

## **Analiza numeryczna przepływu w pompie o swobodnym przepływie. Wpływ przesłonięcia wirnika na parametry pracy**

**Artur Machalski**

*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Zakład Podstaw Konstrukcji i Maszyn Przepływowych  
E-mail: artur.machalski@pwr.edu.pl*

REKOMENDACJA: *dr hab. inż. Janusz Skrzypacz*

### STRESZCZENIE

Pompy o swobodnym przepływie stosowane są w przypadku, gdy niezbędny jest transport mieszanin wody z ciałami stałymi bądź materiałami włóknistymi. W związku ze specjalną konstrukcją ich sprawność jest relatywnie niska w porównaniu z pompami wirowymi o normalnej budowie. Poniższy artykuł opisuje wpływ częściowego przysłonięcia wirnika na parametry pracy tego typu pomp. Przedstawione wyniki są wynikami badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych

**SŁOWA KLUCZOWE:** *pompy wirowe, pompy zatapialne, pompy o swobodnym przepływie, CFD*

---

### 1. WPROWADZENIE

Transport cieczy zanieczyszczonych jest bardzo ważną częścią wielu gałęzi przemysłu. Zastosowanie pomp o swobodnym przepływie jest uzasadnione w przypadku pompowania cieczy zanieczyszczonych ciałami stałymi bądź materiałami włóknistymi. Główne zastosowania tego typu konstrukcji to:

- Pompy do ścieków, zatykane głównie poprzez tekstylia, plastik oraz folie.
- Pompy do hydrotransportu np. stosowane w górnictwie do transportu urobku.
- Pompy używane w przemyśle spożywczym (np. do transportu ryb).
- Pompy do pulpy papierniczej.

Typowe pompy do ścieków są jednostopniowe z kierunkiem przepływu promieniowym, promieniowo-osiowym bądź osiowym. Promieniowe oraz półosiowe pompy posiadają spirale zbiorcze a w przypadku pomp o przepływie osiowym elementem zbiorczym jest dyfuzor. Poza podstawowymi parametrami i wymiarami charakteryzującymi pompę w jednostkach o swobodnym przepływie, dodatkowo używa się parametru nazywanego przelot. Określa on maksymalny wymiar zanieczyszczenia jakie może swobodnie przepłynąć przez pompę. Z reguły zakłada się uproszczony kształt zanieczyszczenia jako kulę, a jej średnica jest wartością określającą maksymalny przelot. Jednym z typów pomp o przepływie promieniowym są pompy z wirnikami typu „vortex” (rys. 1). Półotwarty wirnik pompy „vortex” z łopatkami zakrzywionymi promieniowo powoduje silne zawirowanie napływającego strumienia cieczy w przestrzeni między wirnikiem i korpusem. Zawirowanie oraz siły odśrodkowe powodują powstawanie gradientu ciśnienia, który umożliwia transport płynu wraz ze znajdującymi się w nim ciałami stałymi do spirali zbiorczej, z której przepływ kierowany jest do dyfuzora wylotowego. Przepływ w pompach o swobodnym przepływie charakteryzuje się dużą ilością struktur wirowych które powodują znaczne obniżenie sprawności (nawet do 30% w porównaniu do typowych pomp wirowych). W celu stabilizacji przepływu, możliwe jest stosowanie częściowo przysłoniętych łopatek wirnika (rys. 2), zmniejszających straty nadwierzchołkowe. Dostępna literatura określa w sposób przybliżony proces projektowania wirników typu vortex [1]. Większość danych projektowych (założenia sprawności, podstawowych wymiarów itd.) jest tworzona na podstawie kompilacji danych katalogowych kilku producentów. Kwestia podejścia konstrukcyjnego do wirników vortex z przysłonami pozostaje nierozwiązana. Uzasadnione jest przeprowadzenie badań wpływu parametrów konstrukcyjnych tego typów wirników na pracę pompy (wyznaczenie sprawności oraz parametrów pracy jednostki).



