

dr hab. inż. Wojciech Sobieski, prof. UWM
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
10-957 Olsztyn, ul. M. Oczapowskiego 11
e-mail: wojciech.sobieski@uwm.edu.pl
tel.: (89) 5-23-32-40
fax: (89) 5-23-32-55

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Doroty Homy pt.:
„Eksperymentalne i numeryczne badanie zjawiska kawitacji dla różnych
warunków przepływu”

1. Opis ogólny rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt. „Eksperymentalne i numeryczne badanie zjawiska kawitacji dla różnych warunków przepływu” obejmuje łącznie 158 stron tekstu, przy czym 137 stron zajmuje treść zasadnicza, a pozostałe strony to podziękowania, spis treści, wykaz oznaczeń, wykaz literatury, spisy rysunków i tabel oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Objętość pracy odpowiada standardom rozpraw doktorskich i nie budzi żadnych zastrzeżeń, podobnie jak jakość i liczba materiałów źródłowych (łącznie 126 pozycji).

Rozdział 1 zawiera zbiór najważniejszych informacji dotyczących zjawiska kawitacji. Autorka przedstawiła zagadnienie równowagi termodynamicznej pęcherzy parowo-gazowych w środowisku ciekłym, wyprowadziła kluczowe dla zagadnień kawitacji równanie Rayleigha-Plesseta, omówiła implozję pęcherzyka w środowisku symetrycznym i niesymetrycznym, wymieniła najważniejsze negatywne skutki występowania kawitacji, przedstawiła definicję tzw. liczby kawitacyjnej, a także opisała różne rodzaje struktur kawitacyjnych. Zestawienie treści, obszerność wyjaśnień oraz dobór źródeł bibliograficznych jest stosowny do tematyki rozprawy.

W Rozdziale 2 przedstawiono cel pracy oraz jej zakres, z rozbiciem na poszczególne etapy. Elementy takie jak problem naukowy i hipoteza badawcza nie zostały sformułowane. Dalsza część rozdziału stanowi rodzaj streszczenia, informującego o zawartości kolejnych rozdziałów rozprawy.

W Rozdziale 3 omówiono wybrane eksperymenty związane z badaniami zjawiska kawitacji, koncentrując się na zastosowanych w nich technikach pomiarowych. W rozdziale przedstawiono głównie te eksperymenty, które odnosiły się do analizy kształtu, rozmiaru i zachowania różnych struktur kawitacyjnych. Wspomniano również o badaniu zjawisk towarzyszących kawitacji, takich jak hałas i wibracje.

Rozdział 4 zawiera krótki opis trzech głównych typów modeli kawitacji stosowanych w badaniach symulacyjnych tego zjawiska oraz zestawienie najważniejszych modeli kawitacji wykorzystywanych w podejściu bazującym na dodatkowym równaniu transportu pary wodnej. W kolejnych akapitach omówiono modele takich autorów jak: Merkle i in., Kunz i in., Singhal i in., Schnerr i Sauer, Iben, Saito i in., Zwart i in., Senocack i Shyy, Wu i in., Huang i Wang, Goncalves, Konstantinov i in. W dalszej części rozdziału opisano kwestie modelowania turbulencji w przepływach z kawitacją. Omówiono główne strategie modelowania (podejścia RANS i URANS, LES, LES/RANS i DNS) oraz zestawiono różne formuły służące do korekty tzw. lepkości turbulentnej.

