

dr hab. inż. Adam Papierski
Instytut Maszyn Przepływowych
Politechniki Łódzkiej
ul. Wólczańska 219/223
90-924 Łódź
e-mail: adam.papierski@p.lodz.pl

Łódź, wrzesień 2022

**Ocena rozprawy na stopień doktora nauk technicznych
w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn
Pana mgr inż. Bartłomieja Chomiuka
„Analiza wpływu parametrów geometrycznych elementu odprowadzenia cieczy
na parametry pracy pompy z wirnikiem rurowym”**

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartłomieja Chomiuka „Analiza wpływu parametrów geometrycznych elementu odprowadzenia cieczy na parametry pracy pompy z wirnikiem rurowym”, której promotorem jest dr hab. inż. Janusz Skrzypacz, napisana jest w języku polskim i liczy 174 strony druku. Zaczyna się wprowadzeniem, analizą stanu wiedzy w zakresie pomp dla skrajnie niskich kinematycznych wyróżników szybkoobrotowości ($n_q < 10$) i małych wydajności ($Q < 6 \text{ m}^3/\text{h}$).

W pracy przeprowadzono badania eksperymentalne pompy modelowej, budowę modelu dyskretnego pompy bazowej, wstępne symulacje numeryczne jednostopniowej pompy wirowej z wirnikiem rurowym i dwoma podstawowymi typami elementów odprowadzenia cieczy:

- koncentrycznym
- oraz spiralnym kanale zbiorczym,

Wykonano analizę wymiarową, plan zasadniczego eksperymentu numerycznego, analizę statystyczną wpływu parametrów geometrycznych elementu odprowadzenia cieczy na funkcję energii jednostkowej pompy, walidację wyników badań numerycznych. Badania wstępne umożliwiły sformułowanie tezy pracy oraz założenie celu i zakresu wykonanych działań. Postawiona teza pracy brzmi:

W pompie z wirnikiem rurowym, przy zachowaniu jego stałych wymiarów, istnieje zbiór parametrów geometrycznych danego typu elementów odprowadzenia cieczy, który przy złożonym mechanizmie konwersji energii mechanicznej w hydrauliczną powoduje wzrost wysokości podnoszenia, jednocześnie przyczyniając się do poprawy sprawności całkowitej pompy.

Jako główne cele pracy przyjęto:

- identyfikację oraz poznanie zjawisk przepływowych, występujących w elemencie odprowadzenia cieczy, współpracującym z wirnikiem rurowym w jednostopniowej pompie wirowej,
- określenie wpływu cech geometrycznych koncentrycznego kanału zbiorczego oraz spiralnego kolektora zbiorczego na parametry pracy pompy z wirnikiem rurowym,

AP

- budowę funkcji przyrostu energii jednostkowej wolnobieżnej pompy odśrodkowej z wirnikiem rurowym dla obu analizowanych kolektorów zbiorczych.

Opis rozprawy

Praca zaczyna się wprowadzeniem oraz analizą stanu wiedzy. Omówiono przyczyny i miejsca powstawania strat w pompie. Jako odpowiedź na niskie wartości sprawności pomp o niskich wyróżnikach szybkobieżności zaproponowano wirnik rurowy.

Autor przedstawia zasadę działania oraz wpływ wybranych cech wirnika na parametry energetyczne pompy oraz podaje wytyczne do projektowania:

- wirników rurowych,
- obliczania elementów odprowadzających ciecz z wirnika,
- dyfuzorów wylotowych.

Kolejny rozdział 3 opisuje badania wstępne (symulacje numeryczne oraz badania eksperymentalne) pompy z wirnikiem rurowym, które posłużyły do oceny istotności wpływu kanału zbiorczego oraz kolektora spiralnego na charakterystyki energetyczne pompy.

Badania wstępne pozwoliły na sformułowanie tezy, celu i zakresu pracy przedstawionego w rozdziale 4.

Merytoryczna część rozprawy rozpoczyna się wprowadzeniem w tematykę pracy. Autor omówił rolę pomp w gospodarce światowej oraz polskiej. Zużycie energii elektrycznej przez pompy sięga 27% produkcji energii, co powoduje ogromny wzrost zainteresowania użytkowników pomp jak najwyższą sprawnością tych maszyn.

