

Dr hab. inż. Tadeusz Michał Wójcik
Profesor nadzwyczajny, AGH w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 02.02.2016 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz

**pt. „Badania pierwszego kryzysu wrzenia nanocieczy na poziomych rurkach ze stali
nierdzewnej”**

wykonana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej prof. dr. hab. inż. Jana Stąsika, z dnia 16 października 2015 r., wynikające z wcześniejszej uchwały Rady tegoż Wydziału (nr pisma: 169/WM/2015).

Recenzowana dysertacja została opracowana pod opieką naukową prof. dr. hab. inż. Janusza T. Cieślińskiego.

1. Wprowadzenie

Według Autorki, przedmiotem rozprawy jest „rozpoznanie zjawisk towarzyszących pierwszemu kryzysowi wrzenia wybranych nanocieczy, w szczególności ustalenie wpływu kąta zwilżania i średnicy rurki na wartość krytycznej gęstości strumienia ciepła”. Praca mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz odnosi się głównie do badań eksperymentalnych jak też, w mniejszym stopniu, teoretycznych. Autorka zaplanowała eksperyment i zarejestrowała dużą liczbę rezultatów. Przedstawiona w rozprawie analiza wyników eksperymentalnych opisuje istotne aspekty wrzenia nanocieczy na poziomych rurkach. Rezultaty stanowią materiał pozwalający na wykonanie wielu dodatkowych analiz. Badania eksperymentalne wykonano dla różnych nanocieczy, rejestrując wartości parametrów, charakteryzujących procesy wymiany ciepła. Dane uzyskane z eksperymentów przetworzono, uzyskując ilościowe opisy wpływu różnych wielkości na współczynnik przejmowania ciepła i wartość pierwszego kryzysu wrzenia.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca doktorska liczy 119 stron oraz dodatkowo 54 nienumerowane strony, czyli 31% objętości całej pracy. Strony nienumerowane są załącznikami zawierającymi wyniki badań w postaci 238 rysunków.

Widoczny jest podział pracy na podstawowe jej części: przegląd literatury, część eksperymentalna, wyniki i dyskusja rezultatów, podsumowanie wyników oraz wnioski.

Przegląd literatury opisany jest na 40 stronach. Część eksperymentalna, z najważniejszymi wynikami (bez załącznika), ich omówieniem oraz podsumowaniem na 62 stronach, co stanowi 36% objętości pracy.

Pozostałe części pracy doktorskiej to spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, analiza stanu wiedzy, teza oraz cel i zakres pracy, opis stanowisk badawczych i szczegółów metodyki badań, w tym ocena dokładności pomiarów. Następnie, wg. kolejności rozdziałów zaproponowanych przez Autorkę, najpierw zamieszczone jest opracowanie wyników badań, po którym następuje rozdział pt. „Wyniki badań”, zaś na końcu podsumowanie i wykaz literatury.

Bibliografia liczy 85 pozycji, które zostały cytowane w części literaturowej i eksperymentalnej oraz dyskusji wyników. Wśród cytowanych publikacji są prace z ostatnich lat, ale też publikowane wcześniej.

W rozprawie znalazły się wszystkie elementy niezbędne dla pracy doktorskiej.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Praca ma charakter głównie eksperymentalny. Wybór tematu jest uzasadniony wysoką rangą naukową podjętej problematyki. Dobór metod badawczych jest trafny i zgodny ze współczesnymi kierunkami rozwoju wiedzy o wymianie ciepła przy wrzeniu. Autorka uzyskała ciekawe wyniki, mogące zainteresować innych badaczy.

3a. Uwagi ogólne

Rozdział drugi rozprawy (pierwszym jest wprowadzenie) zawiera przegląd stanu wiedzy o nanocieczach: sposobach wytwarzania, własnościach termofizycznych i zastosowaniach. Brakuje mi jednak pewnych pozycji literaturowych, dotyczących właściwości termofizycznych nanocieczy i wyników badań eksperymentalnych wymiany ciepła.

Rozdziały 3 i 4 zawierają opis procesu wrzenia, od jego inicjacji do pierwszego kryzysu. Autorka koncentruje się niemal wyłącznie na analizie osiąganych wartości gęstości

strumienia ciepła pierwszego kryzysu wrzenia. Z punktu widzenia celu i zakresu pracy, przegląd jest właściwy, chociaż rozdz. 3 potraktowano zbyt pobieżnie. Pozwolę sobie przedstawić zastrzeżenia w dalszej części recenzji.

Treścią rozdziału 5 jest teza pracy. Nie budzi ona wątpliwości, chociaż ma cechy raczej przyjętego założenia, niż tezy wymagającej udowodnienia.

Rozdział 6 to zawężenie obszaru badań do założonego celu i zakresu – całkowicie uzasadniony.

