjnej. W Rozdziale pokazano wyniki analizy egzergetycznej fluidalnej chłodziarki adsorpcyjnej, której celem jest wskazanie komponentów odpowiedzialnych za największe straty egzergetyczne. Analiza i identyfikacja wspomnianych komponentów składowych umożliwia ich optymalizację, co przyczynia się do poprawy sprawności egzergetycznej.

Potencjalne metody intensyfikacji procesów adsorpcyjnych w chłodnictwie. W rozdziale Doktorant proponuje dwie możliwe drogi prowadzące do intensyfikacji procesów osuszania powietrza w chłodnictwie. Pierwszą jest modyfikacja kształtu ziarna adsorbentu, drugą jest zastosowanie układów wielozłożowych.

Podsumowanie całości rozprawy, gdzie dokonano podsumowania zakresu wykonanych prac jak również uzyskanych wyników. Sformułowane zostały wnioski.

Załączniki. Praca zawiera 4 załączniki. *Załącznik 1* zawiera wydruk skryptu, którego celem jest obróbka wyników uzyskanych w trakcie pomiarów. *Załącznik 2* to wydruk skryptu, który realizuje prezentowany w rozdziale 3 model obliczeniowy. Dla zadanych parametrów wejściowych, model zwraca w postaci graficznej przebiegi wybranych parametrów powietrza na wylocie ze złoża. *Załącznik 3* zawiera wydruk skryptu obliczeniowego wykorzystanego na potrzeby modelowania obiegu chłodziarki adsorpcyjnej, którego wyniki prezentowane są w rozdziale 4. *Załącznik 4* stanowi wydruk skryptu obliczeniowego użytego do analizy egzergetycznej obiegu chłodziarki adsorpcyjnej. Wszystkie skrypty zostały opracowane w języku PYTHON.

Zestawienie literaturowe zawierające wykaz 126 pozycji literatury, obejmujący zarówno pozycje klasyczne, jak również najnowsze publikacje, głównie z renomowanych czasopism międzynarodowych. W spisie literatury znalazło się wiele artykułów naukowych z renomowanych czasopism specjalistycznych z listy JCR oraz międzynarodowych czasopism specjalistycznych, pozycje książkowe, monograficzne, oraz raporty instytutowe i referaty konferencyjne. Doktorant cytuje 3 publikacje, których jest współautorem. Są to artykuły opublikowane w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR oraz 1 współautorski referat opublikowany w materiałach renomowanej międzynarodowej konferencji indeksowanej w bazie Web of Science, jak również 1 artykuł, którego Doktorant jest autorem samodzielnym, opublikowanym w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR.

II. Teza, cel i zakres rozprawy

Doktorant sformułował następujące tezy rozprawy:

- możliwa jest intensyfikacja procesów adsorpcyjnego suszenia powietrza poprzez zastosowanie fluidyzacji

- parametry procesowe takie jak średnica ziaren silikażelu, prędkość powietrza w złożu fluidalnym, czas przełączania złóż oraz wysokość zasypania złoża mają znaczący wpływ na procesy adsorpcyjnego suszenia powietrza
- podczas adsorpcji i desorpcji pary wodnej przez silikażel podczas fluidyzacji wymiana masy jest kontrolowana przez różne mechanizmy: podczas adsorpcji jest to konwekcja pary wodnej do powierzchni ziarna, podczas desorpcji jest to dyfuzja pary wodnej wewnątrz ziarna

Celem pracy jest analiza metod intensyfikacji procesów adsorpcji fizycznej w złożu fluidalnym poprzez określenie wpływu poszczególnych parametrów złoża fluidalnego takich jak np. średnica ziarna sorbentu czy prędkość powietrza w złożach, itp.

Zakres pracy obejmuje:

- Badania eksperymentalne zjawiska adsorpcji pary wodnej przez silikażel podczas fluidyzacji
- Opracowanie i walidacja modelu zjawiska adsorpcji
- Przeprowadzenie analizy teoretycznej wpływu wybranych parametrów pracy złoża fluidalnego
- Przeprowadzenie analizy egzergetycznej pozwalającej na identyfikację komponentów układu odpowiedzialnych za destrukcje egzergii w największym stopniu.