W Rozdziale 5 omówiono stanowisko badawcze wykorzystane w badaniach eksperymentalnych oraz przedstawiono wyniki uzyskane przy zastosowaniu zwykłej kamery oraz kamery do szybkich zdjęć. W pierwszym przypadku uwzględniono 6 różnych wartości kąta natarcia, a zdjęcia wykonano w widoku bocznym. W drugim przypadku badano 3 różne ustawienia kąta natarcia, a zdjęcia wykonano w dwóch widokach (przy czym rejestracja odbywała się sekwencyjnie): z boku oraz od góry. We wszystkich przypadkach zmieniano objętościowe natężenie przepływu wody regulując częstotliwość falownika zasilającego silnik agregatu pompowego. Rezultaty badań zaprezentowano w postaci zbiorczych tabel zawierających wartości liczbowe (częstotliwość falownika zasilającego pompę, liczbę kawitacji, prędkość cieczy w komorze pomiarowej, ciśnienie wlotowe do komory pomiarowej) lub zdjęcia zarejestrowane podczas eksperymentów. W dalszej części rozdziału podsumowano uzyskane wyniki (Rys. 5.18 wraz z komentarzem) oraz przedstawiono niepewności pomiarowe.

Rozdział 6 zawiera opis tworzenia modeli symulacyjnych 2D i 3D, odpowiadających warunkom eksperymentów omówionych w Rozdziale 5, opis przeprowadzonych badań numerycznych oraz porównanie wyników symulacji z wynikami autorskich eksperymentów. Podczas analizy skoncentrowano się na badaniu kształtów i rozmiarów struktur kawitacyjnych, określeniu zmian udziału objętościowego pary wodnej w czasie oraz na wyznaczeniu charakterystycznych częstotliwości oscylacji chmur kawitacyjnych. Badania symulacyjne przeprowadzono dla czterech wartości kąta natarcia (4, 6, 8 i 10°; przy czym ostatni przypadek nie posiada odpowiednika w eksperymencie) oraz możliwie szerokiego zakresu liczby kawitacyjnej. W obliczeniach wykorzystano dwa modele dostępne w pakiecie OpenFOAM: model Schnerra-Sauera oraz model Kunza. Brak jest wzmianek korzystania z modelu Merkle, który również jest dostępny w programie OpenFOAM. W komentarzu dotyczącym porównania wyników stwierdzono, że przyczyną zauważonych rozbieżności między wynikami obliczeń numerycznych a wynikami pochodzącymi z eksperymentów może być brak uwzględnienia w modelach symulacyjnych powietrza rozpuszczonego w wodzie.

W Rozdziale 7 opisano dodatkowy eksperyment – wykonany podczas stażu naukowego Autorki rozprawy na Uniwersytecie Technicznym w Ostrawie, dotyczący przepływu mieszaniny wody i powietrza przez zwężkę Venturiego – oraz kolejne modele symulacyjne (opracowane w programach ANSYS Fluent i OpenFOAM), w których starano się uwzględnić wpływ powietrza zawartego w wodzie na przebieg zjawiska kawitacji. Badania symulacyjne odniesiono zarówno do eksperymentu ze zwężką Venturiego jak i do wybranych przypadków eksperymentów dotyczących płata ClarkY. W symulacjach wykonanych w pakiecie ANSYS Fluent skorzystano z modeli Schnerra-Sauera oraz Singhala i in. Brak jest informacji o modelu Zwart i in. który również dostępny jest w tym pakiecie. Ważnym elementem rozdziału jest dyskusja dotycząca wpływu zastosowanego modelu turbulencji na wyniki symulacji. Modele symulacyjne dotyczące tego wątku wykonano w pakiecie ANSYS Fluent, przy czym przebadano 4 różne modele turbulencji: k - ε realizable, k - ε RNG, SAS oraz k - ω SST. W rozdziale dodano również komentarze odnoszące się do cech modeli symulacyjnych opracowanych w pakiecie OpenFOAM i ANSYS Fluent.

Rozdział 8 zawiera opis symulacji – z wyłączonym oraz włączonym modelem kawitacji (Zwart i in.); stacjonarnych i niestacjonarnych – wykonanych w pakiecie ANSYS CFX, a odnoszących się do wybranego modelu pompy wirowej. Celem symulacji było uzyskanie charakterystyki wysokości podnoszenia pompy H w funkcji nadwyżki antykawitacyjnej NPSH. Charakterystykę wyznaczono na podstawie wyników obliczeń stacjonarnych. Obliczenia niestacjonarne wykonano w celu zidentyfikowania pulsacji ciśnienia w wybranych punktach monitorujących.

