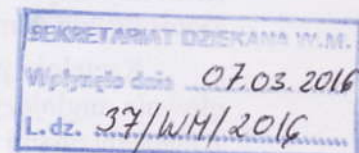


prof. dr hab. inż. Aleksander Andrzej Stachel
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Techniki Ciepłej
al. Piastów 19, 70-310 SZCZECIN

Szczecin, 21. lutego 2016 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny A. Ronewicz

p.t.:

**Badania pierwszego kryzysu wrzenia nanocieczy na poziomych rurkach ze stali
nierdzewnej**

Podstawą sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo z 16.10.2015 roku wystosowane przez Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, prof. dr. hab. inż. Jana Stąsieka, wynikające z wcześniejszej uchwały Rady tegoż Wydziału (nr pisma: 169/WM/2015).

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Katarzyny Ronewicz powstała pod kierunkiem promotora - prof. dr. hab. inż. Janusza Cieślińskiego, profesora zwyczajnego Politechniki Gdańskiej. Praca liczy łącznie 119 numerowanych stron oraz 53 strony nie-numerowane, stanowiące integralną jej część zawierającą wyniki badań.

Strukturalnie praca składa się z 10 rozdziałów, uzupełnionych wykazem ważniejszych oznaczeń (s. 4), spisem treści (s. 5) oraz wykazem literatury (s. 112-119). Podział pracy na rozdziały jest poprawny i nie budzi zastrzeżeń.

W zasadniczej części pracy zamieszczone są 102 rysunki i wykresy, 10 tabel oraz 50 ponumerowanych zależności (z czego 22 zestawione w trzech tabelach). Integralną częścią pracy jest załącznik zawierający zbiór wyników badań prezentowanych w ujęciu graficznym (238 wykresów) i stanowiących uzupełnienie właściwej części rozprawy.

Rozdział „Literatura” liczy łącznie 85 reprezentatywnych pozycji, w tym większość, to jest 76 publikacji, w języku angielskim. Pozostałe publikacje są w języku polskim.

Problematyka rozprawy dotyczy ważnego ze względów poznawczych zjawiska wrzenia cieczy, a w szczególności procesu wrzenia tzw. nanopłynów.

Wrzenie należy do najbardziej istotnych zjawisk fizycznych, głównie ze względu na występowanie, zastosowanie i przydatność w wielu obszarach techniki. Dlatego też dokładne poznanie mechanizmów towarzyszących temu zjawisku jest niezbędne do optymalizacji konstrukcji i prawidłowej pracy urządzeń, w których ma ono miejsce. Jednak pomimo licznych badań, jak do tej pory nie zdołano w sposób jednoznaczny opisać procesu wrzenia. Brak jest nie tylko ogólnego modelu, ale także powszechnie przyjętego mechanizmu transportu ciepła, co wynika ze złożoności i niepowtarzalności procesu, na którego przebieg ma wpływ szereg czynników.

Tymczasem w procesie wrzenia ważne jest nie tylko uzyskanie dużych wartości współczynnika przejmowania ciepła, ale także podwyższenie krytycznej wartości gęstości strumienia ciepła przy jak najmniejszym przegrzaniu cieczy. O intensywności wrzenia decyduje zdolność generowania pęcherzyków pary, wynikająca z możliwości tworzenia

stabilnych centrów zarodkowania oraz z termofizycznych właściwości cieczy. W praktyce intensyfikację procesu uzyskuje się przez rozwinięcie powierzchni grzejnej, zmianę własności termofizycznych lub modyfikację powierzchni i jej własności. Jednym ze sposobów jest zastosowanie w miejsce cieczy jednorodnych (homogenicznych) - tzw. nanocieczy.

