

Szczecin, 3 czerwiec 2022r.

Dr hab. inż. Zbigniew Zapałowicz, prof. ZUT
Katedra Technologii Energetycznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Ireneusza Nowaka pt.:
„Identyfikacja struktur przepływowych w pulsacyjnych rurkach ciepła w warunkach mikrogravitacji”

1. Podstawa formalna

Recenzja w/w rozprawy doktorskiej została wykonana na pisemne zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni, z dnia 22.04.2022r. (zgodnie z pismem W9/PW/1348/2022 podpisanym przez Zastępcę Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. uczelni).

Opracowanie wykonano zgodnie z wymogami art.13 tekstu Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, (tj. Dz.U. Nr 65, poz.595 z późn. zm.)

Ocenie poddana jest rozprawa doktorska wydana na prawach rękopisu – Raport serii PRE nr __/2021.

2. Uzasadnienie podjęcia badań

Eksploracja przestrzeni kosmicznej jest wyzwaniem dla ludzkości. Poznanie Kosmosu i praw fizycznych w nim obowiązujących wymaga wysłania sputników i prowadzenia badań naukowych. Dla projektantów i konstruktorów sputników, jednym z wielu istotnych problemów, jest zapewnienie bezpieczeństwa obiektu w trakcie jego lotu i przebywania na orbicie. Dlatego też ważnym zagadnieniem jest kontrola i regulacja wartości temperatury na powierzchniach zewnętrznych „statku powietrznego” oraz w jego wnętrzu. Utrzymywanie temperatury na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych ścian wymaga więc przekazywania ciepła między ośrodkami. Jednym z urządzeń stosownym do transportu ciepła w pasywnych systemach kontroli temperatury sputnika jest pulsacyjna rurka ciepła. Działanie pulsacyjnej rurki ciepła w warunkach mikrogravitacji zainspirowało Doktoranta do podjęcia szczegółowych badań tego urządzenia. Pojawiające się wewnątrz meandrycznej rurki ciepła przepływy dwufazowe wymagają określenia warunków ich występowania. Jak wykazał w rozprawie Pan mgr inż. Andrzej Nowak problem ten jest nadal niewystarczająco zbadany. Zatem podjęcie badań nad tym zagadnieniem jest uzasadnione. Zasadność tych badań potwierdziła także Europejska Agencja Kosmiczna umożliwiając Doktorantowi prowadzenie eksperymentów w ośrodku badawczym ZARM Drop Tower, zlokalizowanym w Bremie/Niemcy.

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

49/464/2022

Wpłynęło dnia 14.06.22r.

3. Ocena merytoryczna pracy

Ogólny opis pracy

Tekst rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Andrzeja Nowaka liczy 130 stron, przy czym zasadnicza część pracy wraz z bibliografią to 119 stron - numerowanych cyframi arabskimi. Tekst ten jest poprzedzony nienumerowaną stroną tytułową oraz 10-cioma stronami z numeracją cyframi rzymskimi. Praca zawiera wymagane streszczenia w języku polskim i angielskim. „Spis treści” zamieszczono na stronach vii i viii. Na stronie ix i x Autor podał „Wykaz ważniejszych oznaczeń” i „Wykaz skrótów” użytych w tekście rozprawy. Ilość zamieszczonych parametrów w „Wykazie oznaczeń” jest dość skromna i moim zdaniem niewystarczająca.

Struktura podziału pracy doktorskiej na rozdziały jest w poprawna, ale tytuły niektórych podrozdziałów nie zawsze odzwierciedlają podane w nich informacje. Zasadnicza część pracy to siedem numerowanych rozdziałów oraz nienumerowane rozdziały „Wprowadzenie” i „Bibliografia”. Na końcu pracy Doktorant zamieścił „Spis ilustracji” i „Spis tabel”.

Szczegółowe omówienie pracy

Zasadnicza część pracy rozpoczyna się rozdziałem „Wprowadzenie”. Doktorant przedstawia w nim informacje dotyczące stanu aktualnego i perspektyw rozwoju badań naukowych niezbędnych do dalszej eksploracji Kosmosu. Rozwój technologii budowy statków kosmicznych wymaga m.in. ulepszenia systemów kontroli i regulacji temperatury powierzchni płaszcza zewnętrznego, jak i powierzchni wewnętrznych obiektu. Utrzymanie żądanych warunków temperaturowych powierzchni wymaga więc przekazywania ciepła między ośrodkami. Procesy wymiany ciepła muszą być intensywne co można osiągnąć w warunkach przepływów dwufazowych w zminiaturyzowanych wymiennikach ciepła. Zatem, jak stwierdził Doktorant, identyfikacja struktury przepływu dwufazowego w warunkach niskiej wartości grawitacji jest tutaj kluczowym problemem.