Bardzo ważną częścią rozprawy jest rozdział 7, w którym opisano stanowisko eksperymentalne wraz z jego wyposażeniem pomiarowym, a także sposób interpretacji danych pozyskanych z eksperymentów (w tym ocenę dokładności). Opis metodyki badań jest wystarczająco szczegółowy. Na wyróżnienie zasługuje fakt, że Autorka dokonała badań własności termofizycznych użytych w eksperymencie nanocieczy, zanim przystąpiła do właściwych eksperymentów kryzysu wrzenia. Należy podkreślić, że pomiary kątów zwilżania Autorka wykonała na stanowisku badawczym według własnego pomysłu.

Na uznanie zasługuje część rozdz. 8 poświęcona ocenie dokładności pomiarów. Autorka stosuje metodę błędu średniego kwadratowego wyznaczania niepewności wielu zmiennych, jak najbardziej uzasadnioną w przypadku analizy niepewności tego rodzaju pomiarów złożonych. Pojawiają się co prawda pewne błędy (np. $\Delta U = 2\%$ rtg wartości mierzonej nazywany jest błędem bezwzględnym, a nie względnym, str. 62). Nie wiadomo dlaczego też np. jako błąd bezwzględny pomiaru długości rurki przyjęto 4 mm, bowiem uważa się za wartość najmniejszej działki skali (trudno przyjąć, że przyrząd którego użyto ma działkę elementarną równą 4 mm).

Ale należy zaznaczyć, że te niedociągnięcia w bardzo małym stopniu wpływają na wartości ilościowe pomiarów.

W rozdziale 9 (wraz z uzupełniającym załącznikiem) przedstawione są wyniki badań. Ten cenny materiał jest starannie ujęty na wykresach. Autorka uzyskała interesujące przebiegi krzywych wrzenia, o pochyleniu nawet dla powierzchni gładkiej znacznie większym, niż przedstawiane w literaturze. Prawie pionowe ukierunkowanie krzywych świadczy o aktywacji potencjalnych ośrodków nukleacji przy bardzo niewielkim wzroście przegrzania. A to z kolei prowadzi do przypuszczenia o charakterystycznym rozkładzie ich rozmiarów.

Na licznych wykresach widoczny jest też spadek przegrzania tuż przed „przepaleniem”, bardzo rzadko opisywany. Tę interesującą cechę mechanizmu wrzenia przejściowego warto byłoby skomentować.

W rozdziale 9 Autorka podaje własne równanie korelacyjne, dotyczące współczynnika lepkości (str. 71), współczynnika przewodzenia ciepła nanocieczy (str. 75) oraz własną modyfikację korelacji Kandikara (str.109). Warto, moim zdaniem, byłoby zilustrować na wykresach jakość dostosowania korelacji do rezultatów eksperymentalnych.

W rozdziale 8, pod tytułem „Opracowanie wyników badań”, który z niewiadomych powodów znalazł się przed rozdziałem „Wyniki badań”. Ponieważ dotyczy on metodyki wyznaczania podstawowych parametrów procesu wrzenia i własności fizycznych nanocieczy należy to raczej uznać za niezręczność językową.

Rozdział 9 zawiera podsumowanie i wnioski, które w sposób pełny i zwięzły przedstawiają wyniki pracy.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami, rozprawa doktorska powinna prezentować rozwiązanie wybranego problemu naukowego i w ten sposób dowodzić, że Autorka opanowała warsztat badawczy. Wyniki naukowe przedstawione w rozprawie mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz spełniają ten wymóg.

3b. Krytyczne uwagi szczegółowe

W rozdziale 1 na str. 6 jest wewnętrznie sprzeczne określenie „energia cieplna”, bowiem ciepło nie jest energią, lecz sposobem jej przekazywania (*Staniszewski B., 1982, Termodynamika, PWN, Warszawa*).

W rozdziale 2, na rysunkach 2.3 i 2.4 na osiach rzędnych przedstawiane są wartości względne bez wyjaśnienia w relacji do jakiej cieczy bazowej? Na rys. 2.8 zamieszczono wykresy konduktywności dla zmiennej koncentracji objętościowej nanocząstek. Koncentracja ta podana jest w % (od 0,5 do 4%), co należy uznać za pomyłkę, gdyż tak w swoich badaniach jak i w przeglądzie stanu wiedzy Autorka w operuje wartościami koncentracji znacznie mniejszymi. Rys. 2.13 sprawia wrażenie bardzo mało czytelnego, zwłaszcza w górnym zakresie kąta zwilżania. Osie opisane są przy użyciu różnych czcionek i, jak poprzednio, nie wiadomo względem jakiej wartości krytycznej przedstawiono względną krytyczną wartość natężenia strumienia ciepła?

