



prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal
profesor zwyczajny Politechniki Koszalińskiej
Katedra Energetyki
Politechnika Koszalińska

Koszalin, 17.09.2018 r.

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Blanki Jakubowskiej nt.:

„Modelowanie procesu wrzenia i kondensacji w przepływie
w rozszerzonym zakresie ciśnień zredukowanych”

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielewicz, profesor zwyczajny Politechniki Gdańskiej.

Opinia została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej z dnia 01.08.2018 r. (L. dz. 172 WM/2018).

1. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa obejmuje 192 strony i jest podzielona na dwanaście rozdziałów. Dodatkowo podano streszczenie pracy, wykaz literatury, spis tabel i rysunków oraz cztery załączniki. W rozprawie zawarto:

1. **Wstęp**, gdzie ogólnie scharakteryzowano przepływy dwufazowe w kanałach konwencjonalnych i w minikanalach rurowych. Wskazano na duże znaczenie w technice, jakie mają przemiany fazowe wrzenia i skraplania w przepływie. Podano, że pomimo dużej liczby badań tych zjawisk, prezentacji wielu modeli obliczeniowych, w jest dalszym ciągu brak uogólnionych zależności opisujących w sposób jednoznaczny wymianę ciepła i spadki ciśnienia w kanale. Zwrócono uwagę na możliwość wprowadzenia ewentualnej poprawki do obecnie stosowanych modeli, uwzględniającej stosunek ciśnienia nasycenia do ciśnienia krytycznego (ciśnienie zredukowane), co może przyczynić się do poprawy zgodności predykcji z danymi eksperymentalnymi.
2. **Opis procesu wrzenia w przepływie**, gdzie podano wielkości charakteryzujące wrzenie w objętości i wrzenie w przepływie. Przedstawiono struktury przepływu dwufazowego z wymianą ciepła w kanałach konwencjonalnych i w kanałach o małej średnicy. Opisano kryteria pozwalające rozróżnić wielkość kanałów i dokonać ich klasyfikacji.
3. **Analiza oporów przepływu w kanałach konwencjonalnych**, gdzie przedstawiono podstawowe równania opisujące spadek ciśnienia w przepływie w oparciu o ideę przepływu jednorodnego i rozwarstwowanego.
4. **Przegląd wybranych modeli opisujących współczynnik przejmowania ciepła podczas wrzenia w objętości**, gdzie poddano krytycznej ocenie propozycje różnych autorów pod kątem możliwości ich zastosowania w szerokim zakresie zmienności ciśnienia zredukowanego.