Rozdział 1 rozprawy doktorskiej nosi tytuł: „Aktualny stan technologii”. Jest on zbyt ogólny i nie jest adekwatny do treści tego rozdziału. Może lepszym byłoby zatytułowanie tego rozdziału np.: „Metody ochrony cieplnej powierzchni ścian statku kosmicznego”. Podane w nim informacje pozwalają na zapoznanie się ze stosowanymi technikami utrzymania wymaganego zakresu temperatury powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych sputnika. Szczególnie zainteresowanie Doktoranta ukierunkowane jest na pasywne systemy kontroli temperatury, których cechy konstrukcyjne i eksploatacyjne predysponują je do stosowania w sztucznych satelitach. Ze względu na intensywność wymiany ciepła, zdaniem Autora, godnym polecenia rozwiązaniem jest zastosowanie rurek ciepła klasycznych i pulsacyjnych. Występujące wewnątrz rurek ciepła procesy zmiany fazy czynnika roboczego pozwalają na przekazywanie strumieni ciepła o dużej gęstości. Doktorant upatruje duże możliwości aplikacyjne dla pulsacyjnych rurek ciepła. Ten problem zainspirował go do prowadzenia badań naukowych nad poznaniem struktur przepływu w kanałach (rurkach) o średnicy większej od krytycznej w warunkach mikrogravitacji. W kolejnych podrozdziałach tego rozdziału przedstawiono występujące w pulsacyjnych rurkach ciepła struktury przepływu oraz dotychczas opracowane mapy przepływu. Na zakończenie tego rozdziału Doktorant podaje problemy naukowe, które wymagają dalszej analizy aby lepiej poznać działanie pulsacyjnych rurek ciepła.

Uwagi do rozdziału 1.

- 1) Opis konstrukcji i działania wielowarstwowej izolacji (MLI) podany przez Autora jest niejasny dla czytelnika (str.3). Autor pisze najpierw, że warstwy materiału charakteryzują się niską emisyjnością w zakresie promieniowania podczerwonego, a w następnym zdaniu sugeruje, że „Dzięki temu wymiana ciepła przez

promieniowanie jest ograniczona przez wiele warstw elementów refleksyjnych”. Dopiero w dalszej części tego akapitu można domyślić się jakie cechy powinny mieć zewnętrzna i wewnętrzne warstwy izolacji (str.4).