Tak zdefiniowana teza, cel oraz zakres pracy powala na stwierdzenie, że realizacja pracy doktorskiej *pozwoli na intensyfikację procesów adsorpcyjnego suszenia powietrza w urządzeniach chłodniczych i w ten sposób poprawę efektywności energetycznej*. Stwierdzenie to może być traktowane jako efekt naukowy rozprawy. Niewątpliwie sformułowana teza, cel oraz wskazany szczegółowy zakres rozprawy ze sobą w pełni korespondują.

Cel rozprawy jest sformułowany w sposób jasny i precyzyjny, zaś program prac o charakterze analitycznym oraz eksperymentalnym zaproponowany przez Doktoranta ze sformułowaniem celem zasadniczo koresponduje. Co więcej, w układzie pracy, przy tak postawionym celu oraz zakresie, znajdują się zarówno wątki o charakterze prac wymagających badań eksperymentalnych, jak również modelowania numerycznego, a uzyskane rezultaty pozwolą na udowodnienie tezy pracy.

III. Treść rozprawy

W rozdziale 1 zatytułowanym „Wprowadzenie”, Doktorant przywołał Protokół Montrealski jako podstawowy akt, który przyczynił się do rewolucji w technice chłodniczej. Związane jest to z koniecznością sukcesywnego wycofywania z użycia czynników destrukcyjne oddziałujących na warstwę ozonową, na rzecz nowych, bezpiecznych dla środowiska czynników o niskim współczynniku ODP. Jednoczesny wzrost zapotrzebowania na chłód, spowodowany m.in. zmianami klimatycznymi poniekąd wymusza opracowanie nowych bądź ulepszanie istniejących technologii pozwalających na lepsze wykorzystanie energii poprzez ograniczanie strat podczas konwersji energii, bądź wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii odpadowej lub energii odnawialnej. Swoją uwagę Doktorant poświęcił głównie układom pozwalającym na efektywną konwersję energii cieplnej na chłód. W rozdziale zaprezentowane zostały pokrótce podstawy teoretyczne obiegów chłodniczych. Obierając jako obieg referencyjny klasyczny obieg sprężarkowy, Doktorant przedstawił i krótko opisał

również 4 alternatywne technologie produkcji chłodu, tj.: urządzenia strumienicowe, urządzenia absorpcyjne, adsorpcyjne, oraz urządzenia typu Dessicant Cooling, czyli obiegi wykorzystujące koła desykacyjne. W dalszej części rozdziału zaprezentowany został przegląd literatury w zakresie badań eksperymentalnych oraz modelowania procesów adsorpcji. Należy dodać, że chłodnictwo adsorpcyjne, w przeciwieństwie do chłodnictwa absorpcyjnego, przez wiele lat nie było popularne, jednak na przestrzeni ostatniej dekady obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania tą dziedziną techniki. Liczba prac badawczych jest jednak bardzo ograniczona. Doktorant podsumowuje dotychczasowe badania zarówno eksperymentalne jak i modelowe, wskazując na występujące braki w tej dziedzinie. Stwierdza, że dostępne dane eksperymentalne dotyczą ziaren o średnicy powyżej 3 mm, część z tych danych jest niekompletna, co utrudnia ich wykorzystanie np. do walidacji modeli numerycznych. Natomiast w zakresie modelowania nie poświęcono należytej uwagi procesowi desorpcji, co powoduje, że dostępne modele są niekompletne. W końcowej części zaprezentowany został prototypowy fluidalny osuszacz adsorpcyjny. Technologia ta jest jak dotąd we wczesnym, laboratoryjnym stadium rozwoju.