W Rozdziale 9 dokonano podsumowania rozprawy, opisując skrótowo kluczowe elementy poszczególnych rozdziałów, komentując najważniejsze spostrzeżenia i formułując wnioski dotyczące przeprowadzonych badań. W podsumowaniu nie odniesiono się do celu i zakresu pracy.

2. Ocena edytorskiej strony rozprawy doktorskiej

Strona edytorska rozprawy jest wysokiej jakości. Autorka stosuje czytelny podział na rozdziały i podrozdziały. Praca jest estetyczna, a tekst jest napisany ładnym, poprawnym i zrozumiałym – a przy tym fachowym – językiem.

Rysunki i tabele wykonane są starannie, estetycznie, czytelnie i w spójnym stylu graficznym. Rozmiar rysunków, jak również występujących na nich elementów, jest odpowiedni. Kolorystyka elementów graficznych jest stosowna do sytuacji. Każda tabela i rysunek posiada odwołanie w tekście. Wyjątkiem jest Rys. 7.5, do którego nie udało się zlokalizować odwołań.

Literatura cytowana jest w kolejności występowania w tekście. Odwołania są czytelne i poprawne. Każda ze 126 pozycji źródłowych posiada stosowane odwołanie w treści pracy. Formatowanie spisu literatury jest poprawne.

Autorka stosuje dość nietypowy sposób prezentacji równań matematycznych, w którym nie wykorzystuje się znaków interpunkcyjnych w liniijkach zawierających formuły. W efekcie w rozprawie pojawiają się kilkakrotnie zdania (a właściwie całe akapity) rozpoczynające się od słowa „Gdzie” (str. 12, 20, 34, 35, ...) lub „gdzie” (str. 35), co nie wygląda najlepiej.

W pracy można znaleźć drobne błędy – są one w większości wymienione w uwagach szczegółowych – nie są one jednak liczne i nie obniżają w znaczący sposób jakości całej pracy.

Rozprawa przedstawiona została w formie opracowania książkowego wydanego przez Politechnikę Śląską w Gliwicach. Szkoda, że Autorka nie zaczęła z publikacją rozprawy do czasu uzyskania recenzji. Można by wówczas uwzględnić uwagi recenzentów i podnieść finalną jakość rozprawy doktorskiej. Opracowanie nie zawiera elementów typowych dla książek i monografii – w szczególności nazwisk recenzentów oraz liczby arkuszy wydawniczych. Elementy te są niezbędne, aby wg obowiązującej podstawy prawnej zakwalifikować dane dzieło jako monografia naukowa.

3. Ocena merytorycznej strony rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Doroty Homy dotyczy zjawiska kawitacji, które do tej pory nie zostało w pełni poznane i opisane w literaturze. Co roku pojawiają się liczne publikacje z tego zakresu, świadcząc o niedostatecznym poziomie obecnej wiedzy na temat układów przepływowych, w których zjawisko to występuje. Wobec powyższego należy uznać, że tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest aktualna, a użyte metody badawcze są stosowne do obecnie panujących standardów w obszarze eksperymentalnej oraz obliczeniowej mechaniki płynów.

Temat pracy sformułowany jest bardzo ogólnie i nie zawiera wskazania na konkretny rodzaj układów przepływowych. Ponieważ jednak rozprawa dotyczy zjawiska kawitacji, a badania prowadzone były zarówno metodami eksperymentalnymi jak i symulacyjnymi (przy czym rozważano różne warunki przepływu, np. różne wartości kąta natarcia płata ClarkY lub różne udziały powietrza w zwężce Venturiego), to można stwierdzić, że tytuł rozprawy odpowiada jej treści.