Rys. 1: Wirnik typu vortex



Rys. 2: Wirnik typu vortex z przysłonami

## 2. KONSTRUKCJA POMPY O SWOBODNYM PRZEPŁYWIE TYPU ”VORTEX”

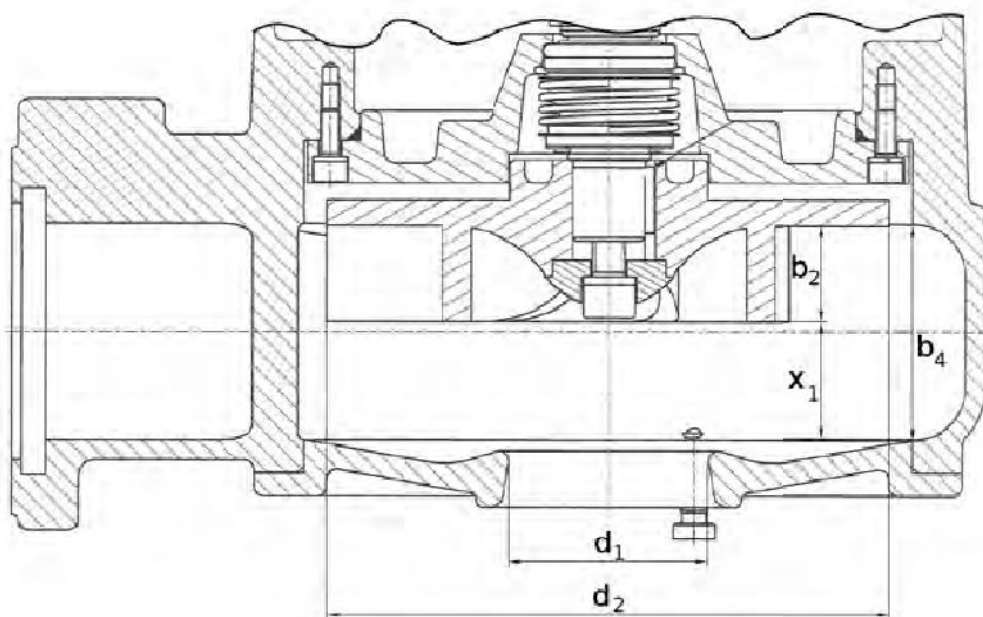
Jednostka pompowa na której przeprowadzono badania jest to zatapialna pompa wirowa o swobodnym przepływie. Elementem zbiorczym jest spirala, która przechodzi w dyfuzor a następnie kołnierz podłączeniowy do rurociągu tłoczego. Komora pompy zamknięta jest przez pokrywę z otworem wlotowym. Zastosowanie zdejmowalnej pokrywy korpusu zdecydowanie ułatwia dostęp do wirnika (rys. 3). Nominalne parametry pracy pompy to przepływ 40 m<sup>3</sup>/hr i wysokość podnoszenia 16 m.



Rys. 3: Pompa z usuniętą przednią pokrywą

Pompę tę wybrano, ponieważ tarcza tylna wirnika odsunięta jest o 2 mm od tylnej ściany komory pompy. Dzięki temu zastosowanie przysłonięcia wirnika nie spowoduje jego blokady, co w przypadku wirników o wymiarze  $x_1 = b_4$  mogło by wystąpić.

Rysunek 4 przedstawia przekrój przez pompę wraz z podstawowymi wymiarami.



Rys. 4: Przekrój pompy NURT65

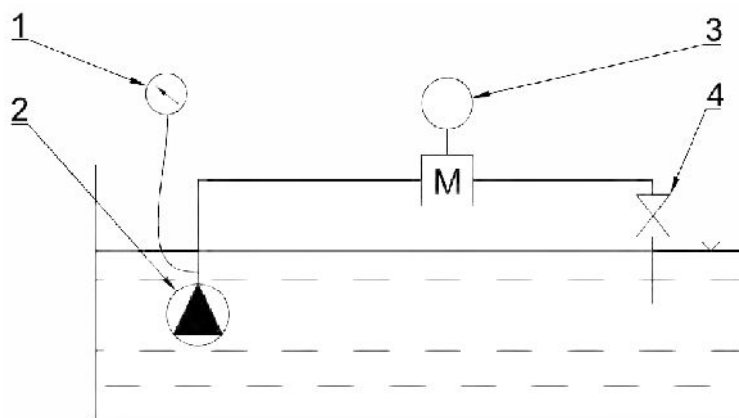
Podstawowe wymiary charakterystyczne opisane zostały w tabeli 1. Kąty  $\beta_1$  oraz  $\beta_2$  określają kąt łopatki odpowiednio dla jej początku i końca. Łopatka posiada pojedynczą krzywiznę a jej profil stworzono metodą dwułukową.

Tabela 1: Podstawowe wymiary wirnika

$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$b_2$ [mm]	$b_4$ [mm]	$x_1$ [mm]	$\beta_1$ [deg]	$\beta_2$ [deg]
65	162	29	65	34	29	32

### 3. POMIARY EKSPERYMENTALNE

W celu weryfikacji symulacji numerycznych badanej pompy zbudowane zostało stanowisko do badań zatapialnych pomp wirowych. Schematyczny model stanowiska przedstawiono na rys. 5.