Rzetelnie przeprowadzona przez Doktorantkę analiza dotychczasowego stanu wiedzy, głównie anglojęzycznej literatury przedmiotu, wykazała, że nie wszystkie procesy związane z mechanizmami wrzenia są wystarczająco poznane. Jednym z mniej poznanych jest proces zwany pierwszym kryzysem wrzenia. W jego przypadku, uzyskane wyniki wskazują na wzrost krytycznej gęstości strumienia ciepła, niezależnie od rodzaju zastosowanych nanocząsteczek, ich koncentracji, a także rodzaju cieczy bazowej, przy czym wyniki te odnoszą się do powierzchni płaskich lub cienkich walcowych (druty). Z dotychczasowych badań wiadomo także, że wpływ na wartość krytycznej gęstości strumienia ciepła ma szereg innych czynników, jak np. geometria czy jakość powierzchni wymiany ciepła. Stąd recenzowana praca dotyczy rozpoznania zjawisk towarzyszących kryzysowi wrzenia pęcherzykowego wybranych nanocieczy na poziomych rurkach o różnej średnicy.

Zagadnienie jest złożone, ponieważ analiza problemu wrzenia z użyciem nanocieczy wymaga określenia ich właściwości termofizycznych, co w niektórych przypadkach jest kłopotliwe. Jednocześnie należy podkreślić, że podjęcie badań nad tym zjawiskiem jest istotne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale i odniesienie użytkowe.

2. OCENA MERYTORYCZNA PRACY

2.1. Treść rozprawy

W pracy można wyróżnić 2 zasadnicze części, które omawiam poniżej i zarazem formułuję oceny częściowe, składające się na finalną ocenę merytoryczną rozprawy.

Pierwsza z nich to rozdziały od 1 do 5 (s. 6 - 49), stanowiące rzeczowe wprowadzenie w tematykę dysertacji, w których Doktorantka dość szczegółowo omawia uwarunkowania, jakie legły u podstaw wyboru przedmiotu, celu i zakresu jej pracy.

W rozdziale 1 (s. 6-7) zostało zawarte uzasadnienie, dlaczego badania procesu wrzenia, a w szczególności pierwszego kryzysu wrzenia, są ważne w technice. Wynika to z faktu, że pomimo licznych prac, zarówno doświadczalnych jak i teoretycznych, zjawiska te nie zostały poznane i opisane w stopniu wystarczającym, czego powodem tego jest zbyt duża ilość parametrów decydujących o mechanizmach ich przebiegu i wzajemnym oddziaływaniu. Brak jest nie tylko ogólnego modelu wrzenia, ale także ogólnie akceptowanego mechanizmu transportu ciepła, co spowodowane jest złożonością oraz niepowtarzalnością przebiegu procesu, na który wpływ ma szereg czynników (np. gęstość strumienia doprowadzanego ciepła, materiał i geometria powierzchni grzejnej, i inne).

Jak już stwierdzono wcześniej, w procesie wrzenia cieczy, poza uzyskaniem wysokich wartości współczynnika przejmowania ciepła, bardzo ważne jest podwyższenie krytycznej gęstości strumienia ciepła, przy jak najmniejszym jej przegrzaniu. W praktyce intensyfikację procesu uzyskuje się przez rozwinięcie powierzchni grzejnej, zmianę własności termofizycznych cieczy lub modyfikację powierzchni grzania. Jednym z bardziej interesujących sposobów intensyfikacji wydaje się być zastosowanie tzw. nanocieczy, przy czym procesy te nie są w pełni poznane i zbadane. Stąd znaczne zainteresowanie badawcze tą tematyką.

Szczególnie stosunkowo słabo poznane i opisane są zjawiska towarzyszące kryzysowi wrzenia pęcherzykowego nanocieczy na poziomych rurkach, a kluczową w tym przypadku kwestią wydaje się być określenie wartości krytycznej gęstości strumienia ciepła. W celu ilościowego opisu zjawiska, poza pomiarami cieplnymi samego procesu wrzenia, niezbędna

jest także znajomość własności termofizycznych badanych nanocieczy, takich jak np. kąt zwilżania, dynamiczny współczynnik lepkości czy współczynnik przewodzenia ciepła.