Pewną wadą pracy – szczególnie biorąc pod uwagę, że w tytule rozprawy występuje sformułowanie „numeryczne badanie” – jest brak informacji o metodach numerycznych zastosowanych w badaniach symulacyjnych. Autorka koncentruje się na wymienieniu kodów obliczeniowych (OpenFOAM, ANSYS Fluent i ANSYS CFX) i ani razu nie podaje czy symulacje wykonane są Metodą Objętości Skończonych, Metodą Elementów Skończonych czy może Metodą Gazu Sietowego Boltzmanna (i czy zawsze stosowana jest ta sama metoda). Osoba niezaznajomiona z tymi programami nie będzie w stanie tego stwierdzić.

Kolejność opisanych w rozprawie działań jest bardzo spójna i logiczna. Jest to ogromna zaleta pracy, gdyż podczas czytania tekstu praktycznie nie zdarzało się, aby pojawiały się jakieś nielogiczne wątki, niejasne opisy, powtórzenia treści czy odwołania do niewyjaśnionych wcześniej kwestii. Szczegółowość opisów jest w zdecydowanej większości przypadków stosowana do sytuacji, a dyskusja umotywowana przedstawionymi wynikami lub informacjami zaczerpniętymi z odpowiednich źródeł literaturowych.

Pomijając wprowadzenia (Rozdziały 1, 2, 3 i 4) i podsumowanie (Rozdział 9), w przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej wyróżnić można trzy główne wątki:

- eksperymentalne i numeryczne badania opływu płata ClarkY (Roz. 5 i 6);
- eksperymentalne i numeryczne badania wpływu obecności powietrza na zjawisko kawitacji (Roz. 7);
- modelowanie przepływu z kawitacją w pompie wirowej (Roz. 8).

Poszczególne części są ze sobą logicznie połączone. Wątek drugi wynika z wniosków pojawiających się po zrealizowaniu wątku pierwszego. Autorka stwierdziła mianowicie, że różnice między wynikami badań eksperymentalnych i numerycznych mogą być efektem braku uwzględnienia w zastosowanych modelach numerycznych istnienia powietrza, które to występuje w układach rzeczywistych i ma istotny wpływ na zjawisko kawitacji. Odnosi się przy tym wrażenie – między innymi z tego względu, że opis teoretyczny dotyczący wpływu powietrza na zjawisko kawitacji znajduje się w Rozdziale 7, a nie jak inne elementy teorii w Rozdziałach początkowych – że ten fragment działań nie był planowany na początku i został dodany później, po zauważeniu wspomnianych wyżej rozbieżności między eksperymentem a symulacjami (i być może w wyniku pojawienia się możliwości przeprowadzenia dodatkowych badań za granicą). Rozdział 7 wyróżnia się również większym niż w innych rozdziałach nasyceniem informacji (nasuwa się nawet myśl, że badania tam przedstawione – po podzieleniu treści tego rozdziału na odpowiednie bloki – mogłyby stanowić dobrą bazę oddzielnej rozprawy doktorskiej). Wątek trzeci ukazuje chęć Autorki do zaprezentowania użytecznych aspektów swoich badań i również jest logicznie połączony z wątkiem pierwszym przez fakt, że w obu przypadkach badano zjawisko kawitacji na podobnych obiektach geometrycznych (profilach i łopatkach).

Z punktu widzenia obowiązującej podstawy prawnej¹, istotnym mankamentem rozprawy jest brak jasno sformułowanego problemu naukowego oraz brak hipotezy badawczej. Autorka ograniczyła się jedynie do podania celu i zakresu pracy. Wobec powyższego nie wiadomo który aspekt pracy należy traktować jako problem naukowy, a w konsekwencji, czy został on rozwiązany w sposób oryginalny. Autorka w swojej rozprawie zasadniczo nie rozwijała ani metod eksperymentalnych (stosując klasyczny eksperyment przebadanego już płata ClarkY oraz standardowe techniki pomiarowe) ani też teorii dotyczącej zjawiska kawitacji (korzystając z uznanych i już zaimplementowanych w używanych kodach numerycznych modeli kawitacji). Niemniej jednak zaprojektowała i zbudowała nowe stanowisko badawcze, uzyskała nowe dane eksperymentalne, opracowała szereg modeli symulacyjnych i przedstawiła wiele interesujących wyników, spostrzeżeń oraz wniosków. Bardzo cenne jest również porównywanie i komentowanie przez Autorkę wyników pochodzących z różnych kodów numerycznych. Wobec powyższego można uznać, że rozprawa zawiera elementy oryginalności i wnosi wkład w rozwój reprezentowanej przez Autorkę dyscypliny naukowej.