W rozdziale 2 omówiono obecny stan wiedzy nt. pomp z niskimi wyróżnikami szybkobieżności w aspekcie sprawności, miejsca i udziału strat w poszczególnych elementach pompy odśrodkowej. Przedstawił ideę i zasadę działania pomp z wirnikiem rurowym, będących przedmiotem badań niniejszej pracy. Przeanalizował metody obliczeniowe wirników oraz elementów odprowadzających ciecz z wirnika.

W rozdziale 3 przedstawione zostały przeprowadzone badania wstępne mające na celu sformułowanie celu oraz tezy pracy.

Autor wykonał badania numeryczne pompy z wirnikiem rurowym. Wykonał analizę wpływu siatki obliczeniowej oraz modelu turbulencji na wyniki obliczeń. Przeprowadził walidację wyników obliczeń na stanowisku doświadczalnym. Wykonał wpływ zmian wybranych parametrów geometrycznych kanału koncentrycznego oraz kolektora spiralnego na parametry przepływowo-energetyczne pompy z wirnikiem rurowym.

W rozdziale 4 sformułowano cel i tezę pracy, a następnie przedstawiono dalszy zakres pracy.

W rozdziale 5 opisano przeprowadzoną analizę wymiarową mającą na celu określenie parametrów geometrycznych kolektora koncentrycznego i kanału spiralnego wpływających na energię jednostkową pompy.

AP

Rozdział 6 zawiera opracowanie planu eksperymentu dla obu typów kanałów zbiorczych na potrzeby symulacji numerycznych.

Następnie w rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań zasadniczych przeprowadzonych z pomocą komercyjnego oprogramowania CFD – ANSYS FLUENT.

Proces modelowania podzielono na trzy etapy:

- pierwszy zakładał opracowanie modeli 3D pompy ze zmienną geometrią danego typu elementu odprowadzenia, zgodnie z planem eksperymentu.
- Drugi obejmował porównanie uzyskanych wyników użytecznej wysokości podnoszenia H_u , sprawności hydraulicznej η_h oraz sprawności całkowitej η_c dla każdej z analizowanych geometrii przepływowych: koncentrycznego kanału i spirali zbiorczej współpracujących z bazowym wirnikiem rurowym. Obliczenia były sporządzone dla punktu BEP przy wydajności $Q = 4,8 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Trzeci dopełniał obliczenia numeryczne realizowanego planu eksperymentu o badania dla zmiennych wydajności Q pompy. Dzięki temu możliwe było stworzenie pełnych charakterystyk energetycznych pomp dla obu typów elementów odprowadzenia cieczy. Na tej podstawie wyznaczono również wartości parametrów H_u , η_h , i η_c dla wydajności $Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$, poprzez ekstrapolowanie krzywych wyliczonych dla zmiennej wydajności Q . Wyznaczenie numeryczne parametrów dla $Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ jest praktycznie niemożliwe do zrealizowania, ze względu na niestabilność obliczeniową.

Rozdział 8 opisuje weryfikację wyników badań zasadniczych. Do wykonania przeznaczono dwa modele elementów odprowadzenia cieczy o optymalnej geometrii przepływowej:

- koncentryczny kolektor zbiorczy o prostokątnym kształcie przekroju poprzecznego, w konfiguracji: $d_4 = 165 \text{ mm}$ i $b_{3kk} = 17,2 \text{ mm}$,
- spiralny kanał zbiorczy w konfiguracji: $d_3 = 158 \text{ mm}$, $a_3 = 14 \text{ mm}$, $b_3 = 18 \text{ mm}$ i $b_{3sp} = 15 \text{ mm}$, o prostokątnym kształcie przekroju poprzecznego części spiralnej.

Rozdział 9 przedstawia podsumowanie, wnioski i uwagi końcowe, oraz proponowane przez autora kierunki dalszych prac.