Rozdział 2 rozprawy (s. 8-22) zawiera omówienie i charakterystykę nanocieczy, czyli zawiesin powstających w wyniku dodania do tzw. cieczy bazowej niewielkiej ilości cząstek substancji o wymiarze poniżej 100 nm, zwanych nanocząsteczkami. Mogą to być cząstki metaliczne (np. Au, Cu) bądź niemetaliczne (np. Al_2O_3 , TiO_2), o ziarnach różnego kształtu. Na podstawie kwerendy i analizy literatury tematu, Doktorantka omówiła w sposób syntetyczny rodzaje nanocieczy i ich cechy charakterystyczne, a także metody wytwarzania i uzyskania stabilnych zawiesin. Znaczną uwagę poświęciła omówieniu właściwości cieplno-fizycznych, takich jak: przewodność cieplna, lepkość, konduktywność, potencjał zeta, kąt zwilżenia i inne. Ponadto scharakteryzowała zmienność i zależność ww. parametrów od innych wielkości (pH, temperatura, środki powierzchniowo-czynne), a także ich stabilność czasową. Wykazała, że w literaturze tematu brak jest informacji o wpływie substancji pomocniczych stabilizujących zawiesiny na przebieg procesu wrzenia. W odniesieniu do niektórych wielkości, Dyplomantka podała zależności umożliwiające analityczne ich wyznaczenie, np. współczynnika przewodzenia ciepła lub dynamicznego współczynnika lepkości. Ponadto omówiła problematykę zwilżania powierzchni przez ciecz oraz obszary zastosowania nanocieczy i ich znaczenie dla techniki.

W rozdziale 3 (s. 23-26) dysertacji, Doktorantka zawarła podstawowe informacje dotyczące zjawiska wrzenia. Ze względu na temat pracy, szczególną uwagę zwróciła na heterogeniczne wrzenie pęcherzykowe, które różni się od pozostałych przede wszystkim zakresem przegrzania, to jest różnicą temperatury powierzchni grzejnej i temperatury nasycenia cieczy będącej w bezpośrednim z nią kontakcie. Istotnym problemem jest tutaj tzw. kryzys wrzenia pęcherzykowego, wiążący się z krytyczną gęstością strumienia ciepła, w krańcowym przypadku prowadzącą do zniszczenia ścianki wymiennika, przez którą doprowadzane jest ciepło. W pracy wymieniono kilka hipotez dotyczących występowania i istoty kryzysu wrzenia, lecz bez zamieszczenia ich szczegółowej analizy.

Ważnym rozdziałem pracy jest rozdział 4 (s. 26-46), w którym Doktorantka zawarła dokładną i rzetelną analizę stanu wiedzy na temat omawianych zjawisk, przeprowadzoną na podstawie dostępnej literatury tematu. Rozdział zawiera najważniejsze informacje wynikające z rozpoznania literaturowego, które dotyczą aktualnych tendencji, wiodących koncepcji oraz wyników związanych z badaniami kryzysu wrzenia i określaniem właściwości termofizycznych nanocieczy. W szczególności badania te obejmowały różne rodzaje nanocieczy, różne powierzchnie parowania oraz wpływ różnych czynników fizycznych na kryzys wrzenia. Ten dość obszerny krytyczny przegląd materiału dowodzi dobrego rozeznania Doktorantki w aktualnym stanie wiedzy i we współcześnie prowadzonych pracach badawczych dotyczących tej niewątpliwie trudnej tematyki będącej przedmiotem rozprawy doktorskiej.

Tę część rozważań teoretycznych kończą dwa rozdziały, przy czym w rozdziale 5 (s. 47) mgr inż. Katarzyna Ronewicz formułuje następującą tezę, a właściwie hipotezę:

Dodanie nanocząstek (Al_2O_3 , TiO_2 , Cu) w koncentracji masowej w zakresie od 0,001 do 1% prowadzi do wzrostu krytycznej gęstości strumienia ciepła podczas wrzenia nanocieczy: woda- Al_2O_3 , woda- TiO_2 i woda-Cu w dużej objętości na poziomych, gładkich rurkach ze stali nierdzewnej.

Wynika z niej, że zasadniczym celem pracy Doktorantki było rozpoznanie oraz opisanie zjawisk towarzyszących pierwszemu kryzysowi wrzenia nanocieczy, a w szczególności ustalenie wpływu niektórych wielkości na krytyczną gęstość strumienia ciepła, co powinno dać odpowiedź, czy w przypadku nanocieczy pierwszy kryzys wrzenia ma charakter hydrodynamiczny, czy decydujące znaczenie ma ich zdolność do zwilżania powierzchni grzejnej.