- 2) Czy istnieje termin „współczynnik wypromieniowania ciepła”? – moim zdaniem jest to „współczynnik emisji materiału powierzchni” w danym zakresie długości fal (str.4).
- 3) Dlaczego akurat w tym miejscu pracy został zamieszczony rozdział 1.2. o tytule „Dwufazowa wymiana ciepła” (str.6) skoro jego treścią jest omówienie historii rozwoju rurek ciepła. Problem przepływów dwufazowych w rurkach cieplnych jest omawiany w dalszej części tego rozdziału.
- 4) Wyjaśnienia wymaga pojęcie „błędy” w ostatnim zdaniu podrozdziału 1.2 (str.7). Jakie błędy mogą powstać w procesie produkcji PHP?
- 5) Autor zapomniał oznaczyć na rys.1.3 odpowiednie strefy w PHP (str.9). Opis w tekście nie pozwala zidentyfikować tych stref na rysunku.
- 6) Komentarza wymaga też informacja (str.10): ...”Jak podaje Ma w swojej książce [70] większość ciepła transportowana w PHP jest transportowana za pomocą ciepła właściwego.”... W wymianie ciepła są trzy mechanizmy: przewodzenie, konwekcja i promieniowanie.
- 7) Rys.1.5 przedstawia 6 struktur przepływu, natomiast w opisie znajduje się 5 struktur przepływu (str.12); powinna być także wymieniona struktura pęcherzykowa rozproszona.
- 8) Ostatni akapit ze str.11 powinien być umieszczony po omówieniu struktur przepływu pokazanych na rys.1.5. Dopiero wtedy informacja o sposobie określaniu granic pomiędzy strukturami przepływu będzie istotna.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawia obszerny przegląd stanu wiedzy dotyczącej przepływów dwufazowych w warunkach występowania grawitacji i w warunkach mikrogravitacji. W warunkach panujących na Ziemi, gdy działa siła grawitacji, można rozpatrywać przepływy dwufazowe w kanałach pionowych i poziomych. Badania w tych warunkach są prowadzone od wielu lat i pozwalają na identyfikację odpowiednich struktur przepływu w zależności od parametrów, w których odbywa się przepływ. W światowej bibliografii opracowano wiele map struktur przepływu, które mogą uzależniać wystąpienie danej struktury od parametrów lub grup parametrów wymiarowych lub bezwymiarowych. Istotnym parametrem jest też spadek ciśnienia w trakcie przepływu czynnika roboczego w kanale. Doktorant przedstawił problem spadku ciśnienia w warunkach ziemskich i w warunkach mikrogravitacji dokonując analizy istniejących badań naukowych. Szczególnie ważnym jest podrozdział przedstawiający stan wiedzy światowej dotyczący struktur przepływu dwufazowego w warunkach mikrogravitacji. Przepływ dwufazowy w pulsacyjnych rurkach ciepła odbywa się, gdy rurka jest kapilarną, a więc konieczne są informacje o kryterium rozdziału kanałów na mikrokanale i minikanale. Doktorant podaje jak inni badacze dokonują tej klasyfikacji kanałów na podstawie różnych kryteriów. Naukowcy starają się także przedstawić zależności między charakterystycznymi parametrami zjawiska w formie liczb bezwymiarowych. Podobnie postępuje Doktorant, który na podstawie analizy wymiarowej przepływu dwufazowego w mikrokanale, określa 5 liczb bezwymiarowych tj. liczbę kapilarną Ca , liczbę Bondy, liczbę Reynoldsa, liczbę Webera i liczbę Froude’a, za pomocą których można dokonać opisu zjawiska – identyfikacji struktur przepływu. W rozdziale 2 Autor omawia też stosowane metody wizualizacji przepływu dwufazowego, które pozwalają na rejestrację przebiegu zjawiska.

Uwagi do rozdziału 2

- 1) Czy w przepływach dwufazowych istnieje pojęcie „interfejs” prędkości? (str.21)

- 2) W przepływach dwufazowych częściej spotyka się pojęcie „obszar przepływu” niż „reżim przepływu”.

Rozdział 3 rozprawy doktorskiej zawiera podsumowanie stanu wiedzy o zjawisku przepływu dwufazowego w rurkach o średnicy nieco większej od średnicy kapilarnej. Doktorant stwierdził, że taki przepływ w warunkach mikrogravitacji, a zwłaszcza przy przyspieszeniu lub opóźnieniu przepływu jest jeszcze niewystarczająco zbadany. Brak jest też badań doświadczalnych, gdy płynący czynnik dwufazowy zmienia kierunek ruchu. Doktorant chce udowodnić tezę, że do opisu struktur przepływu w warunkach mikrogravitacji można zastosować zaproponowaną przez niego liczbę podobieństwa, która uwzględnia istotne w warunkach grawitacji takie parametry jak: średnica charakterystyczna kanału, napięcie powierzchniowe, gęstość i lepkość czynnika roboczego oraz jego prędkość charakterystyczną. Zaproponowana liczba podobieństwa nie uwzględnia siły grawitacji, która jest istotnym parametrem w warunkach ziemskich, a przyspieszenie czynnika roboczego. Autor formułuje też cele pomocnicze, które mają umożliwić przeprowadzenie procesu dowodowego. Zarówno teza jak i cele pomocnicze są podane w sposób prawidłowy i logiczny.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawił szczegółowo budowę i opis działania stanowiska badawczego oraz podał warunki i możliwości prowadzenia badań. Ze względu na skalę trudności związaną z uzyskiwaniem stanu mikrogravitacji i czasem jej utrzymywania, przeprowadzenie badań było możliwe tylko w ośrodku badawczym ZARM Drop Tower w Bremie. Stanowisko badawcze umieszczano w kapsule i katapultowano w wieży zrzutów. W związku z ograniczeniami warunków prowadzenia badań w wieży zrzutów stanowisko badawcze wymagało specjalnej konstrukcji. Doktorant omówił szczegółowo części przepływową i mechaniczną stanowiska oraz jego opomiarowanie. W rozdziale tym podano także metodykę prowadzenia badań. Autor przedstawił także informacje dotyczące ustalenia parametrów, dla których prowadzone będą badania (tj. prędkości czynnika, częstotliwości ruchu, rodzaju czynnika) oraz określił zakres tych zmian.