Autor udowadnia postawioną w pracy tezę, że *„istnieje zbiór parametrów geometrycznych danego typu elementu odprowadzenia cieczy, który przy złożonym mechanizmie konwersji energii mechanicznej w hydrauliczną powoduje wzrost wysokości podnoszenia, jednocześnie przyczyniając się do poprawy sprawności całkowitej pompy, z niezmienną geometrią wirnika rurowego”*.

Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartłomieja Chomiuka, jest napisana poprawnie językowo i starannie zredagowana, wyniki przedstawione graficznie są przejrzyste i czytelne.

Tematyka pracy zawiera się w dyscyplinie **budowa i eksploatacja maszyn**. Praca dotyczy analizy zjawisk zachodzących w przepływie przez elementy odprowadzające ciecz i może posłużyć do opracowania metody projektowania tych elementów. Zatem można ją uznać za ważną i aktualną w technice pompowej.

AP

Należy podkreślić, że wymagała ona pracochłonnych obliczeń i równie pracochłonnego wykonania badań eksperymentalnych oraz ich opracowania.

W pracy wykorzystano techniki planowania eksperymentu, które pozwalają na ograniczenie liczby przeprowadzanych badań, gwarantujących jednocześnie zachowanie jakości realizowanych badań.

Według wiedzy recenzenta praca autorstwa Bartłomieja Chomiuka jest pionierska, w zakresie wpływu współpracy wirnika rurowego i elementu odprowadzenia cieczy na parametry energetyczne jednostopniowej pompy wirowej, pracującej w zakresie niskich i skrajnie niskich wyróżników szybkobieżności. W pracy zaprezentowane są ciekawe i oryginalne wyniki w zastosowaniu do pomp o małych wyróżnikach szybkobieżności.

Na uwagę zasługuje fakt przeprowadzenia analizy wymiarowej, której celem było zredukowanie ilości parametrów opisujących geometrię kanałów przepływowych.

Wyprowadzone zależności matematyczne w pracy zostały zweryfikowane doświadczalnie.

Dwa zagadnienia dla Doktoranta, które mogą być poruszone na publicznej obronie:

1. W pracy wykonano obliczenia niestacjonarne, w których podstawowym kryterium jest liczba Courant'a. Autor w swojej pracy nie podaje żadnej informacji na temat wartości tego kryterium. W odpowiedzi na recenzję proszę o uzupełnienie tej informacji.
2. Nie podano także warunków brzegowych dotyczących przyjętego modelu turbulencji. Jakie były to warunki. Również proszę o uzupełnienie.

Uwagi dotyczące przyszłych publikacji wyników zawartych w tej pracy:

Rysunki 7.9 i 7.14 są nieczytelne. Sugeruję zmniejszenie ilości wektorów oraz zwiększenie skali długości. W miejscach w których występują wiry, lub przepływy wtórne można dodatkowo nanieść linie prądu. W podpisie można by przywołać rysunek 7.7 na którym zdefiniowano położenie płaszczyzn kontrolnych lub pokazać jego miniaturę.

Rysunki 7.13 i 7.18 pokazują rozkład wirowości (wirowość jest wektorem). Gdyby pokazać składowe tego wektora prostopadłe do pokazywanego przekroju w zakresie $\pm 20\ 000$ (a jeszcze lepiej $\pm 10\ 000$) można by odczytać więcej informacji np. co do kierunku wirów (zgodne lub przeciwne do ruchu wskazówek zegara).

Podsumowanie

Merytorycznie pracę należy ocenić bardzo wysoko. Praca jest również starannie zredagowana, zawiera bardzo mało usterek formalnych i językowych. Doktorant wskazał ważne zagadnienie naukowe, podjął się pracy nad jego rozwiązaniem i w efekcie tej pracy uzyskał oryginalne, wartościowe i nowe wyniki naukowe. Wykazał się znajomością metod obliczeniowych nowoczesnej numerycznej mechaniki płynów i umiejętnością praktycznego ich zastosowania. Pokazał, że posiada wiedzę i umiejętności w prowadzeniu i opracowaniu badań eksperymentalnych. Przebieg i efekty swojej działalności naukowej opisał w sposób



satysfakcjonujący. Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca Pana mgr inż. Bartłomieja Chomiuka 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 publicznej obrony pracy.**



dr hab. inż. Adam Papierski