5. **Analiza przejmowania ciepła przy wrzeniu w przepływie w kanałach konwencjonalnych** zawierająca przegląd najbardziej znanych metod pozwalających określić współczynnik przejmowania ciepła. Wykazano, że istnieje szereg korelacji umożliwiających modelowanie procesu wrzenia w przepływie, jednak ujęcie wszystkich trendów zmian współczynnika przejmowania ciepła za pomocą jednej korelacji jest zadaniem bardzo trudnym.
6. **Opis wrzenia w przepływie w kanałach o małej średnicy**, gdzie dokonano krytycznej oceny modeli prezentowanych w literaturze. Stwierdzono, że zaprezentowane korelacje mają w większości przypadków charakter empiryczny, a wiele z nich nie uwzględnia stopnia suchości oraz efektów związanych z wpływem ciśnienia zredukowanego.
7. **Cel i tezę pracy.**
8. **Półempiryczny model wrzenia w przepływie**, który stanowi podstawę dalszych rozważań Doktorantki. Model ten uwzględnia efekty związane z nieadiabatycznością przepływu, jak również umożliwia wyznaczenie współczynników przejmowania ciepła zarówno podczas wrzenia i kondensacji przepływie w kanałach o średnicach konwencjonalnych i minikanalach. Opisano główne zależności opisujące rozpatrywany model.
9. **Szczegółowy opis stanowiska badawczego**, a w tym własności badanych czynników chłodniczych, dane techniczne głównych elementów oraz oprzyrządowania stanowiska. Przedstawiono procedurę wykonywania badań eksperymentalnych oraz analizę błędów pomiarowych. Podano przykładowe wyniki pomiarów oraz specyfikację bazy danych literaturowych przyjętych do analizy.
10. **Własne modyfikacje Doktorantki modelu dla przepływów dwufazowych w kanałach konwencjonalnych i o małej średnicy**. Przeprowadzono analizę modeli opisujących spadki ciśnienia w przepływie dwufazowym oraz ich wpływu na dopasowanie wyników modelu obliczeniowego z danymi eksperymentalnymi w zakresie współczynnika przejmowania ciepła. Wprowadzono zmiany w członie równania modelu związanym z oporami przepływu dwufazowego, co wpływa zarówno na otrzymane wyniki w przypadku wrzenia w przepływie, jak i kondensacji. Zaproponowano również poprawkę, która koryguje współczynnik przejmowania ciepła podczas wrzenia w objętości poprzez modyfikację gradientu temperatury.
11. **Weryfikację wyników obliczeń z posiadaną bazą danych eksperymentalnych**, która łącznie zawiera 7650 punktów pomiarowych dotyczących wrzenia w przepływie dla dziesięciu czynników roboczych.
12. **Podsumowanie, wnioski i zalecenia dla przyszłych prac**, gdzie Doktorantka zawarła w punktach opis zrealizowanych prac badawczych, osiągniętych celów naukowych i możliwości dalszych badań.
13. **Rozprawę kończy spis literatury, tabel i rysunków oraz cztery załączniki**, które zawierają wybrane korelacje obliczeniowe, wybrane właściwości fizyczne czynników roboczych, analizę błędów pomiarowych i obliczenia indywidualne wymiany ciepła dla wybranych czynników.

2. Teza pracy

Doktorantka w rozdziale siódmym podała cel swojej pracy i tezę, twierdząc, że „uwzględnienie ciśnienia zredukowanego w mnożniku dwufazowym, współczynnika przejmowania ciepła dla wrzenia w objętości oraz w poprawce modyfikującej gradient temperatury w stosunku

do wrzenia w objętości P w analizowanym modelu wrzenia i kondensacji w przepływie dla kanałów konwencjonalnych i minikanalów przyczyni się do poprawy jego zbieżności z posiadaną bazą danych eksperymentalnych”. Mając na uwadze udowodnienie powyższej tezy Doktorantka pozyskała i usystematyzowała bazę danych eksperymentalnych dla kanałów konwencjonalnych i o małej średnicy. Przeprowadziła analizę w oparciu o badania eksperymentalne dostępne w literaturze oraz w przypadku czynnika HFE7000 o własne badania eksperymentalne. Opracowała algorytm obliczeniowy, który umożliwiał wyznaczenie wartości współczynnika przejmowania ciepła w przepływie dwufazowym, z wykorzystaniem różnych modeli obliczeniowych dla różnych czynników roboczych. Efektem prowadzonych analiz było zaproponowanie nowej postaci korelacji obliczeniowej uwzględniającej wpływ ciśnienia zredukowanego na intensywność procesu wymiany ciepła. Pozwala ona wyznaczać współczynniki przejmowania ciepła z dużo wyższą dokładnością niż dotychczas, co potwierdziły wyniki obliczeń Doktorantki. Oznacza to, że poprzez realizację wyżej wymienionego zakresu prac w pełni uzasadniła postawioną tezę swojej pracy.