**Rys. 5:** Uproszczony schemat stanowiska pomiarowego dla pomp o swobodnym przepływie: 1 - manometr, 2 - pompa zatapialna, 3 - przepływomierz elektromagnetyczny, 4 - zawór.

Szyba zabudowana w ścianie zbiornika oraz wykorzystanie przezroczystej pokrywy pompy umożliwia użycie szybkiej kamery do nagrania struktur przepływu wewnątrz korpusu. Stanowisko umożliwia przeprowadzenie pomiaru podstawowych parametrów badanej pompy: przepływu, ciśnienia oraz mocy. Proces pomiaru przeprowadzony był dla całego zakresu pracy zaworu, w obydwie strony.

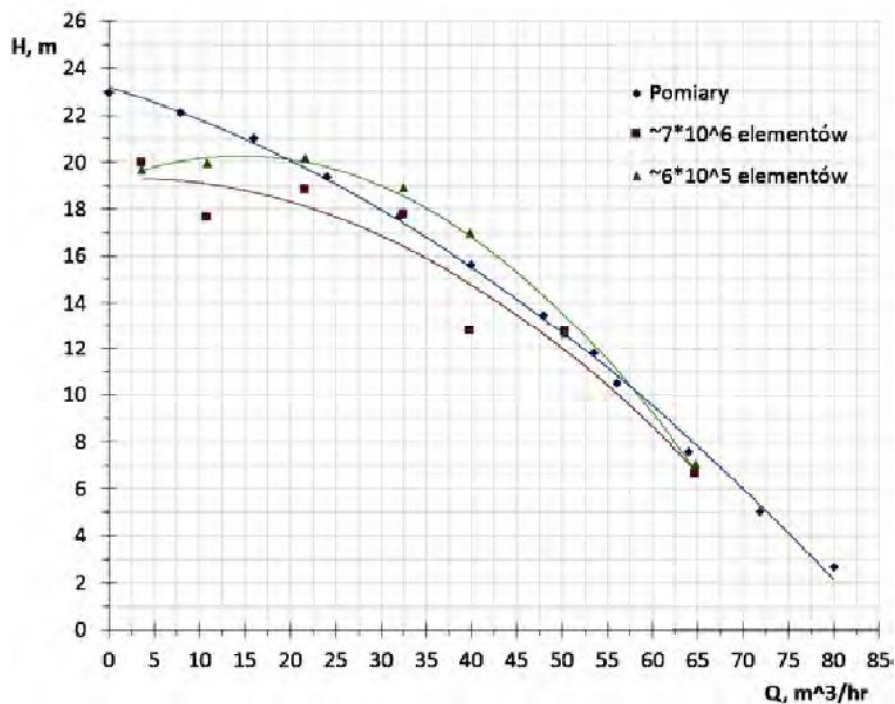


**Rys. 6:** Stanowisko pomiarowe do pomp o swobodnym przepływie

### 4. METODYKA OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

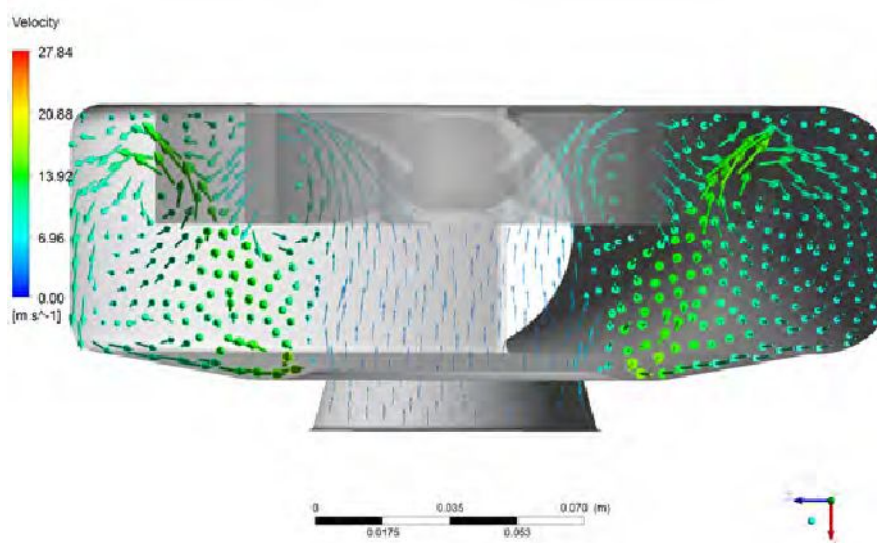
W związku z tym, że pompy o swobodnym przepływie nie są typowymi pompami wirowymi, niezbędne jest przyjęcie kilku założeń odnośnie przeprowadzania symulacji numerycznych. Bazując na analizie pomp o swobodnym przepływie opisaną w [3] założono, że największą dokładność oraz zgodność z rzeczywistością uzyska się dla małej odległości ściany przedniej domeny wirnika (walca) do korpusu (10 mm). Model turbulencji bazując na opracowaniach [3],[4],[5],[6] wybrano jako SST (Shear Stress Transport). Dodatkowo poza ustawieniem lokalizacji interfejsów pomiędzy domeną ruchomą