Rozdział 2 przedstawia opis stanowiska badawczego, które zostało zbudowane na potrzeby realizacji pracy doktorskiej. Przedstawiony został opis aparatury pomiarowej pozwalającej na rejestrację zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza na wlocie i wylocie złoża. Mierzony był również spadek ciśnienia w złożu i prędkość przepływającego przez złożo powietrza. Doktorant opisał procedurę pomiarową i sposób zapisu oraz przetwarzania danych. Gromadzone dane były zapisane w postaci pliku .csv, które następnie przetwarzane były w skrypcie pokazanym w Załączniku 1. Doktorant założył, że niepewności pomiarowe dla pomiarów bezpośrednich równe są błędowi pomiarowemu danego urządzenia pomiarowego, natomiast dla pomiarów pośrednich niepewności oszacowane zostały metodą różniczkową. W rozdziale szczegółowo opisano zakres badań. Doktorant przebadał 5 próbek silikażelu o średnicach 0.6 mm do 5 mm, pochodzących od dwóch producentów. Przeprowadzonych zostało 19 serii pomiarowych dla procesu adsorpcji i tyle samo dla procesu desorpcji. Dla każdej z próbek wykonano co najmniej 3 serie pomiarowe. Rozdział kończy prezentacja i dyskusja wyników. W postaci graficznej przedstawiono zmianę w czasie temperatury powietrza oraz zawartości wilgoci w powietrzu dopływającego i wypływającego ze złoża. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorat formułuje wnioski. Doktorant podkreśla, że badania stanowią głównie podstawę do walidacji proponowanego w dalszej części pracy modelu zjawiska, a nie oceny wpływu parametrów na proces adsorpcji i desorpcji. Uzyskane wyniki wskazują, że dla procesu desorpcji, na stopień zaadsorbowania silikażelu średnica ziarna ma odwrotnie proporcjonalny wpływ, natomiast dla procesu adsorpcji stopień zaadsorbowania silikażelu nie wykazuje zależności od średnica ziaren. W zakresie kinetyki procesów dla adsorpcji i desorpcji obserwuje się znaczące różnice dla frakcji o mniejszych średnicach ziaren. Różnice te zanikają wraz ze wzrostem średnicy ziaren. Jako korzystniejsze rozwiązanie Doktorant wskazuje zastosowania ziaren o średnicy 1-2 mm.

W rozdziale 3 Doktorant prezentuje autorski model opisujący zjawisko adsorpcji pary wodnej przez silikażel podczas fluidyzacji. Omówione zostały założenia, jakie przyjęto do budowy modelu, zaprezentowane zostały równania opisujące zjawisko analizowane w pracy doktorskiej. Model uwzględnia wymianę masy, wymianę ciepła oraz spadek ciśnienia, który jest jednym z głównych parametrów opisujących pracę złoża fluidalnego. Model został walidowany wynikami badań eksperymentalnych. Pokazano porównanie obu wyników w zakresie zmienności temperatury powietrza i zawartości wilgoci w powietrzu. Doktorant uzyskał dobrą zgodność wyników numerycznych z wynikami eksperymentu. Dla temperatur

powietrza poniżej 40°C rozbieżność wyników nie przekracza $\pm 10\%$, natomiast dla temperatur powyżej 40°C rozbieżność wyników nie przekracza $\pm 20\%$. W zakresie zawartości wilgoci w powietrzu rozbieżność wyników w zdecydowanej większości nie przekracza $\pm 10\%$.