Uwagi dotyczące rozdziału 4

- Poszczególne obrazy na rys.4.1 powinny być oznaczone literami a), b), c), d), e) .
- Podobnie pod rys.4.2 – 4.5 w opisach powinny być podane wyjaśnienia co oznaczają kolejne cyfry.
- Siłownik jest bez tłoczyska, to skąd nagle na str. 49 Autor wprowadza pojęcie ruchu tłoczyska.
- Podpis pod rys.4.11 jest fragmentem tekstu.
- Niefortunny jest tytuł podrozdziału 4.8 „Tablica badań” – lepiej byłoby zatytułować ten podrozdział „Zakres badań”.

Kolejny rozdział rozprawy to „Procedura analizy obrazu”. W rozdziale tym Doktorant najpierw przedstawił krok po kroku metodykę opracowywania zarejestrowanych 3 kamerami klitek filmu. Automatyzacja procesu analizy obrazu pozwala w sposób obiektywny identyfikować i śledzić zmiany kształtów granic pomiędzy fazami. Eliminacja szumów, usunięcie mało istotnych fragmentów obrazu, stworzenie ostrych granic na granicach faz umożliwia uzyskanie istotnych informacji o zarejestrowanym procesie. Dodatkową trudnością, którą musiał pokonać mgr inż. Andrzej Nowak było uzyskanie jednego obrazu na podstawie 3 zarejestrowanych obrazów, a także identyfikacja zarejestrowanych bąbli parowych. Kolejnym ważnym etapem analizy wyników badań było ustalenie prędkości na granicach faz metodą PIV. Następnym krokiem było połączenie informacji o obrazie z informacjami o polach przepływu w kanale. Na tej podstawie Doktorant oszacował prędkość i przyspieszenie bąbla parowego w kanale. Kolejnym etapem analizy było opracowanie metodyki śledzenia wybranego bąbla parowego i metodyki jego rozpadu lub połączenia z bąblem sąsiednim. Opracowana przez

Doktoranta procedura analizy wyników pomiarów jest oryginalna. Jednak jak wskazuje sam Autor wymaga dalszych udoskonaleń.

Rozdział 6 zawiera analizę otrzymanych przez Doktoranta wyników badań doświadczalnych. Do opracowania tych wyników wykorzystano zmodyfikowaną liczbę kryterialną – liczbę Bonda, w której przyspieszenie grawitacyjne, charakterystyczne dla warunków ziemskich, zastąpiono przyspieszeniem czynnika roboczego płynącego w analizowanych kanałach w warunkach mikrogravitacji. Ponadto Autor zaproponował by analiza dotyczyła parametrów dla bąbla parowego a nie dla cieczy, ponieważ zjawiska zachodzące na granicy rozdziału faz decydują o zmianie struktury przepływu (z korkowej w pierścieniową lub odwrotnie). Pierwsze porównanie to sprawdzenie czy uzyskane wyniki badań własnych Autora znajdują się w obszarze przepływów ograniczonych czy nieograniczonych w kanałach. Według Harirchiana i Garimelii, jeśli wartość wyrażenia ($Bo^{0.5} \cdot Re$) jest większa od 160 to przepływ w kanale jest nieograniczony. Według tego kryterium większość przepływów w kanałach w badaniach Doktoranta jest przepływami nieograniczonymi, gdy do analizy zastosowano zmodyfikowaną liczbę Bonda. Kolejne porównanie wyników badań to ich konfrontacja z wynikami uzyskanymi przez Pietrasanta i in. [89]. Doktorant stwierdził, że jego wyniki badań naniesione na mapę przepływu zaproponowaną Pietrasanta i in. położone są w innych obszarach niż wyniki uzyskane przez autorów mapy. W związku z tym zaproponował dodatkowe kryterium do oceny struktury przepływu tj. wartości przyrostów prędkości i przyspieszenia bąbla parowego. Zgodnie z propozycją Doktoranta jeśli bąbel parowy porusza się szybciej i jednocześnie przyspiesza to szansa jego zetknięcia z bąblem go poprzedzającym jest większa, co z kolei powoduje, że w przepływie powstaje struktura pierścieniowa. Podobnie jeśli analizowany bąbel parowy zaczyna poruszać się wolniej i jednocześnie opóźnia się to może zetknąć się i połączyć z bąblem znajdującym się za nim co prowadzi do tego samego skutku. Z kolei, gdy prędkość rośnie a przyspieszenie bąbla parowego maleje to może dojść do podziału bąbla, a więc przejście ze struktury pierścieniowej do korkowej. Analiza wyników badań przedstawionych na rys.6.7 potwierdza taką interpretację. Z kolei z analizy położenia punktów pomiarowych na rys.6.8 wynika, że średnica kanału nie wpływa istotnie na wystąpienie danej struktury w przepływie dwufazowym w warunkach mikrogravitacji. Jak wynika z rys.6.9 pomiędzy identyfikowanymi strukturami nie występują ostre granice. Czy powodem są tu błędy w automatycznej rejestracji obrazu mogą rozstrzygnąć dopiero dalsze badania. Doktorant poszukuje „ostrych” granic między obszarami struktur korkowej i pierścieniowej, a może trzeba rozważyć możliwość istnienia struktury przejściowej między tymi obszarami? Doktorantowi nie udało się jednoznacznie rozstrzygnąć wpływu rodzaju cieczy na powstanie danej struktury przepływu. Oczywiście, jak w każdych badaniach doświadczalnych, zwiększenie zakresu ich prowadzenia o kolejne cieczy pozwoli na pozyskanie dodatkowych informacji do analizy zjawiska. Ciekawe informacje jakościowe wynikają z analizy dynamiki procesu zmiany struktury z pierścieniowej do korkowej. Procesy te nie są natychmiastowe lecz zależą od czasu. Autor stara się pokazać jak zmieniają się wartości parametrów bezwymiarowych w kolejnych chwilach rejestracji procesu.