Mających na celu potwierdzenie hipotezy, wiązało się to z potrzebą prowadzenia odpowiednich badań, przy czym poza badaniami zasadniczymi niezbędne było wykonanie szeregu innych pomiarów w celu wyznaczenia parametrów termofizycznych nanocieczy użytych w eksperymencie. Dlatego też w rozdziale 6 (s. 48-49), Doktorantka przedstawiła szczegółowy zakres prac eksperymentalnych i analitycznych, obejmujący (a) modernizację stanowiska badawczego, (b) opanowanie metody wytwarzania stabilnych nanocieczy, (c) wyznaczanie krytycznych gęstości strumienia ciepła przy wrzeniu w dużej objętości nanocieczy na bazie wody, (d) opracowanie równania korelacyjnego oraz (e) dyskusję uzyskanych wyników badań.

Reasumując uważam, że zarówno cel, jak i teza pracy zostały przez mgr inż. Katarzynę Ronewicz sformułowane poprawnie.

Drugą, zasadniczą i kluczową część rozprawy - część o charakterze eksperymentalnym, tworzą: rozdział 7 (str. 50-60), rozdział 8 (str. 61-66) i rozdział 9 (str. 67-109), w których scharakteryzowano stanowiska badawcze, metodyki pomiaru, opracowanie wyników badań eksperymentalnych oraz zaproponowano własny model fizyczny zjawiska.

W rozdziale 7 (s. 50-60), w jego kolejnych podrozdziałach, Doktorantka omówiła stanowiska pomiarowe wykorzystane w pracy. Stanowisko do badania pierwszego kryzysu wrzenia zostało opisane w podrozdziale 7.1 (s. 50-51) i pokazane na rys. 7.1 i 7.2, wraz z omówieniem sekcji grzejnej (badane rurki; rys. 7.3). Procedurę pomiarową dotyczącą badań prowadzonych na tym stanowisku podano w podrozdziale 7.2 (s. 53).

Stanowiska do pomiaru własności termofizycznych zostały opisane w p. 7.3 i pokazane na rysunkach 7.4 i 7.5. Do pomiarów dynamicznego współczynnika lepkości zastosowano lepkościomierz RHEOTEKS LK 2.2 firmy Medingen GmbH (rys. 7.5), do pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła użyto miernik KD2 Thermal Properties Analyzer firmy Decagon Devices Inc., natomiast do pomiarów konduktywności i wartości pH - miernik CPC-401 firmy Elmetron (s. 55). Osobnym zagadnieniem był pomiar kąta zwilżenia nanocieczy (p. 7.4; s. 55-57), który realizowano dwiema metodami. W pierwszej z nich użyto goniometru KRUSS DSA-10, natomiast w drugiej - badania prowadzono na stanowisku pomiarowym własnej konstrukcji z wykorzystaniem fotografii wysokiej jakości. Kąt zwilżania wyznaczano na powierzchniach: płaskiej i walcowej, wykonanych z różnych materiałów o różnym stopniu chropowatości (tabela 7.1).

Istotnym elementem realizacji pracy badawczej przez Doktorantkę było przygotowanie nanocieczy, polegające na wytworzeniu zawiesiny z cieczy bazowej i nanoproszku z użyciem płuczki ultradźwiękowej SONICA firmy Soltec (p. 7.6; s. 58). W efekcie uzyskiwano trzy rodzaje nanocieczy (Al_2O_3 ; TiO_2 ; Cu) o różnej koncentracji masowej nanocząstek w cieczy bazowej (tabela 7.2), przy czym jako bazę użyto odpowiednio wodę i olej termalny.

Z kolei w rozdziale 8 Dyplomantka omówiła sposób opracowania wyników pomiarów, zarówno w odniesieniu do pierwszego kryzysu wrzenia, jak i kąta zwilżania nanocieczy. W podrozdziale 8.1 pokazała m.in. sposób wyznaczenia gęstości strumienia doprowadzanego ciepła, temperatury zewnętrznej powierzchni rurki, przegrzania cieczy, czy współczynnika przejmowania ciepła (s. 61-62), wraz z podaniem sposobu oszacowania błędu pomiaru. Natomiast w podrozdziale 8.2 omówiła trzy metody pomiaru kąta, to jest: geometryczną, aproksymacyjną i bezpośrednią, wraz z podaniem sposobu i wyników oszacowania błędu każdej z metod (s. 65-66).