3. Rozwinięcie tezy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska odnosi się do wymiany ciepła i pędu podczas przemian fazowych wrzenia i kondensacji w kanałach konwencjonalnych i minikanalach rurowych, które znajdują obecnie duże zastosowanie w praktyce. Powoduje to potrzebę prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych i teoretycznych. Doktorantka po omówieniu podstawowych pojęć dotyczących przepływów dwufazowych oceniła stan badań w zakresie teoretycznego i eksperymentalnego wyznaczania wartości współczynnika przejmowania ciepła podczas wrzenia w objętości i wrzenia w przepływie oraz spadku ciśnienia w kanale. Wykazała, że istnieje duża liczba prac o tej tematyce. Przeanalizowała modele różnych autorów opracowane dla wrzenia w objętości i wrzenia w kanałach o średnicach konwencjonalnych i minikanalach rurowych. Stwierdziła, że większość modeli ma charakter empiryczny, a ich uogólnienie jest praktycznie niemożliwe. Ponadto uchwycenie wszystkich trendów zmian współczynnika przejmowania ciepła za pomocą jednej korelacji jest bardzo trudnym zadaniem. Dodatkowo, większość dostępnych w literaturze korelacji nie ma podstaw teoretycznych. Stwierdziła, że korelacja *prof. Jarosława Mikielewicza* zasługuje na szczególną uwagę. Posiada ona podstawy teoretyczny i uogólniony charakter. Pozwala wyznaczać wartość współczynnika przejmowania ciepła podczas wrzenia i kondensacji w kanałach konwencjonalnych i w kanałach o małej średnicy. Jej istotną zaletą jest bezpośrednie włączenie do opisu wymiany ciepła także oporów przepływu, co jest szczególnie ważne w przypadku przepływu w kanałach o małej średnicy, z dominującą strukturą pierścieniową przepływu dwufazowego, gdzie opory przepływu i dyssypacja energii mają bezpośredni wpływ na wymianę ciepła. Doktorantka stwierdziła, że chociaż korelacja *J. Mikielewicza* daje względnie dobrą zgodność wyników obliczeń z wynikami badań eksperymentalnych, to jednak nie uwzględnia szerokiego zakresu zmian ciśnienia zredukowanego. Założyła więc, że uwzględnienie ciśnienia zredukowanego w analizowanym modelu może przyczynić się do dalszej poprawy zbieżności wyników obliczeń z wynikami eksperymentów. Mając powyższe na uwadze, Doktorantka pozyskała i usystematyzowała bazę danych eksperymentalnych dla wrzenia w kanałach konwencjonalnych i o małej średnicy. Zebrana baza danych eksperymentalnych liczyła łącznie ponad 7500 punktów eksperymentalnych dla dziesięciu czynników roboczych: dwutlenku węgla, R134a, R1234yf, R600a, R290, amoniaku, R236fa, R245fa, R152a oraz HFE7000. Przeprowadziła również w szerokim zakresie prace badawcze własne, dotyczące wrzenia czynnika roboczego HFE7000 w minikanale rurowym o średnicy 2,3 mm. W ramach eksperymentu przeprowadzono pięćdziesiąt siedem serii pomiarowych o parametrach w zakresie: temperatu-

ra nasycenia $30 \div 54$ °C, gęstość strumienia masy $214 \div 1006$ kg(m²·s), gęstość strumienia ciepła $60 \div 227$ kW/m². Badania przeprowadzono dla pełnego zakresu zmienności stopnia suchości, to jest $x = 0 \div 1$, w przypadku każdej serii pomiarowej. Mając na uwadze modyfikację korelacji *J. Mikieliewicza* Doktorantka opracowała algorytm obliczeniowy w programie *Excel*, który umożliwił prowadzenie obliczeń numerycznych pozwalających na uwzględnienie wartości ciśnienia zredukowanego w obliczeniach współczynnika przejmowania ciepła tak, aby uzyskać jak najlepszą zgodność wyników obliczeń z wynikami badań eksperymentalnych. Prace prowadzono dwutorowo. W pierwszej kolejności dopasowano najlepszą korelację z literatury opisującą mnożnik dwufazowy, a następnie wyznaczono wartość wykładnika potęgowego a_2 do wprowadzonej korekty uwzględniającej ciśnienie zredukowane w modyfikacji własnej modelu *Müllera-Steinhagena i Hecka*. W oparciu o teorię regresji wielu zmiennych wyznaczono również wartość współczynnika potęgowego a_1 występującego przy ciśnieniu zredukowanym w członie oporów przepływu. Uzyskano w ten sposób zmodyfikowaną postać korelacji *J. Mikieliewicza* pozwalającą wyznaczać wartości współczynnika przejmowania ciepła przy wrzeniu i kondensacji w przepływie w szerokim zakresie zmienności ciśnienia zredukowanego. Po porównaniu wyników obliczeń według tej korelacji z wynikami z bazy danych stwierdzono, że 63% wszystkich danych eksperymentalnych mieści się w przedziale $\pm 30\%$. Taki wynik można ocenić pozytywnie, mając na uwadze dużą liczbę czynników i szeroki zakres zmienności parametrów cieplno-przepływowych czynników. Świadczy to o dużej uniwersalności proponowanej zależności obliczeniowej i dużym uogólnieniu.