Uwagi dotyczące rozdziału 6

- Informacje podane w podrozdziale 6.1. powinny być szczegółowo omówione w rozdziale 2, a wnioski z nich wynikające wykorzystane w rozdziale 6.
- Autor powinien podać definicję i wzór zmodyfikowanej liczby Bonda. Ta liczba jest podstawą prowadzonych przez niego analiz i z powodów formalnych powinna być uwypuklona.
- Na rys.6.2 znajduje się tylko jedna linia pozioma. W tekście pracy opisując rys.6.2 Doktorant wspomina o dwóch liniach poziomych, które rozgraniczają obszary przepływów ograniczonych i nieograniczonych ustalone według dwóch różnych

kryteriów. Jedna z tych linii na rysunku jest jednak pionową. Autor zmusza czytelnika do samodzielnego poszukiwania informacji, które znajdują się na rys.2.6 i 2.10.

- Moim zadaniem rys.6.4 powinien znaleźć się w rozdziale 2. Autor powinien omówić także linie graniczne wyznaczone przez Pietrasanta i in. i zaznaczyć obszary występowania struktury pierścieniowej i korkowej.
- Co oznaczają linie przerywane na rys.6.5. Czy to są linie graniczne obszarów? Na rys.6.4 te linie są niewidoczne. Zatem czy to są linie naniesione przez Doktoranta?
- Tytuł podrozdziału 6.2 jest nielogiczny. Może lepiej byłoby zatytułować ten podrozdział: „Opis wyników badań za pomocą liczb bezwymiarowych”.
- W tekście pracy jest błąd w cytowaniu rys.6.6.
- Lepiej byłoby w opisie występowania zjawisk łączenia się i rozpadu bąbli parowych wprowadzić przyrost prędkości. Prędkość nie może być ujemna co wynika z definicji tego parametru fizycznego (stosunek drogi do czasu). Natomiast przyrost prędkości dodatni lub ujemny oznacza, wzrost lub spadek prędkości. Podobnie trzeba byłoby analizować zmiany przyspieszenia (opóźnienia).
- Zgodnie z definicjami liczb (str.88) i powyższą uwagą nie ma możliwości by liczby Reynoldsa i Bonda były ujemne. Zatem wymagane byłoby odpowiednie zinterpretowanie ich ujemności.

Ostatni rozdział pracy to podsumowanie i wnioski.

W rozdziale tym Doktorant potwierdza osiągnięcie kolejnych celów badawczych oraz słuszność postawionej hipotezy.

Bibliografia liczy 127 pozycji. Wszystkie pozycje bibliograficzne są cytowane w treści rozprawy doktorskiej. Doktorant zastosował regułę cytowania pozycji bibliograficznych według porządku alfabetycznego. Jednak podawanie imion autorów na początku akapitu utrudnia analizę bibliografii. Na dodatek imiona autorów artykułów są raz podawane w pełnym brzmieniu a raz w skrócie.