Podczas czytania rozprawy daje się zauważyć, że wiedza Pani mgr inż. Doroty Homy w zakresie reprezentowanej dyscypliny naukowej, a szczególnie wiedza o zjawisku kawitacji, jest duża. Świadczy o tym między innymi szczegółowość oraz wysoki poziom merytoryczny opisów i komentarzy. Przygotowania Autorki w zakresie ogólnej teorii metod numerycznych nie da się ocenić, gdyż nie wyjaśniła ona jakie stosuje metody numeryczne i nie dokonała ich opisu. Równania (4.1)-(4.3) są bardzo ogólne i zasadniczo mogą być rozwiązywane numerycznie w różny sposób.

1 USTAWA z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Art. 13.1.: „Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego, o którym mowa w art. 20 ust. 7, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne dokonanie artystyczne oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.”

W rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Doroty Homy zawarto bardzo dużo materiału: są dwa różne eksperymenty (dotyczące płata ClarkY i zwężki Venturiego) oraz liczne modele symulacyjne opracowane w trzech różnych kodach obliczeniowych (OpenFOAM, ANSYS Fluent i ANSYS CFX). Widać zatem, że umiejętności w zakresie przeprowadzania eksperymentów i wykorzystywania programów symulacyjnych z obszaru obliczeniowej mechaniki płynów są bardzo duże. Również sposób prezentacji wyników oraz edytorska strona rozprawy dobrze świadczy o umiejętnościach Autorki.

Dodatkowym potwierdzeniem wiedzy i umiejętności Pani mgr inż. Doroty Homy jest fakt, że jest pierwszą autorką kilku artykułów naukowych i doniesień konferencyjnych.

Nieco trudniej jest – wyłącznie na podstawie przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej – ocenić samodzielność Autorki w zakresie prowadzenia badań naukowych: tym bardziej, że nie jest znana rola promotora pomocniczego. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę obszerność zaprezentowanego materiału, wydaje się, że kandydatka do stopnia doktora spełnia i w tym zakresie wszystkie standardy.

Niezależnie od uwag szczegółowych, zawartych w punkcie 4 niniejszej recenzji, proszę o udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jak można by sformułować problem naukowy rozwiązywany w rozprawie?
2. Jaka metoda numeryczna jest zaimplementowana w pakiecie OpenFOAM i na czym ona polega?
3. Jaki był osobisty udział Autorki rozprawy w badaniach opisanych w Rozdziale 7?

4. Uwagi szczegółowe

Uwagi, komentarze i pytania do wybranych fragmentów rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Doroty Homy (bez podziału na uwagi merytoryczne i edytorskie):