W kolejnym rozdziale, dziewiątym (s. 67-109), przedstawione są rezultaty badań doświadczalnych i ich analiza. Na wybranych przykładach Doktorantka przeprowadziła wnikliwą ocenę uzyskanych wyników, dotyczących zarówno kryzysu wrzenia, jak i wpływu na ten proces poszczególnych wielkości. W podrozdziale 9.1 (s. 67-72), na kolejnych wykresach, pokazany jest wpływ temperatury na wartość dynamicznego współczynnika

lepkości oraz na wartość współczynnika wnikania ciepła (s. 73-78), dla różnych koncentracji nanocząstek i dla dwóch różnych płynów bazowych (woda, olej). Uzyskane wyniki pomiarów Doktorantka porównała z otrzymanymi na podstawie istniejących korelacji. Brak zgodności wyników własnych i obliczonych (na podstawie literatury), stał się przyczynkiem do opracowania własnych korelacji, zarówno do wyznaczania dynamicznego współczynnika lepkości (wzór 9.1; s. 71), jak i współczynnika wnikania ciepła (wzór 9.2; s. 76). Podobnie opracowane zostały wyniki pomiarów konduktywności i pH (s. 78-81). W podrozdziale 9.2 (s. 81-86), na kolejnych wykresach pokazane są wyniki badań kąta zwilżenia. Pomiary obejmowały wpływ: chropowatości i rodzaju podłoża oraz rodzaju i koncentracji masowej nanocząstek. Pomiary były prowadzone dla różnych nanopłynów i różnych rodzajów powierzchni.

Natomiast w podrozdziale 9.3 zamieszczono liczne wyniki badań cieplnych (s. 86-109). Dotyczą one wzorcowania stanowiska, kolejnych faz kryzysu wrzenia (krytycznego strumienia ciepła), procesu przetopienia rurki (rys. 9.30), wpływu koncentracji i rodzaju nanocząstek na gęstość strumienia ciepła i innych. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów Doktorantka zmodyfikowała korelację Kandlikara, przystosowując ją do obliczeń krytycznej gęstości strumienia ciepła nanocieczy, z uwzględnieniem koncentracji nanocząstek (wzór 9.4; s. 101).

Podsumowując, na podstawie szczegółowej analizy i oceny dysertacji mogę stwierdzić, że założone w niej cele zostały przez Doktorantkę osiągnięte, a prowadzone badania wykazały, że (rozdział 10, s. 110-11):

- lepkość nanocieczy rośnie wraz z koncentracją nanocząstek i maleje ze wzrostem temperatury, niezależnie od ich rodzaju;
- współczynnik przewodzenia ciepła badanych nanocieczy zmienia się nieznacznie ze wzrostem temperatury, natomiast wpływ koncentracji zależy od rodzaju cieczy bazowej;
- przewodność elektryczna badanych nanocieczy rośnie nieznacznie ze wzrostem temperatury i koncentracji masowej, natomiast wartość pH nieznacznie wzrasta z temperaturą, przy czym nie zauważono wpływu koncentracji na pH;
- kąt zwilżania nanocieczy zależy od rodzaju i chropowatości powierzchni oraz rodzaju nanocząstek;
- obecność nanocząstek wpływa na wartość krytycznej gęstości strumienia ciepła, przy czym rodzaj nanocząstek ma wpływ znaczący, a ich koncentracja – niewielki.

Ponadto Doktorantka opracowała własne równanie korelacyjne na krytyczną gęstość strumienia ciepła, a także równania do obliczania dynamicznego współczynnika lepkości i współczynnika przewodzenia badanych nanocieczy.

Tym samym mogę stwierdzić, że recenzowana przeze mnie praca stanowi interesujący wkład poznawczy do analiz procesów cieplnych związanych z procesem wrzenia pęcherzykowego i kryzysem wrzenia nanocieczy.

