



Silesian  
University  
of Technology

PH.D. THESIS

---

# Numerical and experimental research on the influence of air on the cavitation dynamics

Author:

Emad Hasani Malekshah

Supervisor:

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Wróblewski

Scientific discipline: Environmental Engineering, Mining and Power Engineering

Gliwice, Poland, 2024

# Streszczenie

Przepływ kawitacyjny jest złożonym zjawiskiem hydrodynamicznym, które występuje, gdy lokalne ciśnienie statyczne w przepływie cieczy spada poniżej ciśnienia nasycenia, powodując szybkie powstawanie i rozpad pęcherzy parowych. Ten proces generuje intensywne fale uderzeniowe, powodując znaczące naprężenia na sąsiednich powierzchniach. W maszynach przepływowych, takich jak pompy, śruby napędowe i turbiny, kawitacja może prowadzić do erozji, drgań, generacji hałasu i obniżenia sprawności. Dlatego zrozumienie procesu kawitacji i łagodzenie jej efektów są kluczowe dla utrzymania niezawodności i sprawności maszyn przepływowych.

Głównym celem niniejszej pracy doktorskiej jest kompleksowe rozpoznanie wpływu rozpuszczonego powietrza na przepływ kawitacyjny, co często jest pomijane. Mając na uwadze kompleksowość badań ocenę i wyjaśnienie wpływu rozpuszczonego powietrza przeprowadzono przy zastosowaniu zarówno symulacji numerycznych, jak i eksperymentalnych. Opracowano metodologię uwzględniającą obecność rozpuszczonego powietrza zarówno w symulacjach numerycznych, jak i w czasie badań eksperymentalnych, co pozwoliło na zrozumienie jego wpływu na dynamikę kawitacji.

Zakres badań składał się z dwóch odrębnych, lecz powiązanych części. W pierwszej, stosując techniki modelowania numerycznego CFD, badano złożoną dynamikę przepływu kawitacyjnego w obecności powietrza. W modelach numerycznych wykorzystano metodę objętości skończonych Objętości (FVM) do dyskretyzacji niestacjonarnych trójwymiarowych równań Naviera-Stokesa. Na podkreślenie zasługuje zastosowanie modyfikacji w modelach turbulencji, modeli kawitacji oraz uwzględnienie rozpuszczonego powietrza w modelu mieszaniny w celu uwzględnienia obecności rozpuszczonego powietrza. Badano różne modele i podejścia w modelowaniu przepływu kawitacyjnego, dążąc do możliwie dokładnej symulacji dynamiki przepływu w obecności rozpuszczonego powietrza. W drugiej części przeprowadzono badania eksperymentalne w celu walidacji i uwiarygodnienia wniosków uzyskanych z symulacji numerycznych. Testy eksperymentalne były przeprowadzane na stanowisku laboratoryjnym zaprojektowanym do pomiaru i obserwacji przepływów kawitacyjnych w wodzie o kontrolowanych poziomach rozpuszczonego powietrza. Komora testowa, konstrukcja profilu i dyszy oraz systemy pomiarowe oraz regulacyjne były przystosowane do przeprowadzenia szczegółowych obserwacji i zbierania danych.

Zebrałe dane z eksperymentów i symulacji numerycznych wskazały na zależność między poziomami rozpuszczonego powietrza a dynamiką przepływu kawitacyjnego. Zmiany poziomów tlenu w wodzie wyraźnie wpłynęły na częstotliwości kawitacji i struktury chmur kawitacyjnych, znacząco wzmacniając częstotliwości powstawania kawern wraz z wzrastającymi liczbami kawitacji. Zarówno badania eksperymentalne, jak i symulacje numeryczne podkreśliły kluczową rolę rozpuszczonego powietrza, wykazując znaczne zmniejszenia amplitud pulsacji ciśnienia przy wyższych liczbach kawitacyjnych, co wskazuje na stabilizujący wpływ na dynamikę przepływu. Zwiększona zawartość rozpuszczonego powietrza nie tylko powiększa objętość kawerny, prowadząc do większych rozmiarów chmur kawitacyjnych i stabilizacji przepływu kawitacyjnego, ale również wprowadza niestabilności o mniejszej skali w objętości kawern. Wprowadzenie rozpuszczonego powietrza powoduje wzrost współczynników zarówno siły nośnej i siły oporu. Wyraźnie zmienia się zachowanie strumienia wstecznego przy profilu, co wpływa na rozkład współczynnika ciśnienia w zakresie kawitacji warstwowej i chmurowej. Dodatkowo badano przepływ z wentylacją wymuszoną w którym strumień powietrza był wprowadzany do przepływu i wykazano, że w wpływ dodatkowego powietrza na częstotliwości odrywania i częstotliwości

drgań w komorze testowej był istotny. Wskazano skuteczność strumienia powietrza w zmianie cech kawitacji, w zależności od lokalizacji strumienia i parametrów przepływu. Otrzymane wyniki wskazują na złożony związek między obecnością powietrza a parametrami przepływowymi i stanowią krok na drodze do wyjaśnienia szczegółów zjawiska kawitacji i możliwości jego kontroli.