1. Strona 11: W treści powinno być „to” zamiast „do”.
2. Strona 12: Brak referencji do równania (1.1). Jest to równanie opracowane przez Autorkę?
3. Strona 12: Niekonsekwentne stosowanie myślników pod równaniem (1.1).
4. Strona 13: Błędne odwołanie do Rysunku 2.1.
5. Strona 21: Brak kropki na końcu zdania.
6. Strona 21: Na Rys. 1.4 występuje symbol e , który nie jest opisany w treści ani w spisie oznaczeń.
7. Strona 21: Czy symbol L występujący w treści i symbol l widoczny na Rys. 1.4 to ta sama wielkość?
8. Strona 21: Na Rys. 1.4 liczba kawitacyjna oznaczona jest symbolem σ_v , nie występującym w treści pracy.
9. Strona 24: Zdanie niepoprawne gramatycznie („Na podstawie obserwacji ...”).
10. Strona 28: W odwołaniu do Rys. 3.1 jest mowa o metodzie PIV, natomiast w podpisie pod tym rysunkiem występuje skrót PLV.
11. Strona 33: W treści powinno być „kawitacją” zamiast „kawitacja”.
12. Strona 33: W pracy pojawia się nowy, niewyjaśniony wcześniej termin „kawitacja wirowa”.
13. Strona 33: Jaki jest powód, dla którego równania (4.8) i (4.10) nie mają dokładnie tej samej struktury (chodzi o podzielenie równania (4.10) przez gęstość)?
14. Strona 36: Zdanie „W swojej pracy Iben [56,68] wprowadził do równań człon empiryczny pozwalający na spowolnienie procesu kondensacji (zaniku) struktur parowych, jako że jest on znacznie bardziej gwałtowny niż proces waporyzacji” zdaje się nie mieć sensu.
15. Strona 40: Symbol u w równaniu (4.50) powinien być pogrubiony.
16. Strona 41; Symbol k powinien być napisany kursywą, tak jak jest to stosowane dalej.
17. Strona 42: Stwierdzenie, że para wodna jest praktycznie nieściśliwa jest dość zaskakujące.
18. Strona 48: Przy opisie wymiarów komory kawitacyjnej należałoby wprowadzić oznaczenia h i d , które są wykorzystywane później (np. na stronie 52).

19. Strona 50: W treści powinno być „pozostała” zamiast „pozostałą”.
20. Strona 51: Nie jest oczywiste dlaczego wizualizacje wykonano dwukrotnie – raz zwykłą kamerą, a raz kamerą do szybkich zdjęć (wyjaśnia się to częściowo w komentarzu na końcu strony 55). Przed punktem 5.1 przydałby się stosowny komentarz dotyczący metodologii lub planu badań.
21. Strona 52: Warto rozważyć stosowanie innego symbolu na oznaczenie objętościowego natężenia przepływu: \dot{V} (strumień objętości; analogicznie do \dot{m}) zamiast Q. Symbol Q stosowany jest do oznaczania ciepła.
22. Strona 52: W tabelach 5.1 i 5.2 dwukrotnie podano tę samą częstotliwość 38 Hz – należy rozumieć, że jest to błąd edytorski i w trzecim wierszu od dołu powinno być 39 Hz. Czy tak jest w rzeczywistości?
23. Strona 53: Warto by było wyjaśnić co to jest strona ciśnieniowa łopatki.
24. Strona 53: Zamiast „po stronie ciśnieniowej łopatki” (co to jest ciśnieniowa łopatka?) powinno być raczej „po ciśnieniowej stronie łopatki”.
25. Strona 55: W treści powinno być „pomiarową” zamiast „pomiarowa”.
26. Strona 65: W treści powinno być „tendencje” zamiast „tendencji”.