2.2. Ocena strony redakcyjnej pracy

Uważam, że rozprawa została napisana stosunkowo zwięźle, dość klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy i tylko w niewielu miejscach wymaga korekt. Doktorantka nie ustrzegła się jednak usterek redakcyjnych, stylistycznych i tekstowych, o różnym charakterze. W tekście występują: błędy literowe, błędy odmiany wyrazów, skróty myślowe i niekiedy - mało precyzyjny opis. Poniżej wyszczególniono jedynie ważniejsze z nich, np.:

- tekst zawiera wiele „pustych” miejsc, co świadczy o niestarannym sformatowaniu pracy i niepotrzebnie „psuje” jej stronę edytorską (np. s. 10, 12, .., 78, 80 itd);

- w *Spisie treści* nie zamieszczono *Wykazu ważniejszych oznaczeń*, znajdującego się bezpośrednio przed nim, ponadto *Wykaz* powinien być zamieszczony po *Spisie*;

- w *Wykazie ważniejszych oznaczeń* (s. 4) jest podany tytuł *Ważniejsze litery greckie* → może lepiej było użyć określenia *Symbole lub oznaczenia greckie* – bo chyba wszystkie litery greckie są jednakowo ważne;

- w wykazie *Ważniejsze indeksy* – jest indeks: *bf – cieczy bazowej* → byłoby lepiej: *bf – dotyczy cieczy bazowej* lub po prostu *bf – ciecz bazowa* (dotyczy także innych indeksów);

- w *Spisie treści* (s. 5) podana jest błędna numeracja stron: np. rozdział *Teza pracy* jest przypisany do strony 49, a powinien być do strony 47 (podobnie numeracja stron: 55, 57, 59, 86, 95, 105);

- strona 8 - „*Nanocząsteczkami mogą być zarówno cząstki metaliczne, tj.: Au, Ag, Cu, Ti, Fe, Pt, cząstki sferyczne, nanodruciki, czy niemetaliczne*” → moim zdaniem określenie „*cząstki sferyczne, nanodruciki*” definiuje kształt nanocząstek, a nie to, że są one metaliczne;

- strona 27 - błędny numer cytowanej literatury – jest [36], powinno być [34];

- strona 52 - „*Źródłem prądu był układ dwóch połączonych wzmacniaczy zbudowanych specjalnie na potrzeby badań*” – chyba zasilaczy, a nie wzmacniaczy;

- strona 53 - „*Kolejne stany ustalone osiągnęto przez stopniowe zwiększanie natężenia prądu dostarczanego do sekcji pomiarowej, które było ...*” → chyba „... prądu dostarczanego do sekcji grzejnej, ...”, a nie do sekcji pomiarowej;

- strona 56 - „*Podstawowy zestaw zawierał: urządzenie podstawowe z własnym ...*” – trochę jak „masło maślane”;

- strona 69 - podany jest odnośnik do rysunku 9.6, który nie został zamieszczony w pracy, z kolei na stronie 71 brak jest w tekście odnośnika do rysunku 9.8;

- część rysunków jest mało czytelna, co utrudnia ich analizę, a powodem jest niemożność rozróżnienia linii wykresów (np. rys. 9.13, strona 76);

- wielokrotnie jest używane, moim zdaniem mało zgrabne określenie „*rukka*” w odniesieniu do elementu, na którym badano kryzys wrzenia – czy nie lepiej było użyć określenia „*grzejnik*” lub „*korpus grzejnika / wymiennika*”;

- proponowałbym, aby w przyszłości nie posługiwać się pojęciem energii cieplnej lecz ciepłem (str. 6).

Informacje o innych usterkach edytorskich, dostrzeżonych podczas lektury pracy, przekazałem Doktorantce.