4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Rozprawa doktorska ukazała się na prawach rękopisu i w związku z tym nie podlegała typowej weryfikacji redakcyjnej. Brak korekty językowej powoduje, że w niektórych jej fragmentach Autor nie ustrzegł się skrótów myślowych, i kolokwializmów. W niektórych fragmentach pracy bardziej precyzyjne przedstawienie poruszanych problemów polepszyłoby czytelność tekstu. Te fragmenty tekstu dla osób nie będących specjalistami będą trudne do zrozumienia.

Najważniejsze uwagi redakcyjne:

- Na wielu osadzonych rysunkach opis osi i/lub opis parametrów jest zdeformowany np. rysunki 1.2, 6.7 - 6.16
- Rys.2.6 i 6.2 są identyczne.
- Rys.1.6 i 2.3 są identyczne.
- Z kolei informacje podane na rys.1.5 i 2.1 są takie same.
- Zdarzają się powtórzenia ciągu wyrazów np. str.6, str.8.
- Jakość rysunków zaczerpniętych z innych artykułów jest dość kiepska. Ze względu na prawa autorskie w opisie każdego z takich rysunków powinna być cytowana pozycja bibliografii, w której znajduje się rysunek. Opisy na tych rysunkach, co oczywiste, są w

języku angielskim, jednak w opisie rysunku powinny być podane ich polskie odpowiedniki.

- Po nazwiskach Kew i Cornwell powinno być cytowanie wzmiankowanej pozycji bibliograficznej (str.12).
- Brak jest wyjaśnień symboli występujących w cytowanych wzorach oraz na rysunkach. Doktorant przyjmuje, że każdy z czytelników jest specjalistą w dziedzinie przepływów wielofazowych i wyjaśnienia nie są konieczne.
- Dlaczego w tabeli 2.1 zamieszczono dwie ostatnie kolumny. Są one niepotrzebne.
- Wzory powinny być w nawiasach, gdy są cytowane w tekście.
- Nie są spełnione reguły przenoszenia tabel na kolejne strony.

Skróty myślowe to m.in.:

Str.4 ... W przypadku małych satelitów niewielka powierzchnia zewnętrzna powoduje, że częstym rozwiązaniem jest wykorzystanie rozkładanych paneli z odpowiednio przygotowaną *powierzchnią cieplną*. ... Sądzę, że jest to *powierzchnia wymiany ciepła*.

Str.8 ... Tym, co jednak wyróżnia PHP ... jest ... awaryjność. ... Chyba mniejsza awaryjność PHP lub jej brak.

Str.15 ... W całej powyższej części pracy tylko pobieżnie wspomniano ...

Str. 16 ... Wnioski z nich płynące sugerują, że w obecnym momencie najważniejsze i nadal nierozwiązane są: 1. Ciepło utajone i ciepło właściwe, 2. Objętościowe wypełnienie układu, itd.

Str.20 ... W podrozdziale 2.6 zostanie przedstawiona metoda określania najważniejszych właściwości fizycznego (-ych) danego zjawiska pozwalające na uniezależnienie wyników badań o wymiarów ... powinno być od parametrów wymiarowych.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

W rozprawie doktorskiej mgr inż. Andrzeja Ireneusza Nowaka znajdują się oryginalne wyniki badań doświadczalnych, prowadzonych w warunkach mikrogravitacji, dotyczące identyfikacji struktur przepływu w nieogrzewanych kanałach kapilarnych. Doktorant zaproponował aby do identyfikacji występujących w takim przepływie struktur pierścieniowej i pęcherzykowej zastosować zmodyfikowaną liczbę Bonda. Przedstawiona w rozprawie teza, że zmodyfikowana bezwymiarowa liczba Bonda uwzględniająca przyspieszenie czynnika roboczego opisuje w prawidłowy sposób występującą strukturę przepływu, została potwierdzona. Osiągnięcie to jest istotnym oryginalnym wkładem Autora w rozwój dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Doktorant posiada wystarczającą wiedzę teoretyczną i umiejętności do samodzielnego prowadzenia badań w/w dyscyplinie.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. **Andrzeja Ireneusza Nowaka** zatytułowana: „Identyfikacja struktur przepływowych w pulsacyjnych rurkach ciepła w warunkach mikrogravitacji”, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” (tj. Dz.U. Nr 65, poz.595 z późn. zm.) i dlatego przedkładam Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej wniosek o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Treść pracy jest zgodna z dyscypliną naukową **Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka**.

dr hab. inż. Zbigniew Lepińska, prof ZUT