Rozdział 4 zawiera wyniki autorskiej analizy wpływu wybranych parametrów na przebieg adsorpcji i desorpcji jak również na efektywność energetyczną adsorpcyjnej chłodziarki fluidalnej. Analizie poddano następujące parametry: średnica ziaren sorbentu, czas przełączania złożeń, prędkość powietrza przepływającego przez złożę oraz wysokość napełnienia złoża. Zaprezentowany został opis działania modelowanej chłodziarki wraz z równaniami opisującymi efektywność energetyczną urządzenia. Do oceny efektywności Doktorant stosuje klasyczne parametry takie jak: termiczne COP_{th} , elektryczne COP_{el} oraz właściwą wydajność chłodniczą SCP. Dla każdego analizowanego parametru pokazane zostały wyniki w postaci graficznej uzupełnione dyskusją wyników. Przeprowadzona analiza wskazuje na fakt, że zmniejszenie średnicy ziarna poprawia efektywność energetyczną urządzenia z dwóch powodów: zwiększenie powierzchni właściwej złoża oraz poprawy kinetyki procesu. Jednakże, wielkość ziarna wpływa na prędkość fluidyzacji, tzn. że im większe ziarno, tym większa maksymalna prędkość fluidyzacji. W zakresie wpływu czasu przełączania złożeń na efektywność energetyczną urządzenia, Doktorant zauważył, że dla różnej frakcji ziarna istnieje czas, przy którym efektywność energetyczna osiąga maksymalną wartość. Prędkość powietrza poniżej 3 m/s również pozwala uzyskać wysokie COP. Wysokość zasypania złoża ma zdaniem Doktoranta dwójaki wpływ na efektywność energetyczną. Z jednej strony mniejsza wysokość złoża poprawia wskaźnik SCP i elektryczne COP, natomiast wysoka - poprawia termiczne COP. Im większa wysokość złoża tym lepszy efekt suszenia, jednak kosztem znacznego obniżenia elektrycznego COP.

Przedmiotem rozdziału 5 rozprawy jest identyfikacja komponentów urządzenia, które w największym stopniu przyczyniają się do destrukcji egzergii. Analizy tej dokonano na podstawie algorytmu obliczeniowego, którego wydruk zawiera załącznik 4. Zdaniem Doktoranta analiza egzergetyczna jest jednym z przykładów holistycznego podejścia do intensyfikacji procesów adsorpcji. Analiza ta uwzględnia bowiem oprócz samego procesu adsorpcji również procesy towarzyszące jakie występują podczas konwersji energii. Należy dodać, że jak dotąd nie są znane próby przeprowadzenia podobnych analiz dla fluidalnych chłodziarek adsorpcyjnych. Na podstawie wykonanej analizy Doktorant stwierdza, że sprawność egzergetyczna urządzenia to 0.577. Ponadto, identyfikuje złożę fluidalne oraz wymiennik regeneracyjny jako dwa najbardziej destrukcyjne elementy urządzenia. Pomimo tego oba komponenty charakteryzują się dość wysoką sprawnością egzergetyczną. Najniższą sprawność egzergetyczną mają chłodnica wyparna oraz chłodnica powietrza za złożem adsorpcyjnym. Jako potencjalne kierunki działań związane z poprawą efektywności urządzenia Doktorant wskazuje na przede wszystkim poprawę geometrii wymiennika regeneracyjnego, tj. zwiększenie pola powierzchni wymiany ciepła. Jak słusznie zauważa, zwiększenie geometrii wymiennika regeneracyjnego przyczynia się do zmniejszenia destrukcji egzergii w nagrzewnicy powietrza. Drugim obiecującym kierunkiem poprawy efektywności energetycznej jest zmniejszanie strat ciśnienia w całym urządzeniu. Analiza przedstawiona w rozdziale ma niewątpliwie wartość poznawczą naukową i użyteczną.

W rozdziale 6 przedstawione zostały dwa potencjalne kierunki związane z poprawą i rozwojem adsorpcyjnego suszenia powietrza. Doktorant podkreśla, że materiał prezentowany w rozdziale wykracza poza zakres prac podejmowanych w przewodzie doktorskim, jednakże z uwagi na rosnące zainteresowanie urządzeniami adsorpcyjnymi stanowi on ciekawe

uzupełnienie rozprawy. Jako kierunki przyszłego rozwoju chłodziarek adsorpcyjnych Doktorant wskazuje na modyfikację kształtu ziaren sorbentu, co przyczynia się do zwiększenia pola powierzchni sorbentu, skraca drogę dyfuzji i podnosi minimalną prędkość dyfuzji. Zdaniem Doktoranta kierunek ten wymaga potwierdzenia eksperymentalnego, jak również ingerencji w proces produkcji ziaren silikażelu. Drugim kierunkiem są urządzenia wielozłożowe, które mogą przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej COP_{el} nawet o 50% względem urządzeń dwuzłożowych. Rozwiązanie to zostało już eksperymentalnie przebadane. Doktorant prezentuje chłodziarkę wielozłożową ze złożami ruchomymi. Należy podkreślić, że rozwiązanie to zostało opatentowane a Doktorant jest samodzielnym autorem patentu nr 415525.