27. Strona 65: W wielu miejscach pracy pojawia się termin „cięciwa profilu”, który to zasadniczo nie został nigdzie wyjaśniony.
28. Strona 66: Dlaczego nie skomentowano wyników przedstawionych na Rys. 5.18 w odniesieniu do analogicznego rysunku podanego w części teoretycznej (Rys. 1.4)? W szczególności, dlaczego nie wyznaczono np. charakterystycznych linii e/c oraz l/c i nie nałożono danych uzyskanych z eksperymentu na Rys. 1.4?
29. Strona 66: W opisie do Rys. 1.4 wymienione są dwa rodzaje struktur, mimo że na rysunku zaznaczony jest również obszar superkawitacji. Z kolei w komentarzu do Rys. 5.18 omówione są trzy rodzaje struktur. Zauważa się tu pewną niekonsekwencję w klasyfikacji, a także w nazewnictwie: raz struktury z grupy pierwszej nazywane są kawitacją wstęgową (strona 21), a raz kawitacją częściową (strona 65) (takie samo określenie występuje w nazwie podrozdziału 1.8).
30. Strona 69: Jakie były przesłanki, aby do realizacji głównej numerycznej części pracy wybrać pakiet OpenFOAM (czy wcześniej przeprowadzono jakieś testy wstępne z użyciem różnych kodów obliczeniowych lub też stosowne rozpoznanie literaturowe)?
31. Strona 69: OpenFOAM nie posiada własnych narzędzi do postprocesingu tylko korzysta z programu ParaView, które jest niezależnym programem rozwijanym w ramach innego projektu OpenSource.
32. Strona 69: W podrozdziale 6.1 omówiono skrótowo wybrane aspekty pracy w pakiecie OpenFOAM. Brakuje krótkiego opisu metody numerycznej zaimplementowanej w tym kodzie. Brakuje również referencji: do dokumentacji programu lub chociażby do strony domowej tego projektu.
33. Strona 73 (Tabela 6.2): Na jakiej podstawie określono parametry modelu, takie jak intensywność turbulencji na wlocie, n_0 i rB ?
34. Strona 77: Czy fakt, że udział objętościowy pary wodnej w punkcie $x/c = 0.45$ był taki sam dla wszystkich trzech przekrojów A, B i C to przypadek, czy może jakaś reguła?
35. Strona 79: W zdaniu jest kropka zamiast przecinka.
36. Strona 83: W jaki sposób zmieniano w modelu symulacyjnym kąt natarcia?
37. Strona 84: W treści powinno być „rozwiązania” zamiast „rozwiązani”.
38. Strona 87: W treści powinno być „członu” zamiast „człony”.
39. Strona 93: Brakuje słowa „chmury”.
40. Strona 93: Na rysunku 6.24 nie można zaobserwować, aby struktura kawitacyjna w jakimś momencie „spadła do zera” (niezbyt trafione wyrażenie).
41. Strona 94: Dlaczego przy opisie struktur kawitacyjnych nie odwołano się do Rys. 1.7 zamieszczonego we wprowadzeniu i nie skomentowano podobieństw i różnic?
42. Strona 95 (Rys. 6.24 i kolejne podobne): W jaki sposób określano częstotliwości (lub inaczej: jakie było kryterium wyboru początku i końca pojedynczego okresu występowania struktury kawitacyjnej – robiono to ręcznie czy automatycznie; na podstawie wykresów czy danych źródłowych)?
43. Strona 99: Dlaczego nie porównano wartości objętościowego natężenia przepływu uzyskanych z modeli symulacyjnych z wartościami zmierzonymi w eksperymentach?

