

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Analiza wpływu deformacji powierzchni szczeliny poprzecznej na pracę układu równoważącego siłę osiową pompy wielostopniowej

Yuliia Tarasevych¹, Nataliia Sovenko², Kinga Chronowska-Przywara¹

¹Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S.Staszica w Krakowie

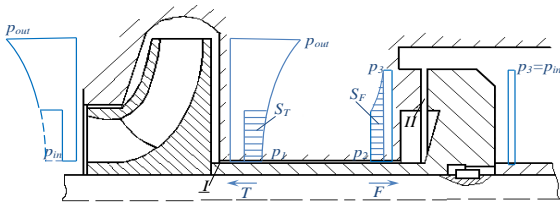
²Katedra Mechaniki Komputerowej im. W. Marcynkowskiego, Sumski Uniwersytet Państwowy
email: jtaras@agh.edu.pl, zueva@ukr.net, chronows@agh.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono wybrane wyniki analizy numerycznej tradycyjnej konstrukcji układu równoważącego siłę osiową w pompie wielostopniowej. Na wartość siły osiowej generowanej w szczelinie poprzecznej takiego układu bezpośredni wpływ ma geometria szczelin: długość oraz wysokość. W procesie pracy pompy wielostopniowej powierzchnie tworzące szczelinę poprzeczną deformują się na skutek dużych wartości ciśnienia oraz temperatury. Zmiana geometrii powoduje zmianę rozkładu ciśnienia a co za tym idzie wartości generowanej siły osiowej. Do wyznaczenia wartości tej siły w niniejszej pracy w programie ANSYS przeprowadzono symulację Fluid-Structural Interaction: na pierwszym etapie wykonano symulację przepływu w układzie szczelina wzdłużna-kamera-szczelina poprzeczna, na drugim etapie uzyskano deformację powierzchni szczeliny poprzecznej i wyznaczono wpływ deformacji na wartość siły oraz inne parametry pracy układu równoważącego.

SŁOWA KLUCZOWE: szczelina wzdłużna, szczelina poprzeczna, siła osiowa, tarcza odciążająca, FSI

1. Wprowadzenie

W wielu konstrukcjach pomp wielostopniowych do równoważenia siły osiowej stosuje się tarczę odciążającą (rys. 1). Tarcza odciążająca, jako element konstrukcyjny pompy pozwala na całkowite równoważenie siły osiowej w zmiennych warunkach pracy ponieważ wykazuje zdolność do samoregulacji [1-3]. W odróżnieniu do innych rozwiązań konstrukcyjnych równoważenia siły osiowej dla stabilnej pracy tarczy odciążającej nie są wymagane dodatkowe zespoły/elementy konstrukcyjne lub cieczy, wykonuje ona również rolę uszczelnienia końcowego na którym dławi się całkowite ciśnienie pompy.



Rys.1. Zespół równoważenia siły osiowej pompy wielostopniowej z tarczą odciążającą

Prawidłowo skonstruowany zespół równoważenia pozwala monitorować zmianę siły osiowej działającej na wirnik pompy dzięki sprzężeniu zwrotnemu między siłą osiową a szerokością szczeliny promieniowej. Mianowicie, wraz ze wzrostem siły osiowej działającej na wirnik, cała ruchoma część przesuwa się w lewo. Prowadzi to do zmniejszenia szerokości szczeliny promieniowej, co z kolei zwiększa opór przepływu cieczy przez tę szczelinę, a tym samym powoduje wzrost ciśnienia w komorze zespołu równoważącego. Ze względu na wzrost ciśnienia w

komorze, wypadkowa siła nacisku, która równoważy siłę osiową, wzrasta.

Układ równoważenia z tarczą odciążającą jest najbardziej obciążoną jednostką, a jej charakterystyki hydrodynamiczne w głównej mierze determinują sprawność całej pompy. W związku z tym podstawowa niezawodność i wydajność pompy są w dużej mierze określane przez charakterystyki zespołu równoważącego siłę osiową.