Niewątpliwie istotną częścią pracy jest analiza stanu wiedzy dotycząca procesu wrzenia. Poświęcony niemu rozdz. 3 posiada pewne wady. Krzywa wrzenia, którą Autorka przedstawia na str. 26 (rys. 3.1) jest podstawową, graficzną interpretacją zjawisk omawianych w całej pracy. Autorka winna więc, moim zdaniem, poświęcić tej ilustracji więcej uwagi. Rysunek w przedstawionej formie jest bardzo uproszczony. Autorka pisze, że na wykresie widoczne są trzy odcinki. Czytelnik widzi cztery. Oś rzędnych oznaczona jest

jako q z kropką (brak też tego oznaczenia w wykazie). Opis efektu „przepalenia” jest niezgodny z mechaniką zjawiska (kryzys wrzenia nie występuje wtedy gdy, jak pisze Autorka, ścianka ogrzewana jest strumieniem o stałej wartości). Nie wiem również, co oznacza na rysunku punkt A ? Jako przykład właściwie przedstawionej krzywej wrzenia polecam choćby ilustrację w pracy Micheeva (*Micheev M.A., Micheeva M., 1973, Osnovy teploperedaci, Energia, Moskva*).

Rozdział 7, podrozdz. 7.1. Autorka podaje szczegóły izolacji cieplnej modułu głównego stanowiska badawczego, konkludując, że „zadowalająco” zmniejszyła ona straty do otoczenia. Moim zdaniem, by mieć pewność odnośnie wielkości strat należało dokonać kalibracji stanowiska. W podrozdz. 7.2 dotyczącym procedury badawczej Autorka podaje, że za stan ustalony uznaje taki, dla którego zmiana wskazań termoelementu mierzącego temperaturę wewnątrz rurki, nie przekracza $\pm 0,001$ mV. Ale istotne jest, po jakim czasie? Tego Autorka nie podaje.

Uwagi redakcyjne

Rozprawę mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz napisana została poprawnym językiem, z użyciem właściwej terminologii.

Jednakże pracę cechuje niewystarczająca dbałość o poprawność redakcyjną. Przykłady usterek korektorskich wymieniam poniżej:

- Niezbyt staranna edycja rysunków, przykład rys. 2.13. Nie uwzględniono faktu, że zamieszczone w rozprawie rysunki, pomniejszone do formatu A-4, stają się nieczytelne. Przykład rys. 4.1,
- Widoczny jest brak ujednoliconej formy zapisu wymiarów na osiach wykresów, raz są to (...), raz [...]. Przykłady – rys. 2.8, 2.9,
- Stosowanie kropek, zamiast przecinków jako separatorów dziesiętnych jak np. tab. 2.2, czy rys. 2.2,
- Także, o czym wspomniałem, te same wielkości oznaczane są w różny sposób (np. q z kropką rys. 3.1 i 3.2, zaś samo q na większości rysunków),
- Rys. 4.9, to po prostu krzywa wrzenia, a więc nie jest prawidłowy opis osi rzędnych – powinno być q , (ta sama uwaga dotyczy rys. 4.12, 4.13, 4.14 i szczególnie rys. 4.15),
- Jako indeksy dolne dla cieczy pojawiają się zamiennie litery l (str.4), c (rys. 2.10) i f (tab. 2.2),

- Str. 53, bardzo długie zdanie jak na pracę z dziedziny nauk technicznych, zajmujące 6 wierszy,
- Niezbyt szczęśliwe sformułowanie, że Autorka postanowiła „stworzyć” własne równanie, str. 76,
- Pomyłki literowe, przykłady str. 48.

4. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Autorka podjęła się ambitnego zadania. Wykonała je bardzo dobrze i sumiennie. Wybór tematyki badań i dobór metod badawczych oceniam jednoznacznie pozytywnie. Duża liczba rezultatów pozwala na wykonanie w przyszłości dodatkowych analiz, których wyniki dadzą pełniejszy obraz wrzenia nanocieczy. Wyniki końcowe, uzyskane po analizie danych eksperymentalnych, wnoszą elementy nowości w nauce.

Wyrażone wyżej uwagi krytyczne dotyczą drugoplanowych elementów pracy doktorskiej, która zasługuje na pozytywną ocenę ogólną. Zalecam Autorce, by wykorzystała moje uwagi przy publikowaniu wyników badań i w dalszej działalności naukowej.

Decydujące o wartości pracy eksperymenty – trudne, pracochłonne i wymagające stosowania zaawansowanych technik pomiarów i rejestracji danych – zrealizowano wzorowo. Bardzo cenne osiągnięcie Autorki to udowodnienie, że odpowiednie przygotowanie cieczy roboczej (nanocieczy) w sposób istotny przyczynia się do wzrostu krytycznej gęstości strumienia ciepła oraz współczynnika przejmowania ciepła, co w świetle badań z lat wcześniejszych nie było oczywiste.

Wyniki badań Autorki pozwalają na stwierdzenie, że teza pracy została udowodniona.

Wyrażam pogląd, że rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz spełnia ustawowe wymagania i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