W rozdziale 7 przedstawiono syntetyczne podsumowanie wyników w aspekcie założonego zakresu pracy, jego celu i postawionej tezy.

IV. Oryginalność i wartości poznawcze rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy intensyfikacji procesu adsorpcji, wykorzystywanego w procesie suszenia powietrza. Należy podkreślić, że proces adsorpcji i desorpcji są zjawiskami o złożonym charakterze. Konieczność rozwijania technologii alternatywnych względem rozwiązań klasycznych stosowanych w technice chłodniczej, tj. zasilanych energią elektryczną ma wiele źródeł. Protokół Montrealski oraz porozumienie z Kyoto nakładają ograniczenia prawne, wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz zmiany klimatyczne, które przyczyniają się do wzrostu zapotrzebowania na chłód wymuszają podjęcie działań naprawczych. Potencjalnym kierunkiem badawczym, który jak dotąd nie jest szeroko eksploatowany, jest wykorzystanie niskotemperaturowej energii odnawialnej lub odpadowej. Energetyka odnawialna oraz użycie źródeł niskotemperaturowych na cele np. produkcji chłodu jest ze swej natury nisko sprawna. Poprawa efektywności urządzeń pracujących z cieplnym źródłem napędowym jest w tym przypadku konieczna. Doktorant podjął się zatem zagadnienia, które jest kluczowe dla krajowej energetyki. Zainteresowanie urządzeniami adsorpcyjnymi w ostatnich latach wyraźnie wzrasta, jednakże występują znaczne luki zarówno w zakresie eksperymentalnym jak i teoretycznym. Podejmowane przez Doktoranta kompleksowe ujęcie zagadnienia może być uznane za nowe, z uwagi na to, że jak dotąd prace nad fluidalnymi chłodziarkami adsorpcyjnymi są bardzo ograniczone. Bez wątplenia kluczowym jest tutaj fakt, że zarówno badania eksperymentalne jak i opis modelowy zjawiska adsorpcji i desorpcji uzupełniają przynajmniej częściowo te braki i oba te elementy są kwestią silnie pożądaną przez inżynierów, projektantów i przyszłych użytkowników tego typu aparatów.

Za osiągnięcia Doktoranta uważam:

- opracowanie planu eksperymentu oraz propozycję metody pozwalającej na intensyfikację procesu adsorpcji;
- wykonanie badań doświadczalnych nakierowanych na pozyskanie danych eksperymentalnych określających rozkład parametrów powietrza po przejściu przez złoża adsorpcyjnej o różnej wielkości;
- opracowanie wyników badań doświadczalnych;
- opracowanie i walidację modelu zjawiska adsorpcji i desorpcji w złożu fluidalnym;
- wykonania analizy teoretycznej wpływu poszczególnych parametrów na efektywność energetyczną urządzenia;

- wykonanie analizy egzergetycznej ukierunkowanej na identyfikację potencjalnych możliwości poprawy efektywności energetycznej

Należy podkreślić, że materiał zawarty w recenzowanej rozprawie doktorskiej, zarówno wyniki prac eksperymentalnych oraz opracowany model zjawiska adsorpcji, zostały opublikowane w renomowanych czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej, jak również prezentowane na międzynarodowych konferencjach. Dowodzi to wysokiego poziomu naukowego i praktycznego badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej.

Uzyskany materiał badawczy w pełni pozwala na stwierdzenie, że cel oraz zakres recenzowanej rozprawy zostały w całości zrealizowane, zaś wskazana teza została w pełni dowiedziona.