4. Oryginalność i wartości poznawcze pracy

Prezentowana rozprawa dotyczy bardzo istotnego zagadnienia w energetyce dotyczącego poszukiwania uniwersalnych zależności opisujących wymianę ciepła podczas przemian fazowych czynników roboczych w kanałach konwencjonalnych i kanałach o małej średnicy. Dotyczy to zarówno procesów wrzenia jak i skraplania. Dlatego temat i zakres ocenianej rozprawy doktorskiej należy uznać jako nowatorski, o dużej oryginalności i wartości poznawczej. Chociaż w literaturze znajduje się duża liczba publikacji dotyczących tej tematyki, to jednak brak jest uogólnionych zależności obliczeniowych, a w szczególności posiadających podstawy teoretyczne. Istnieje wiele zależności empirycznych, które dotyczą wybranych czynników roboczych, określonego zakresu parametrów cieplno-przepływowych i stąd ograniczonego zastosowania. Istnieje więc potrzeba poszukiwania uogólnionych, uniwersalnych zależności uwzględniających jak najwięcej parametrów przepływu dwufazowego w szerokim zakresie zmienności i stosowanych dla różnych czynników roboczych. Mając powyższe na uwadze Doktorantka przeprowadziła wnikliwą analizę różnych modeli prezentowanych przez wielu autorów w zakresie wymiany ciepła podczas wrzenia w objętości i w przepływie oraz spadków ciśnienia w przepływie dwufazowym. Na wyróżnienie zasługuje sposób przeprowadzenia tej analizy i jej wyniki pod kątem przydatności omawianych modeli w opisie przemian fazowych czynników roboczych oraz zakresu zmienności ciśnienia zredukowanego. Ponadto opracowane zestawienia omawianych modeli obliczeniowych stanowią cenny materiał do dalszych analiz. Jako podstawę swoich rozważań przyjęto korelację *J. Mikieliewicza* (z późniejszymi modyfikacjami), która posiada podstawy teoretyczne i pozwala z dobrą dokładnością wyznaczać wartość współczynnika przejmowania ciepła przy wrzeniu lub skraplaniu czynnika roboczego w przepływie. Doktorantka wykazała, że można ją jeszcze udoskonalić, poprzez wprowadzenie do obliczeń wartości ciśnienia zredukowanego, co poprawiło dokładność obliczeń i zakres jej zastosowania. Jako element oryginalności należy uznać wprowadzenie do algorytmu obliczeniowego wartości ciśnienia zredukowanego, co pozwoliło znacznie lepiej dopasować wyniki obliczeń do wyników z bazy danych eksperymentalnych. War-

tość ta została wprowadzona dwukrotnie do obliczeń, to jest w celu modyfikacji mnożnika dwufazowego i poprawki uwzględniającej wpływ prędkości przepływu, strumienia ciepła i stopnia suchości.

Ważnym osiągnięciem Doktorantki jest również zgromadzenie dużej bazy danych eksperymentalnych w postaci ponad 7500 punktów eksperymentalnych dla dziesięciu czynników roboczych: dwutlenku węgla, R134a, R1234yf, R600a, R290, amoniaku, R236fa, R245fa, R152a oraz HFE7000. Istotnym osiągnięciem jest modernizacja stanowiska laboratoryjnego, opracowanie metodyki badań i przeprowadzenie własnych badań eksperymentalnych dotyczących wrzenia czynnika roboczego HFE7000 w minikanale rurowym o średnicy 2,3 mm w szerokim zakresie zmian parametrów cieplno-przepływowych.

Zrealizowany zakres prac przyczynił się do powstania nowego, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym, opisu teoretycznego procesu wrzenia w przepływie. Na wyróżnienie zasługuje również próba ujednolicenia opisu procesu wrzenia i skraplania w przepływie. Jest to nowe uniwersalne podejście stosowane przez nielicznych badaczy. Wyniki modelowania wykazują dobrą zgodność z wynikami badań eksperymentalnych, szczególnie w szerokim zakresie zmian ciśnienia zredukowanego.