Projektowanie układu równoważącego siłę osiową pompy polega na rozwiązaniu kilku problemów. Po pierwsze wyznaczaniu wartości siły osiowej oraz przedziału możliwych zmian jej wartości. Większość metod analitycznych opiera się na założeniu, że w kamerach między tarczami wirnika płyn obraca się jako ciało stałe z prędkością kątową równą połowie prędkości kątowej wirnika [1, 2]. Zastosowanie metod numerycznych pozwala na uzyskanie dokładniejszych wartości tej siły, ale nie zawsze pozwala na wyznaczenie przedziału jej możliwych zmian. Kolejnym problemem jest wyznaczanie hydrodynamicznych charakterystyk bezpośrednio układu równoważącego. Charakterystyki te zależą jak od przyjętych wartości geometrycznych samego układu tak i od wartości siły osiowej, uzyskanej na poprzednim etapie projektowania. Należy zaznaczyć, że wartości wysokości wzdłużnej oraz poprzecznej szczelin mogą się zmieniać podczas pracy pompy na skutek odkształceń siłowych oraz temperaturowych lub zużycia powierzchni. W niniejszej pracy przedstawione jest numeryczne rozwiązanie drugiego problemu metodą Fluid-Structural Interaction (one way FSI).

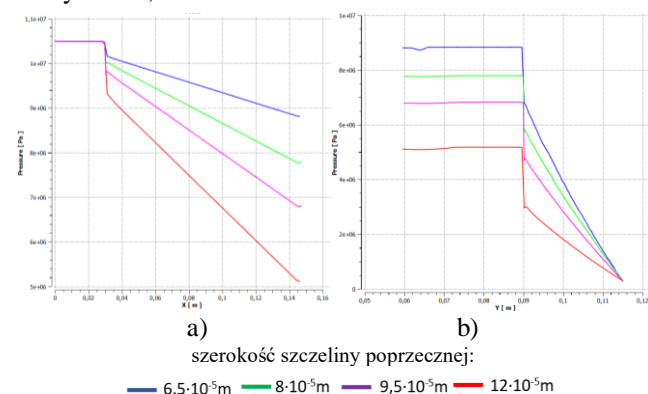
2. Metodologia i obiekt badań

Do wyznaczania siły osiowej, która jest generowana w szczelinie poprzecznej i równoważy siłę osiową pompy

niezbędne jest uzyskanie rozkładu ciśnienia w tej szczelinie. Rozkład ten zależy jak od charakterystyk przepływowych pompy (jej geometrii oraz parametrów pracy) tak i od wysokości i długości szczeliny wzdłużnej. Zakładając, że wartość ciśnienia na wylocie z ostatniego stopnia pompy jest wartością ciśnienia na wlocie do szczeliny wzdłużnej układu równoważającego otrzymujemy pierwszy warunek brzegowy. W większości konstrukcji pomp wielostopniowych wylot szczeliny poprzecznej jest połączony rurką z wlotem pompy, wartość ciśnienia na wlocie jest znana. Głównym problemem podczas symulacji przepływu cieczy w takim układzie jest wygenerowanie siatki, pozwalającej na otrzymanie wiarygodnych wyników. W układach równoważających występuje duża różnica w wymiarach geometrycznych: długość szczeliny wzdłużnej wynosi $0,09 \pm 0,15$ m, wysokość: $2 \pm 4 \cdot 10^{-4}$ m; długość szczeliny poprzecznej: $0,02-0,04$ m, szerokość: $6,5 \pm 11 \cdot 10^{-5}$ m, co ma bezpośredni wpływ na jakość (wymiar) oraz ilość elementów objętościowych. W pierwszym podejściu wykonano symulację dla 2D przepływu z zagęszczeniem siatki na wlocie i wylocie szczelin oraz w warstwie przyściennej. Dla 2D problemu uzyskano wartość $y_+ < 1$ po długości szczelin. Do obliczeń zastosowano model $k-\omega$ SST. Otrzymane wyniki porównano z analitycznymi modelami przedstawionymi w [4-5]. Ze względu na to, że FSI analiza nie jest możliwa do wykonania na 2D siatkach, w niniejszej pracy rozpatrzono wycinek $0,05^\circ$ układu przy założeniu osiowosymetrycznego przepływu. Jak dla modelu 2D tak i dla modelu 3D w celu uzyskania odpowiednich charakterystyk przepływu na wlocie do szczeliny wzdłużnej wlot w symulacji znajdował się na odległości 30 mm od wlotu rzeczywistego (przy założeniu długości szczeliny wzdłużnej 115 mm). Jednym z kryteriów sprawdzenia jakości siatki było uzyskanie niezależności natężenia przepływu oraz wartości hydrostatycznej składowej siły od ilości elementów siatki.

