

dr hab. inż. Krzysztof Karaśkiewicz
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska
Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa
e-mail: krzysztof.karaskiewicz@pw.edu.pl

Warszawa 16.08.2022

Ocena rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Marcina Bieganowskiego pt. „Analiza zjawisk przepływowych zachodzących w pompach wirowych z mikrorówkami”

Tematem rozprawy pana mgr inż. Marcina Bieganowskiego jest analiza wpływu mikrorowków na wewnętrznych powierzchniach tarcz wirnika zamkniętego na parametry wolnobieżnej pompy wirowej. Kilka ostatnich dekad nie przyniosło istotnych zmian w konstrukcjach wirników pomp wirowych. Zabiegi zmniejszające straty hydrauliczne i zwiększające sprawność szły raczej w kierunku poprawy geometrii wirnika i gładkości powierzchni przepływowych. Stosowanie mikrorowków w obszarze pomp wirowych jest czymś nowym i obiecującym.

Ocena formalna rozprawy doktorskiej

Przedłożona do recenzji rozprawa liczy ogółem 149 stron i jest podzielona na dziesięć rozdziałów oraz wykaz literatury. Rozdziały ułożone są w logiczny sposób. W wykazie literatury zawartych jest 115 pozycji w większości z ostatnich lat, co pokazuje dość dobrą orientację Autora w tematyce doktoratu. Praca ma właściwą liczbę rysunków i tabel ilustrujących wyniki badań.

Pod względem edycyjnym oceniana rozprawa nie zawiera uchybień.

Ocena merytoryczna rozprawy

We wstępie Autor zwraca uwagę na potrzebę prac prowadzących do wzrostu sprawności pomp wirowych, w szczególności tych wolnobieżnych. Wymienia normy i rozporządzenia unijne kładące nacisk na poprawę energochłonności pomp oferowanych na rynku europejskim. W przytaczanych normach brakuje PN-EN 17038: 2019-06, w której zawarta jest metodyka określania EEI dla pomp do wody o mocy do 150kW.

W rozdziale 2 Autor omawia straty w pompach wirowych i ich strukturę. Zauważa, że w pompach o niskich wyróżnikach szybkobieżności straty objętościowa i tarcz wirujących mogą być dominujące. Stwierdza też, że usunięcie tarczy przedniej lub tylnej wirnika w celu obniżenia straty tarcz wirujących zwiększa stratę objętościową, więc nie jest dobrym rozwiązaniem.

Brakuje wzmianki, że istnieje inny sposób zbliżony ideą do badanego w pracy, polegający na nacięciu mikro-rowków typu V na zewnętrznej tarczy wirnika, przedstawiony w publikacji:

„Brodersen, S.: Reduzierung der Scheibenreibung bei Strömungsmaschinen. Forsch Ing Wes. 59, 184–186 (1993)”. Prowadzi on do zmniejszenia starty tarcz wirujących bez usuwania samej tarczy.

W dalszej części Autor dokonuje przeglądu badań związanych z tematem pracy. Skupia się na pompach wolnobieżnych. Wobec bardzo szczupłej literatury dotyczącej mikrogeometrii omawia dostępne badania służące poprawie sprawności takich pomp.

W kolejnych podrozdziałach zajmuje się metodami badawczymi i głównymi kierunkami badań, konstrukcjami klasycznymi i wirnikami półotwartymi, wirnikami typu splitter blade, nietypowymi konstrukcjami wirników. Na koniec omawia koncepcję wirnika z mikrorowkami jako przykład pasywnej kontroli przepływu.

Nie znalazłem wśród omawianych publikacji dwóch, poświęconych wpływowi mikrorowków na pracę pompy.

1. Wajahat Hassan, and Muhammad Naeem. IMPACT OF MICRO GROOVES AND WINGLETS ON THE PERFORMANCE OF CENTRIFUGAL PUMP. Am. J. innov. res. appl. sci. 2018; 7(5): 266-275
2. D. Khoeini, E. Shirani - INFLUENCES OF DIFFUSER VANES PARAMETERS AND IMPELLER MICRO GROOVES DEPTH ON THE VERTICALLY SUSPENDED CENTRIFUGAL PUMP PERFORMANCE - Journal of Mechanics Vol 35, No 5, October 2019

W rozdziale 3 Autor przedstawia cel, tezę i zakres pracy

Jako cel podaje

- Identyfikację i poznanie zjawisk przepływowych, występujących w wirniku z mikrorowkami.
- Określenie wpływu cech geometrycznych mikrorowków na parametry pracy wirnika pompy wirowej o niskiej szybkoobrotowości.
- Opracowanie metodologii modelowania tego typu zjawisk przy wykorzystaniu CFD.