5. Wartości użytkowe pracy

Praca ma nie tylko istotne wartości merytoryczne, ale również posiada walor aplikacyjny i dotyczy w szczególności badania wpływu ciśnienia zredukowanego na wymianę ciepła i pędu w kanałach konwencjonalnych i w minikanalach rurowych. Autorka przedstawiła zależność obliczeniową pozwalającą wyznaczyć wartość współczynnika przejmowania ciepła podczas wrzenia i skraplania czynnika roboczego w przepływie w szerokim zakresie zmian ciśnienia zredukowanego. Zależność ta znajdzie bezpośrednie zastosowanie w projektowaniu wymienników i miniwymienników ciepła, tzw. kompaktowych parowników i skraplaczy. Przyczyni się to do wzrostu dokładności obliczeń, bardziej precyzyjnego określenia powierzchni wymiany ciepła i rozmiarów instalacji. Wymienniki takie jak, parowniki i skraplacze znajdują duże zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Dotyczy to zarówno tzw. dużej oraz małej energetyki, w tym ogrzewnictwa, chłodnictwa, klimatyzacji, a także przemysłu chemicznego, elektroniki, medycyny, transportu itp.

Zaproponowany opis zjawiska przemiany fazowej wrzenia czynników roboczych w kanałach o średnicy konwencjonalnej i w minikanalach stanowi istotny wkład Doktorantki do opisu fizyki zjawiska wrzenia w przepływie. Zaproponowane zależności obliczeniowe są również tego przykładem.

6. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi o charakterze merytorycznym

1. Autorka podała tytuł swojej rozprawy jako „*Modelowanie procesu wrzenia i kondensacji w przepływie w rozszerzonym zakresie ciśnień zredukowanych*”. Tak sformułowany tytuł sugeruje, że Doktorantka modelowała procesy wrzenia i kondensacji w przepływie. Jednak tak nie jest. Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy przede wszystkim procesów wrzenia. Świadczy o tym zgromadzona baza danych doświadczalnych, własne badania eksperymentalne, prowadzone obliczenia numeryczne i walidacja zaproponowanego modelu obliczeniowego. Co prawda, Doktorantka prowadziła modyfikację korelacji profesorów Jarosława i Dariusza Mikielwiczów, która jest zalecana do prowadzenia obliczeń dla wrzenia i kondensacji, ale poza tym, że podała taką informację w pracy, to żadnych dzia-

łań w zakresie kondensacji nie podjęła. Dlatego byłoby lepiej, gdyby w tytule rozprawy nie podano słowa „*kondensacja*”, a tylko w treści pracy znalazła się informacja, że podana postać końcowa zmodyfikowanej korelacji może być również stosowana dla procesów kondensacji zgodnie z jej poprzednią postacią.