44. Strona 106: W treści powinno być „przedstawiona” zamiast „przedstawione”.
45. Strona 108: Jakie metody i narzędzia były stosowane w opisanej w Rozdziale 7 analizie obrazu? Czy Autorka rozprawy samodzielnie wykonała analizę obrazu danych eksperymentalnych opisanych w Rozdziale 7?
46. Strona 110: Jakie narzędzia były stosowane w opisanej w Rozdziale 7 analizie FFT? Czy Autorka rozprawy samodzielnie wykonała analizę FFT danych eksperymentalnych opisanych w Rozdziale 7?
47. Strona 112: Rysunek 7.5 nie posiada odwołania w tekście.
48. Strona 115: Dlaczego parametr n_0 w symulacjach wykonywanych w programie ANSYS Fluent (10^{13}) był inny niż w symulacjach przeprowadzanych w pakiecie OpenFOAM (strona 73: $1.6 \cdot 10^{13}$)? Wobec powyższego stwierdzenie padające później („Wybrany do obliczeń przypadek jest taki sam, jaki rozwiązywano pakietem OpenFOAM”) jest nieprawdziwe.
49. Strona 127: W treści powinno być „bezfizykalnych” zamiast „bezfizykalnym”.
50. Strona 128: Znaczenie parametru y^+ nie jest powszechnie znane. Warto by wyjaśnić, chociażby w przypisie dolnym, co on oznacza.
51. Strona 128: Dlaczego komentarze dotyczące parametru y^+ nie występowały wcześniej w pracy (albo inaczej: dlaczego w tym miejscu – jednorazowo – pojawia się komentarz do tego parametru: nie miał on wcześniej znaczenia?)?
52. Strona 128: Dlaczego w modelowaniu procesu stacjonarnego Autorka definiuje krok czasowy, a nie takie elementy jak maksymalna liczba iteracji czy wartość kryterium zbieżności?
53. Strona 128: Dlaczego w rozdziale nie odniesiono się do rzeczywistej charakterystyki badanej pompy (wcześniej wspomniano, że producent określa taką charakterystykę)? Jeżeli charakterystyka tej pompy nie była z jakiegoś powodu dostępna, to dlaczego nie wybrano innej pompy, takiej dla której znane są pełne dane?
54. Strona 133: W treści powinno być „fazy” zamiast „fazie”.
55. Strona 133: Spacja przed przecinkiem.
56. Strona 133: W treści napisano, że w pracy zbadano „proces inicjacji wzrostu struktury parowej”. Proszę wskazać, które konkretnie badania odnoszą się to tego aspektu?
57. Strona 133: W treści napisano, że „konieczne jest opracowanie właściwego algorytmu postępowania oraz dobór odpowiednich schematów obliczeniowych oraz ich parametrów w celu uzyskania stabilnego rozwiązania”. Czy na podstawie przeprowadzonych badań nie da się przedstawić zbioru wskazówek na ten temat?
58. Strona 133: W pracy duże znaczenie przypisuje się badaniu charakterystycznych częstotliwości struktur kawitacyjnych. Dlaczego jest to takie ważne i jakie są użyteczne aspekty tego zagadnienia?
59. Strona 134: Jak należy rozumieć stwierdzenie, że w pakiecie OpenFOAM istnieje możliwość doboru schematu rozwiązania (o jaki schemat rozwiązania chodzi)?
60. Strona 134: Autorka wspomina, że wszystkie symulacje uwzględniały zmienność zjawisk w czasie. Jak do tego stwierdzenia ma się Podrozdział 8.3. zatytułowany „Obliczenia stacjonarne”?
61. Strona 134: Dlaczego w badaniach symulacyjnych nie przebadano wszystkich modeli kawitacji dostępnych w wykorzystywanych kodach numerycznych (a przynajmniej brak jest wzmianki na ten temat)?
62. Strona 134: Jak różnice w częstotliwościach (0.1 -16 Hz) wyrażają się w postaci błędów względnych?
63. Strona 135: W treści powinno być „udziału” zamiast „udziały”.
64. Strona 136: Nie trzeba przeprowadzać badań, aby stwierdzić, że stałe modeli kawitacji (a także różne ustawienia użytego kodu numerycznego) mają wpływ na wyniki.
65. Strona 136: Na podstawie których wyników badań Autorka stwierdza, że dalsze doskonalenie modelowania przepływów z kawitacją powinno odbywać się głównie w obszarze zagadnień turbulencji i modeli uwzględniających ścisłość płynu?

5. Opinia końcowa

Pani mgr inż. Dorota Homa swoje zainteresowania naukowe skupiła na badaniach zjawiska kawitacji, przy czym stosowała zarówno podejście eksperymentalne jak i numeryczne. Uzyskane przez nią wyniki mają niewątpliwą wartość poznawczą i wnoszą oryginalne elementy do badań zjawiska kawitacji. Autorka rozprawy wykazała się znajomością tematyki badań, a także odpowiednią wiedzą i umiejętnościami.

Wobec powyższego stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Doroty Homy pt. „Eksperymentalne i numeryczne badanie zjawiska kawitacji dla różnych warunków przepływu” spełnia wymagania w sensie Art. 13.1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i **może stanowić podstawę do przeprowadzenia publicznej obrony**. Jednocześnie, ze względu na wysoką merytoryczną i edytorską jakość pracy oraz jej szeroki zakres, **wnioskuje o wyróżnienie** rozprawy Pani mgr inż. Doroty Homy.

Sobiele