



Doctoral Thesis

## Control of circular cylinder wakes using base mass actuation

**Author(s):**

Delaunay, Yannick

**Publication Date:**

2000

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004141776> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No 13804

Control of Circular Cylinder Wakes  
using Base Mass Actuation

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
Yannick Delaunay  
Mechanical Engineer

born 23.06.72  
citizen of France

Accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. L. Guzzella, examiner  
Prof. Dr. P. Koumoutsakos, co-examiner  
Dr. L. Kaiktsis, co-examiner

2000

## Abstract

The dynamical behaviour and stability properties of the circular cylinder wake subject to passive control is investigated using Direct Numerical Simulation (DNS) and stability analysis. The control action consists of either suction or blowing at a steady flow rate from a control arc symmetrically placed at the cylinder base. The study is limited to two-dimensional flows, at low Reynolds numbers ( $Re \leq 90$ ), where the non-manipulated flow is either steady or characterized by vortex shedding.

DNS results show that, in the supercritical Reynolds number regime ( $Re > 47$ ), slight blowing or high enough suction stabilizes the wake; in the subcritical regime, suction can destabilize the wake for  $Re > 17$ , and result in vortex shedding, whereas blowing does not affect the flow stability in this regime.

At supercritical Reynolds numbers, suction can strongly modify the dynamics of vortex shedding, in comparison to the uncontrolled flow. With increasing suction, the flow frequency can drastically decrease, while the fluctuation amplitudes increase. At a critical suction flow rate, the flow undergoes a first bifurcation: it becomes steady and asymmetric simultaneously. At a higher critical suction flow rate, the flow undergoes a second bifurcation and becomes steady symmetric.

With increasing suction flow rate, the flow state is naturally affected away from the cylinder base. However, the computational domains used have finite size, and the assumption of free stream velocity is made at the inflow and lateral boundaries. The study of the effects of computational domain size on the simulation results suggests that the transition from a steady asymmetric flow to a steady symmetric flow at very high suction flow rates, found with the use of computational domains of finite size, may not exist in an infinite flow domain. This transition occurs at increasing suction flow rate with increasing domain size.

Global linear stability analysis calculations confirm the main results of the numerical simulations. They show furthermore that, at supercritical Reynolds numbers, small suction has an even further destabilizing effect, as it increases the global growth rate of small perturbations superimposed on the steady symmetric base flow solutions. High enough suction is necessary to inverse the global growth rate trend and lead to negative values, as also deduced from DNS. Stability analysis strongly supports the hypothesis that the transition from steady asymmetric to steady symmetric flow would not exist in an infinite flow domain.

## Übersicht

Das dynamische Verhalten und die Stabilitätseigenschaften der gesteuerten Nachlaufströmung hinter einem kreisförmigen Zylinder werden mittels direkter numerischer Simulationen (DNS) und Stabilitätsanalyse untersucht. Zur Steuerung wird Fluid durch einen symmetrisch auf der Zylinderbasis angeordneten Bogen stationär entweder abgesaugt oder eingeblasen. Die Studie beschränkt sich auf zwei-dimensionale Strömungen bei tiefen Reynoldszahlen ( $Re \leq 90$ ), im stationären Zustand oder mit Wirbelablösung.

Die DNS-Ergebnisse zeigen, dass bei überkritischen Reynoldszahlen ( $Re > 47$ ) sowohl leichtes Blasen als auch genügend starkes Absaugen die Nachlaufströmung stabilisieren kann. Im subkritischen Regime, und für  $Re > 17$ , kann nur Absaugen die Strömung destabilisieren, wobei sich eine Wirbelablösung ergibt; Blasen hat keine Auswirkung auf die Stabilität der Strömung in diesem Regime.

Im Vergleich zum ungesteuerten System kann bei überkritischen Reynoldszahlen die Dynamik der von Kármán-Wirbelstrasse durch Absaugen stark modifiziert werden. Mit zunehmendem Absaugen kann die Frequenz der Strömungsschwingungen stark reduziert und dabei deren Amplitude erhöht werden. Bei einem kritischen Absaugdurchfluss tritt eine erste Bifurcation auf: die Strömung wird gleichzeitig stationär und asymmetrisch. Bei einem höheren kritischen Absaugdurchfluss wird eine zweite Bifurcation beobachtet, wobei die Strömung stationär und symmetrisch wird.

Mit zunehmendem Absaugdurchfluss wird die Strömung in immer grösserer Distanz vom Zylinder beeinflusst. Zur Simulation jeder Strömung wurde jedoch stets ein begrenzter Bereich betrachtet, unter Annahme freier Strömungsgeschwindigkeit an den seitlich und strom-aufwärts vom Zylinder platzierten Bereichsgrenzen. Aus einer Studie der Auswirkungen der Netzgrösse auf die Simulationsergebnisse ergibt sich, dass der Übergang von stationär-asymmetrischen zu stationär-symmetrischen Strömungen - üblicherweise im begrenzten Netz ermittelt - in einem unendlichen Strömungsfeld wahrscheinlich nicht stattfinden würde. Mit zunehmender Bereichsgrösse tritt dieser Übergang bei steigendem Absaugdurchfluss auf.

Die Stabilitätsanalysen bestätigen die Ergebnisse der direkten numerischen Simulation. Sie zeigen ausserdem, dass bei überkritischen Reynoldszahlen leichtes Absaugen eine vermehrt destabilisierende Wirkung hat, da die Wachstumsrate kleiner Störungen dadurch erhöht wird. Wie schon anhand der direkten Simulationen beobachtet, ist genügend starkes

Absaugen notwendig, um diese Tendenz umzukehren und die Wachstumsrate auf Werte unter Null zu reduzieren. Die Resultate der Stabilitätsanalyse stützen die Hypothese, dass der Übergang vom stationär-asymmetrischen zum stationär-symmetrischen Strömungszustand in einem unendlichen Strömungsfeld nicht existieren würde.