a stacjonarną bazując na własnych doświadczeniach wybrano model transferu danych pomiędzy interfejsami typu Stage. Interfejs tego typu w odróżnieniu od Frozen Rotor uśrednia wartości przepływów po obwodzie interfejsu, pozwala to na częściowe uchwycenie zjawisk przepływowych które są zależne od położenia wirnika pompy względem spirali. Siatka nałożona na geometrię pompy jest niestrukturalna z warstwą przyścienną. Na rysunku 7 przedstawiono porównanie wyników pomiarów rzeczywistych oraz obliczeń numerycznych dla dwóch różnych ilości elementów siatki.



Rys. 7: Porównanie pomiarów rzeczywistych z wynikami obliczeń numerycznych

Wyniki uzyskane na zbudowanym stanowisku pomiarowym korespondują się z wynikami symulacji numerycznych oraz danymi literaturowymi. Struktury wirowe powstające w wirniku (rys. 8) zbliżone są do tych przedstawionych w [2].



Rys. 8: Struktury przepływu w wirniku odśrodkowym opisywane wektorami prędkości

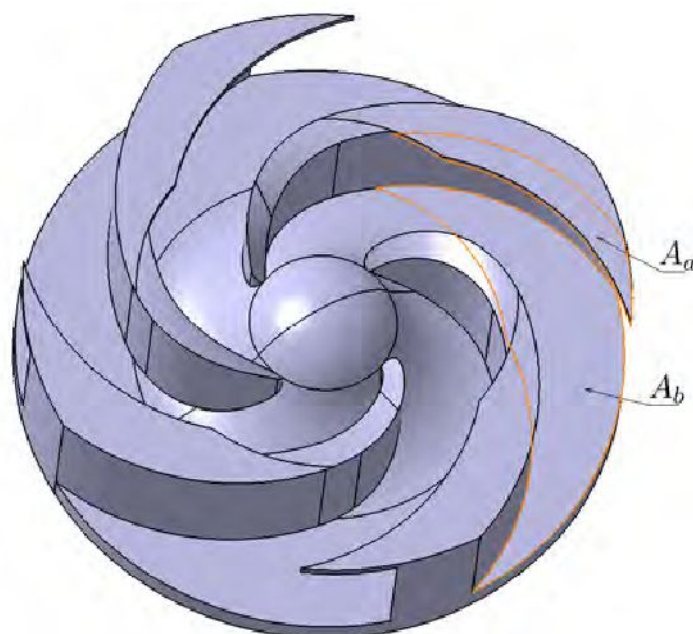
Zauważalny jest również spadek dokładności obliczeń numerycznych poza obszarem przepływu nominalnego. W przypadku pomp wirowych spowodowane jest to tym, że projektowane są one na określone parametry pracy. W przypadku, gdy pompa pracuje poza tymi parametrami przepływ staje się coraz bardziej nieuporządkowany. Wynika to z powstawania dodatkowych struktur wirowych, pojawiania się nowych stref recyrkulacji, dodatkowych prądów powrotnych oraz zwiększania się intensywność zjawiska prerotacji, wpływa to zarówno na zmniejszenie sprawności pracy pompy oraz zwiększenie wartości błędu obliczeń numerycznych.