Zaprezentowane w rozprawie rezultaty wnoszą istotny wkład poznawczy i aplikacyjny w dziedzinie budowy maszyn – zwłaszcza w zakresie zagadnień dotyczących poprawy efektywności oraz optymalizacji aparatów służących do osuszania powietrza – mieszczących się w obszarze dotyczącym dyscypliny: Budowa i eksploatacja maszyn.

V. Wartości użytkowe rozprawy

Recenzowana rozprawa ma niewątpliwie walor aplikacyjny, wynikający wprost z jej tematyki oraz charakteru. Bez wątpienia efektem naukowym rozprawy jest powiększenie zasobu wiedzy w zakresie intensyfikacji procesów adsorpcji pary wodnej przez silikażel w warunkach fluidyzacji. Przeprowadzone badania eksperymentalne na próbkach o różnej średnicy stanowią ważne uzupełnienie bazy danych zawierającej jak dotąd ograniczone wyniki eksperymentalne.

Zaproponowany przez Doktoranta model obliczeniowy zjawiska adsorpcji, jak również algorytm obliczeniowy obiegu chłodziarki adsorpcyjnej, pozwalający na analizę wpływu parametrów sterowania na efektywność energetyczną oraz opis modelowy pozwalający na analizę egzergetyczną ma wartość praktyczną, gdyż może być wykorzystana do doskonalenia i optymalizacji komponentów składowych fluidalnych urządzeń adsorpcyjnych.

VI. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

VI.1. Uwagi o charakterze merytorycznym (w kolejności zgodnej z układem rozprawy)

W rozprawie zaprezentowano oryginalne oraz kompleksowe ujęcie podejmowanego zagadnienia. Zaprezentowany w rozprawie materiał analityczny oraz eksperymentalny wymagał znacznego nakładu pracy oraz inwencji i stanowi niewątpliwie oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe Doktoranta. 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 Rozdziale 1.2 Doktorant korzystnie opisuje wodę jako czynnik roboczy zestawiając jej zalety względem innych czynników roboczych, np. niepalność, nietoksyczność czy niewybuchowość, wskazuje również wadę dotyczącą zastosowania jej w temperaturach powyżej 0°C. Należałoby również zwrócić uwagę na fakt, że zastosowanie wody w urządzeniach chłodniczych jest kłopotliwe z uwagi na konieczność utrzymania wysokiej

- szczelności, oraz fakt, że instalacje te są najczęściej urządzeniami dużo większymi niż urządzenia o podobnej mocy pracujące z innymi czynnikami roboczymi.
2. Na stronie 15, Doktorant wskazuje, że temperatura źródła napędowego to około 65°C natomiast temperatura chłodzenia to około 27°C. O ile wybór temperatury źródła górnego może być uzasadniony, taka jest temperatura wody sieci ciepłowniczej, która może być źródłem napędowym, o tyle nie zostało przedstawione uzasadnienie wartości temperatury skraplania. Nie jest bowiem powiedziane, jaki sposób chłodzenia skraplacza jest wzięty pod uwagę.
 3. W rozdziale 2.2 na str. 22 Doktorant stwierdza, że do przeprowadzenia badań eksperymentalnych należy zapewnić strumień powietrza o stałych parametrach. Należałoby doprecyzować o jakie parametry chodzi.
 4. W równaniu 3.17 wprowadzono symbol ϕ , który nie został wyjaśniony, brak go również z spisie oznaczeń. Czy symbol ϕ jest tym samym czym ϕ_w ?
 5. Na stronie 68 Doktorant pisze, że z obserwacji autora porowatość złoża waha się w granicach 0,7-0,9. Należałoby doprecyzować, czy te obserwacje dotyczą własnych badań eksperymentalnych, czy są to spostrzeżenia wynikające z przeglądu literatury.
 6. Jaką wartość parametru ϵ_f w równaniach 3.19 i 3.20 przyjęto do obliczeń?
 7. Na stronie 70 stwierdza się, że model, którego wydruk zawiera Załącznik 2 walidowany był z wykorzystaniem zgromadzonych danych eksperymentalnych. W przypadku wahań temperatury powietrza na wlocie do złoża skrypt wczytywał dane eksperymentalne przebiegu temperatury. Tą kwestię należałoby wyjaśnić. O waniach temperatury w jakim zakresie jest mowa? Jaka była wartość temperatury wejściowej, lub co wczytywał skrypt w przypadku gdy nie było wahań temperatury?
 8. Dlaczego w rozdziale 3 nie pokazano wyników porównania modelu i eksperymentu dla próbki 5, tj. pominięto serię 17,18 i 19, oraz 36, 37 i 38?
 9. Na stronie 78 Doktorant pisze, że desorpcja nie jest zasymulowana równie dokładnie jak adsorpcja. Należałoby podać tego przyczynę.
 10. W rozdziale 6 na stronie 124 Doktorant pisze, że badania eksperymentalne potwierdzają wpływ kształtu ziaren na redukcję spadku ciśnienia w złożu, odwołując się do prac [65, 67]. Dalej pisze, że w Rozdziale 4 przeprowadzono analizę wpływu kształtu ziarna na efektywność urządzenia chłodniczego. Należałoby doprecyzować, że analiza dotyczyła nie różnego kształtu, a różnej średnicy ziarna.