2.3. Uwagi merytoryczne i pytania

Wnikliwa lektura pracy nasunęły mi się następujące uwagi, których wyjaśnienie przez Doktorantkę byłoby wskazane, a mianowicie:

- Na stronie 50 zamieszczono opis stanowiska badawczego. Podano w nim, że zbiornik pomiarowy miał podwójne ściany i był zaizolowany, co „*zadowalająco zmniejszało straty ciepła do otoczenia*”. Co to znaczy? Skąd wiadomo, że ten wpływ jest pomijalnie mały? Czy prowadzono ocenę strat do otoczenia (cechowanie)? Czy analizowano wpływ strat na wyniki pomiaru? Ponadto wypadałoby, nawet jeśli straty są pomijalnie małe, ująć je w zapisie bilansu cieplnego stanowiska, którego w zasadzie brak w pracy.

- Jaka jest rzeczywista długość czynna badanej rurki (elementu grzejnego)? Zbiornik pomiarowy, w którym badano proces wrzenia nanocieczy, ma wymiary: 150x150xh=250 mm. Długość rurki zgodnie z rysunkiem 7.3 (str. 52) wynosi 190 mm (odcinek grzany?). Jak w takim razie rurka mieściła się z zbiorniku. Jeśli z niego wystawała, to jak określano ilość ciepła wydzielonego w wyniku przepływu prądu

- Na stronie 61 podano „ t_i - temperatura wewnętrznej powierzchni rurki, mierzona za pomocą termoelementu typu K umieszczonego każdorazowo w osi rurki, w środku jej długości (rys. 7.3)”. Czy termopara mierzy temperaturę ścianki wewnętrznej grzejnika (rurki), czy jest umieszczona centrycznie w osi (co wtedy mierzy?). Co oznacza / do czego służy pierścień teflonowy oznaczony numerem 3 na rysunku 7.3.

- Na stronie 23 podano: „... wrzenie pęcherzykowe różni się przede wszystkim zakresem przegrzania, czyli różnicą temperatur powierzchni grzejnej i temperatury nasycenia cieczy będącej w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią grzejną”. Natomiast na str. 61 podano, że „Przegrzanie było obliczane jako różnica temperatur zewnętrznej powierzchni rurki i temperatury cieczy, obliczanej jako średnia arytmetyczna ze wskazań 6 termoelementów ...”, przy czym na str. 50 zapisano, że „Temperaturę wody w zbiorniku mierzono za pomocą 6 termoelementów typu J, umieszczonych w tylnej ścianie zbiornika w sześciu króćcach, na trzech różnych wysokościach.” Czy średnią temperaturę cieczy w zbiorniku można przyjąć za równą temperaturze nasycenia cieczy będącej w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią grzejną?

- Z czego wynika przyjęty w pracy błąd bezwzględny określenia długości czynnej rurki $\Delta L = 4$ mm (str. 62). Czy nie jest zbyt duży?

Reasumując, pragnę jednak wyraźnie stwierdzić, że nie mam wątpliwości co do tego, że Doktorantka zrealizowała zamierzony cel pracy i udowodniła postawioną hipotezę. Nie mam też wątpliwości co do tego, że oceniana praca jest udanym eksperymentem badawczym, a problem badawczy wyselekcjonowany w rozprawie ma duże znaczenie poznawcze, a także utylitarne. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi w niczym nie umniejszają mojej wysokiej oceny dysertacji.

3. PODSUMOWANIE

Reasumując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Ronewicz, zatytułowana: „*Badania pierwszego kryzysu wrzenia nanocieczy na poziomych rurkach ze stali nierdzewnej*”, spełnia wszystkie warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz.595), stawiane rozprawom doktorskim. Zawiera bowiem oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy teoretycznej i technicznej Doktorantki, w szczególności z zakresu wymiany ciepła, prowadzenia badań eksperymentalnych, miernictwa, modelowania wymiany ciepła i innych obszarów techniki cieplnej. Uważam, że podjęta przez Doktorantkę tematyka badawcza jest trudna, ale aktualna i istotna. Uzyskane przez nią wyniki mają, w moim przekonaniu, dużą wartość merytoryczną. Jestem przekonany, że mgr inż. Katarzyna Ronewicz jest w pełni przygotowana do samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Na tej podstawie stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Ronewicz pt. *Badania pierwszego kryzysu wrzenia nanocieczy na poziomych rurkach ze stali nierdzewnej* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

W mojej ocenie, Doktorantka może ubiegać się o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie: budowa i eksploatacja maszyn.