## 5. WPŁYW PRZESŁONIĘCIA TARCZY PRZEDNIEJ NA PARAMETRY PRACY POMPY

W badanym modelu przesłonięcie wirnika zostało opisane współczynnikiem przysłonięcia który zdefiniowano jako:

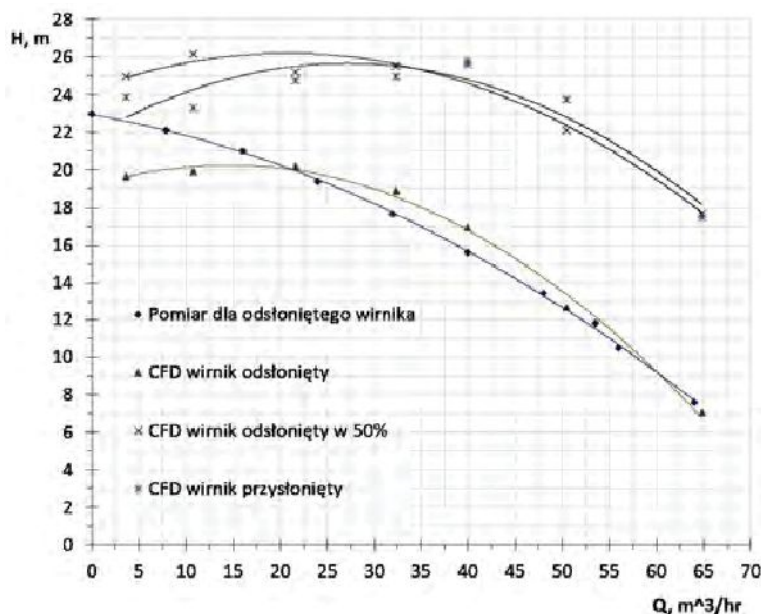
$$\theta = \frac{A_a}{A_b} \quad (1)$$

gdzie:  $A_a$  - pole powierzchni przysłony;  $A_b$  - pole powierzchni pomiędzy łopatkami  
Poszczególne pola powierzchni przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9: Model przysłoniętego wirnika

Obliczenia numeryczne wykonano dla wirników o trzech różnych współczynnikach przysłonięcia: 0,0, 0,5 oraz 1,0. Wraz z przysłonięciem wirnika zdecydowanie wzrastają charakterystyki wysokości podnoszenia (rys. 5). Istotnym wnioskiem z uzyskanych wyników jest to, że wirniki z współczynnikami przysłonięcia 0,5 oraz 1,0 charakteryzują się zbliżonymi parametrami pracy. Jednoznacznie wyklucza to zasadność stosowanie przykrycia wirników od strony tłocznej łopatki. Celem dodatkowych prac może być wyznaczenie minimalnego stopnia przysłonięcia, który spowoduje jak najwyższy wzrost parametrów pracy pompy.



Rys. 10: Wyniki obliczeń numerycznych dla różnych stopni przystłonięcia wirnika

## 6. PODSUMOWANIE

Zmniejszenie transferu wody nad wierzchołkiem łopatek poprzez zastosowanie ich częściowego przystłonięcia zdecydowanie zwiększa parametry pracy pompy ( $H(Q)$ ). Dalsze prace nad optymalizacją kształtu przystłonięcia wirnika powinny skupić się na uzyskaniu jak najwyższego wzrostu parametrów pracy pompy przy zachowaniu maksymalnego przelotu swobodnego. Dodatkowo niezbędne jest przebadanie różnego rodzaju typów przystłonięć wirnika, np. o stałej szerokości przystłonięcia bądź różnych kątów  $\beta$  dla łopatki oraz przystłonięcia.

Obliczenia numeryczne pomp o swobodnym przepływie, pozwalają na zgrubne określenie parametrów pracy takich pomp. W celu uzyskania dokładniejszych wyników obliczeń numerycznych, bazując na opracowaniu [3] należy obliczenia przeprowadzać niestacjonarnie (co najmniej dla 4 obrotów wirnika). Dodatkowo przy istotnych zmianach geometrii wirnika należy przeprowadzić kolejne rzeczywiste pomiary walidujące.

## LITERATURA

- [1] Rüttschi K., *Die Arbeitsweise von Freistrompumpen*, Schweizerische Bauzeitung 1968.
- [2] Gülich J.F., *Centrifugal Pumps, Second edition*, Springer, Rozdział 8, 439-506, 2010.
- [3] German V., Gusak O., Kochevsky A., Krishtop I., Lugova S., *Numerical Approach for Simulation of Fluid Flow in Torque Flow Pumps*, Applied Mechanics and Materials **630**, 43-51, 2014.
- [4] Menter F.R., *Zonal Two Equation  $k-\omega$  Turbulence Models for Aerodynamic Flows*, AIAA Paper **93-2906**, 1993.
- [5] Bardina J.E., Coakley T., Huang P.G., *Turbulence Modeling, Validation, Testing and Development*, NASA Technical Memorandum 110446, 1997.
- [6] Bardina J.E., Coakley T., Huang P.G., *Turbulence Modeling Validation*, AIAA Paper **97-2121**, 1997.