Tezą, którą Autor stawia jest istnienie zbioru parametrów geometrycznych mikrorowka pozwalających zmaksymalizować ilość energii, przekazywanej do cieczy poprzez zmianę struktury przepływu w obszarze warstwy przyściennej.

W rozdziale 4 omówione są badania wstępne, użyta aparatura, wzory obliczeniowe oraz analiza niepewności pomiarów.

W podrozdziale 4.2 w tabeli 4.2 Autor podaje dla przetwornika częstotliwości Danfoss VLT Micro Drive FC 51 klasę 0,1 podczas gdy w dokumentacji przetwornika podawana jest klasa 0,8, co wymaga wyjaśnienia. Brakuje też nazwy czujnika temperatury i barometru, co jest obligatoryjne w wykazie przyrządów.

W podrozdziale 4.3 indeksy we wzorach (4.1) – (4.7) odpowiadają oznaczeniom w literaturze polskiej, ale nie są zgodne z normą PN – EN ISO 9906:2012 na którą Autor się powołuje.

W podrozdziale 4.4. przeprowadzona jest dyskusja niepewności pomiarowych.

Autor stosuje prawo przenoszenia niepewności nie do końca prawidłowo, bowiem dotyczy ono niepewności standardowych. Określenie niepewności standardowej (typu B) dla przyrządu wymaga założenia rozkładu prawdopodobieństwa. Dopiero wtedy można określić niepewność standardową. Zakładając ten sam rozkład dla różnych przyrządów można przyjąć, że współczynnik rozszerzenia dla danego poziomu ufności będzie jednakowy. Przy tych założeniach zastosowane w pracy wzory są poprawne. Brakuje tej informacji w rozdziale.

W tym samym podrozdziale 4.4. w wyjaśnieniu do wzoru (4.16) jest napisane „błąd względny pomiaru ciśnienia różnicowego”, tymczasem w tabeli 4.2 w wykazie przyrządów podany jest czujnik ciśnienia względnego FUJI FKP. Brak spójności.

W wyjaśnieniu do wzoru (4.17) jest napisane trochę niezręcznie „przyjęto zgodnie z wytycznymi firmy FUJI”. Zależność ta wynika po prostu z analizy niepewności pomiaru.

W nagłówku tabeli 4.3 Autor używa pojęcia Błędy. Obowiązujący przewodnik wyrażania niepewności pomiaru: „JCGM 100:2008, GUM 1995 Ewaluacja danych pomiarowych — Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru” przyjmuje wykładnię, iż „Błąd jest pojęciem idealizowanym i błędy nie mogą być znane dokładnie”. To co może być oszacowane to niepewność pomiaru. Autor de facto podaje niepewność pomiaru.

Podana w tabeli 4.3 niepewność względna pomiaru wysokości podnoszenia zależy od niepewności pomiaru ciśnienia a ta wynosi 0,1% określonego w ciśnieniomierzu podzakresu pomiarowego. Oznacza to, że każde zmierzone ciśnienie o wartości niższej od maksymalnej dla podzakresu będzie związane z niepewnością względną wyższą niż 0,1%. W tabeli podane dla wszystkich trzech punktów pomiarowych wartości niepewności wynoszą dokładnie 0,1% co jest bardzo mało prawdopodobne. Wymaga to wyjaśnienia.

W podrozdziale 4.5 przedstawione są wyniki pomiarów wstępnych pokazujące, że obecność mikrorowków może wyraźnie zwiększyć wysokość podnoszenia i podnieść sprawność, co uzasadnia dalsze badania.

W rozdziale 5 dotyczącym analizy wymiarowej podana nazwy wielkości bezwymiarowych tj. wyróżniki wydajności, mocy oraz oporów lepkości. Ten ostatni można też interpretować jako odwrotność liczby Reynoldsa.

Rozdział 6 poświęcony jest planowi eksperymentu i określa liczbę wariantów wirników z różną liczbą rowków i ich parametrów geometrycznych.

Rozdział 7 omawia przygotowanie modeli wirników z użyciem programu Catia.

Rozdział 8 dotyczy obliczeń numerycznych. Autor omawia w nim metody modelowania turbulencji.

W podrozdziale 8.3 w drugim akapicie Autor pisze „W skład drugiej grupy wchodzi modele turbulencji rozwiązujące uśrednione równania Reynoldsa poprzez wyznaczenie turbulentnego współczynnika lepkości ν_t , tzw. modele typu RANS (Reynolds Averaged Navier – Stokes)”.