3. Analiza numeryczna. Wyniki

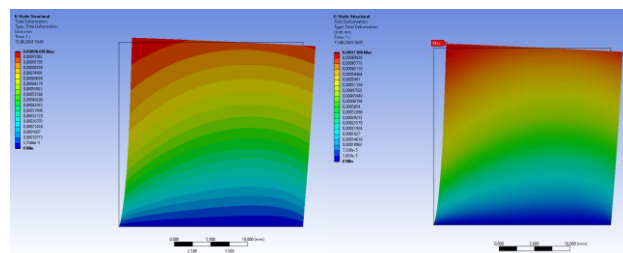
Analityczne obliczenia siły osiowej oraz symulacje w programie ANSYS wykonano dla siedmiostopniowej pompy wirowej 180-1050. Przykładowe wyniki analizy przepływu w postaci rozkładów ciśnienia w szczelinie wzdłużnej oraz poprzecznej przedstawiono na rys. 2. Symulacja została wykonana dla stałej wartości prędkości przepływu na wlocie $3,2$ m/s oraz stałej wartości ciśnienia na wylocie $0,3 \cdot 10^6$ Pa.



Rys 2. Rozkład ciśnienia po długości szczeliny wzdłużnej (a) oraz poprzecznej (b) układu

W szczelinie poprzecznej bez odkształceń powierzchnie są

równoległe i rozkład ciśnienia zmienia się liniowo. Na rys. 3 pokazano wartości odkształceń dla wartości ciśnienia podanych na rys. 2.



szerokość szczeliny poprzecznej: $6,5 \cdot 10^{-5}$ m (a), $9,5 \cdot 10^{-5}$ m (b)

Rys. 2. Deformacje szczeliny poprzecznej

Kąt zmiany położenia powierzchni szczeliny poprzecznej można określić na podstawie wyznaczonych maksymalnych odkształceń od położenia równoległego:

$$\beta = \Delta u / b \quad (1)$$

gdzie $\Delta u = u_{\max} - u_{\min}$ - odkształcenia osiowe dla stałych wartości ciśnienia na wlocie i wylocie układu równoważającego, b – długość szczeliny poprzecznej.

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza zagadnienia hydrosprężystego układu równoważającego siłę osiową w pompie wielostopniowej pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) zmiana ciśnienia po długości szczeliny poprzecznej powoduje zmianę kształtu szczeliny poprzecznej z równoległej na dyfuzor, co w wyniku doprowadza do zmniejszenia siły osiowej w szczelinie oraz zwiększenia przepływu (strat pompowanej cieczy) jak również zwiększenia ryzyka kontaktu oraz zatarcia;
- 2) uzyskane rozkłady odkształceń powierzchni szczeliny poprzecznej pozwoliły na wyznaczanie zależności kątu pochylenia powierzchni β od szerokości szczeliny poprzecznej;
- 3) przeprowadzenie analizy FSI pozwoliło na wyznaczanie wpływu odkształceń powierzchni szczeliny poprzecznej na hydrodynamiczne charakterystyki układu: natężenie przepływu oraz siłę osiową.

Opracowany model w kompleksowy sposób odwzorowuje charakterystyki układu równoważającego siłę osiową pompy wielostopniowej z tarcia odciażającą. Uwzględnia on zarówno zmiany ciśnienia w całym układzie oraz odkształceń po długości szczeliny poprzecznej.

Praca została zrealizowana dzięki subwencji Ministerstwa Edukacji i Nauki dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (projekt nr 16.16.130.942)

Literatura

- [1] Gülich J.F., Centrifugal Pumps, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014.
- [2] Jedral W., Rotodynamic Pumps, PWN, Warsaw 2001.
- [3] V.A. Martcinkovsky, P.N. Vorona. Pumps of nuclear energy stations – Moscow: Energoatomizdat, 1987.
- [4] Korczak A. Badania układów równoważających napór osiowy w wielostopniowych pompach odśrodkowych, wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [5] Tarasevych Y., Sovenko N., Savchenko I. Pressure Distribution in the Face Throttle of the Centrifugal Pump's Automatic Balancing Device, Lecture Notes in Mechanical Engineering Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI, p. 106-114, 2023