2. Według przedstawionej metodyki badań strumień ciepła na ogrzewanej ścianie odcinka pomiarowego zadawano elektrycznie. Nie podano jednak, w jaki sposób określano straty ciepła do otoczenia, a zapewne były znaczne, ponieważ ze względu na termowizyjny pomiar temperatury ścianki kanał pomiarowy nie był zaizolowany.
3. Na rys. 9.4 (str. 76) przedstawiono zmiany temperatury na ścianie dla przykładowych wartości temperatury nasycenia. Istnieje pytanie, co było przyczyną dużych zmian temperatury na długości minikanalu (do 5 K)? Badania mające na celu precyzyjne wyznaczenie wartości współczynnika przejmowania ciepła powinny być prowadzone w stanie ustalonym. Tym czasem oscylacyjna zmiana temperatury nasycenia wskazuje na pulsacje ciśnienia.
4. Niejasno też podano sposób określania wartości temperatury nasycenia czynnika w minikanale odcinka pomiarowego. W tekście pracy napisano „*Lokalną wartość temperatury nasycenia płynu T_{sat} odczytano dla danego ciśnienia lokalnego za pomocą programu RE-FPROP*”. Nie podano jednak, jak wyznaczano ciśnienie lokalne. Trzeba to uszczegółowić.
5. W pracy określa się w różny sposób granicę występowania ruchu laminarnego i burzliwego w kanale. Na stronach 36 i 60 podaje się jako $Re = 2300$, a na stronie 27 występuje $Re = 2000$.
6. W spisie oznaczeń, podano, oznaczenie G ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) dotyczy masowego natężenia przepływu, tymczasem jest to gęstość strumienia masy, co wynika z zapisu jednostek pomiarowych. Masowe natężenie przepływu podajemy w (kg/s). Brak jest również oznaczenia kinematycznego współczynnika lepkości - ν .
7. W opisie rys. 2.2 (str. 17) należało podać, że osie współrzędnych opisują wielkości w skali logarytmicznej.
8. Na stronie 19 użyto określenia „*dopływa jako ciecz przechłodzona*”. Poprawnie będzie „*dopływa jako ciecz niedogrzana do temperatury nasycenia*”. Ciecz przechłodzona to ciecz o temperaturze niższej od temperatury przemiany fazowej ciecz - ciało stałe.
9. W pracy używa się różnych jednostek ciśnienia, w tym [barów] które obecnie nie są zalecane do stosowania w opracowaniach technicznych (np. str. 41, 83). Lepiej ciśnienie podawać w kPa lub MPa.
10. Na stronie 64 jest błędna postać wzoru (6.18). Występuje tam stosunek gęstości gazu do gęstości gazu. Jedną z gęstości powinna dotyczyć cieczy.
11. Na wielu rysunkach podano linie opisujące zakres zgodność wyników obliczeń z wynikami badań eksperymentalnych (rys. 9.11, 9.12, 9.13, 11.1, 11.2 itd.). Nie podano jednak przy tych liniach wartości w procentach, co może znacznie ułatwić analizę tych wykresów.
12. Podpisy pod rys. 9.10 ÷ 9.14 (str. 91 ÷ 92) są niezbyt poprawne pod względem językowym.
13. Eksponując ostateczną postać modelu obliczeniowego za pomocą równania (11.4) – str. 141 należało podać w jakim zakresie parametrów można ją stosować.

14. Na str. 183 użyto pojęcia „Analiza błędów pomiarowych” – obecnie używa się pojęcia „Analiza niepewności pomiarowych”.

Uwagi edytorskie

Uwagi ogólne:

1. Należy podkreślić wysoki poziom przygotowania rozprawy doktorskiej pod względem edytorskim. Praca została napisana profesjonalnie. Zwraca uwagę wysoka jakość rysunków i styl wzorów.
2. Autorka podając w tekście pracy liczby stosuje niekiedy kropki (np. str. 76, 97, 99 itp.), aby oddzielić część całkowitą liczby od ułamkowej (styl angielski). W języku polskim stosujemy przecinki.

Uwagi szczegółowe

1. Stwierdzono błędy literowe:
 - str. 14 – jest „okółkrytycznych”, powinno być „okołokrytycznych”,
 - str. 20 – „trudny” → „trudne”,
 - str. 51 – „zwartości” → „zawartości”,
 - str. 76 – „Badnia” → „Badania”,
 - str. 76 – „kg/m²” → „kg/(m²·s)”,
 - str. 96 – „obórki” → „obróbki”.
2. Na rys. 9.2 (str. 75) brakuje odcinka rurowego zamykającego obieg *by-passu*.

7. Uwagi końcowe

Praca napisana jest bardzo zwięźle i w sposób zrozumiały. Podane uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktorantki do prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych. Uwagi te nie pomniejszają wartości opiniowanej pracy.

8. Wniosek do Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorantka wykazała się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu właściwych metod naukowych. Wykazała także umiejętności wykorzystania istniejącej wiedzy z zakresu techniki cieplnej przy prowadzeniu badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych. Praca stanowi oryginalny wkład do badań wymiany ciepła i pędu w ośrodkach dwufazowych. Wnioskuje o przyjęcie pracy mgr inż. Blanki Jakubowskiej jako rozprawy doktorskiej spełniającej wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym i o dopuszczeniu jej do publicznej obrony.