W skład modeli RANS wchodzi nie tylko te określające naprężenia turbulentne na podstawie hipotezy Boussinesq'a ale też w oparciu o ich pełne równania bilansowe.

W podrozdziale 8.4.6. Walidacja modelu numerycznego na str 92 jest „W optymalnym punkcie pracy błąd pomiędzy rzeczywistymi wartościami, a obliczonymi...”. Zamiast „rzeczywistymi” lepiej jest użyć „zmierzonymi” bo rzeczywistych wartości nie znamy.

Na str 93 jest podane „Ocenę sprawności wykonano zakładając stałą wartość sprawności wolumetrycznej ($\eta_v = 0.85$) i mechanicznej ($\eta_m = 0.92$) w całym zakresie wydajności”. Na jakiej podstawie przyjęto takie wartości sprawności objętościowej i mechanicznej?

Podrozdziały 8.4.8 i 8.4.9 poświęcone są stworzeniu zależności między energią jednostkową Y a parametrami geometrycznymi rowka. Przyjmują one postać związków algebraicznych.

W podrozdziale 8.5.1. Sposób prezentacji wyników, w trzecim akapicie powinno być „wykonane na płaszczyźnie środkowej”

W podrozdziale 8.5.2. „Analiza rozkładów ciśnienia i prędkości – obliczenia stacjonarne”, odwołania do rysunków w tekście odnoszą się do rysunków pokazanych kilka stron dalej i nie w kolejności ich przedstawiania. To zmniejsza czytelność tekstu i utrudnia czytanie.

W podrozdziale 8.6. „Wytyczne do projektowania wirników z mikrorowkami” zawarte są zalecenia dotyczące geometrii rowków dla maksymalizacji sprawności pompy.

Uwaga drobna: w oznaczeniu osi pionowej na rysunku 8.28 występuje błąd.

W rozdziale 9. „Obliczenia niestacjonarne” na stronie 122, w drugim akapicie powinno być „stacjonarne wersje modeli turbulencji”.

W podrozdziale 9.2 dotyczącym procedury obliczeniowej brakuje opisu porównywanych modeli LES WALE i SST Transient.

W podrozdziale 9.3. „Porównanie obrazu przepływu dla obliczeń niestacjonarnych (SST i LES)” autor porównuje obrazy przepływu dla omawianych wcześniej modeli LES WALE i SST Transient.

Ten podrozdział wygodniej też byłoby rozbić na dwie części: jedną dotyczącą porównania dwóch modeli i drugą dotyczącą porównania różnych wirników obliczanych jednym modelem LES WALE. Zamieszczone rysunki pozwalają na wyciągnięcie wniosków dotyczących przyczyn korzystnego oddziaływania mikrorowków na warstwę przyścienną.

Drobny mankament występuje na stronach 128 – 130, gdzie rysunki 9.7, 9.8, 9.9 nie mają legendy.

W rozdziale 10. W „Podsumowaniu i wnioskach końcowych” Autor podkreśla m.in., że teza pracy, iż istnieje zbiór parametrów geometrycznych mikrorowka, który przy stałej geometrii bazowej wirnika umożliwi zmaksymalizowanie ilości energii, przekazywanej do cieczy poprzez zmianę struktury przepływu w obszarze warstwy przyściennej, została potwierdzona.

Podsumowanie

Przedstawiona do oceny praca rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marcina Bieganowskiego jest ważnym wkładem w rozwój pomp wirowych przez zastosowanie mikrogeometrii do poprawy sprawności i parametrów przepływowych. Doktorant wykazał się umiejętnością zastosowania technik planowania eksperymentu, wykonania badań doświadczalnych. Na uwagę zasługują wysokie umiejętności w zakresie obliczeń CFD tak stacjonarnych jak i niestacjonarnych. Analiza otrzymanych wyników świadczy o dojrzałości naukowej doktoranta.

W związku z tym stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca Pana mgr inż. Marcina Bieganowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. nr 65 poz. 595 z dn. 14 kwietnia 2003 r. z późniejszymi zmianami) i w związku z tym wnoszę o dopuszczenie doktoranta do dalszej części przewodu.

Składam też wniosek o wyróżnienie rozprawy. Jej tematyka jest unikalna nie tylko w skali krajowej, ale i światowej. Otrzymane wyniki pokazują możliwość znaczącej poprawy sprawności pomp wirowych, co jest przełomem w tym obszarze. Biorąc pod uwagę wysoką jakość rozprawy uważam, że zasługuje na wyróżnienie.