VI. 2. Uwagi porządkowe (w kolejności zgodnej z układem rozprawy)

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 wysoką ocenę rozprawy i mają w dużej mierze charakter sugestii.

- W pracy pojawiają się drobne błędy edytorskie główne w postaci literówek.
- Do Tabeli 1.3 nie podano źródła.
- Rozdział 1.1 rozpoczyna się rysunkiem 1.1. Taka praktyka jest raczej niespotykana. Moim zdaniem rozdział lub podrozdział nie powinien zaczynać się rysunkiem, tabelą bądź wykresem.
- Brak w spisie symboli znaczenia symbolu w (równanie 1.5).
- Na rys. 1.12 brakuje jednostki przy osi rzędnych.

- Rys.2.5 przedstawia rozkład temperatury powietrza na wlocie i wylocie złoża. Niestety oba przebiegi wykreślone są kolorem szarym o prawie takim samym odcieniu. Utrudnia to interpretację. Wygodniej byłoby zastosować linie przerywaną lub kropkową.
- Podobną uwagę można wystosować do rys. 3.5.
- Należałoby precyzyjniej opisać kolumny w tabeli 2.6 i 2.7 zawierające wyniki pomiarów temperatury powietrza. Opis *Temperatura początkowa* nie wiadomo czego konkretnie dotyczy, powietrza na wlocie, wylocie czy złoża.
- W tabeli 2.6 i 2.7 stosuje się określenie *wilgotność powietrza* podczas gdy na wykresie na rysunku 2.8 i 2.9 dla tej samej wielkości stosuje się określenie *stopień zwilżenia*. Należy zaznaczyć, że wilgotność powietrza (względna lub bezwzględna) i zawartość wilgoci, lub stopień zwilżenia jak to określa Doktorant to dwie różne wielkości.
- Zamieniona jest numeracja rysunków 2.8 i 2.9.

VII. Uwagi końcowe

Pomimo drobnych usterek, które mają charakter czysto edytorski praca jest starannie zredagowana, stosowana jest poprawna nomenklatura naukowa oraz techniczna. W pracy zamieszczono 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. Uwagi te nie pomniejszają wysokiej wartości merytorycznej opiniowanej rozprawy.

VIII. Wniosek do Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest poważną, wnoszącą istotny wkład poznawczy oraz metodyczny pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu metod właściwych dla zagadnień badawczych termodynamiki, wymiany ciepła i mechaniki płynów. W moim przekonaniu przedstawiona do recenzji rozprawa, swoim zakresem wypełnia ramy stawiane pracom doktorskim tak pod względem zakresu rzeczowego, jak i oryginalności osiągnięć poznawczych oraz metodycznych.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że:

1. Rozprawa doktorska mgr inż. Zbigniewa Rogali spełnia wymagania Art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.
2. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej: **Budowa i eksploatacja maszyn.**

Spicemir Kauri