



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

PAWEŁ FLASZYŃSKI

STRUMIENIOWY GENERATOR  
WIRÓW WZDŁUŻNYCH  
– MECHANIZM DZIAŁANIA  
I ZASTOSOWANIE  
DO STEROWANIA PRZEPIŁYWEM

GDAŃSK 2013

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Janusz T. Cieśliński*

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

*Michał Szydłowski*

REDAKTOR SERII

*Marek Szkodo*

RECENZENCI

*Witold Elsner*

*Włodzimierz Wróblewski*

PROJEKT OKŁADKI

*Jolanta Cieślawska*

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna na stronie  
[www.pg.gda.pl/wydawnictwo/oferta](http://www.pg.gda.pl/wydawnictwo/oferta)

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2013

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

ISBN 978-83-7348-491-7

# SPIS TREŚCI

|   |     |
|---|-----|
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SYMBOLI .....   | 5   |
| 1. WSTĘP .....  | 7   |
| 2. STRUMIENIOWE GENERATORY WIRÓW – AKTUALNY STAN BADAŃ .....  | 12  |
| 2.1. Generatory wirów typu stałego .....  | 12  |
| 2.2. Strumieniowe generatory wirów .....  | 16  |
| 2.3. Podsumowanie aktualnego stanu badań oraz cel pracy .....   | 26  |
| 3. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PRZYPADKÓW I METOD ANALITYCZNYCH ...                                     | 28  |
| 4. ANALIZA FORMOWANIA SIĘ WIRÓW WZDŁUŻNYCH .....  | 37  |
| 4.1. Definicja wiru .....   | 37  |
| 4.2. Symetryczna para wirów wzdluznych .....  | 39  |
| 4.3. Pojedynczy wir wzdluzny .....  | 43  |
| 4.3.1. Detekcja wiru i jego ewolucja .....  | 43  |
| 4.3.2. Naprężenia na ścianie w obszarze wiru .....  | 67  |
| 4.3.3. Generator wiru w przepływie naddźwiękowym – fala kompresji i ekspansji .....                   | 70  |
| 5. WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW GENERATORA NA INTENSYWNOŚĆ WIRU .                                       | 73  |
| 5.1. Wpływ kąta wypływu strugi .....  | 73  |
| 5.2. Wpływ średnicy otworu (generatora) .....   | 78  |
| 5.2.1. Przepływ poddźwiękowy .....  | 78  |
| 5.2.2. Przepływ naddźwiękowy .....  | 83  |
| 5.3. Wpływ prędkości strumienia w otworze .....   | 90  |
| 6. KONTROLOWANIE ODERWANIA WYWOŁANEGO FALĄ UDERZENIOWĄ .....  | 95  |
| 6.1. Przepływ w dyszy z płaską ścianą .....   | 96  |
| 6.1.1. Geometria dyszy i charakterystyka modelu obliczeniowego .....                                  | 96  |
| 6.1.2. Oddziaływanie fali uderzeniowej z warstwą przyścienną bez zastosowania generatora wirów .....  | 99  |
| 6.1.3. Oddziaływanie fali uderzeniowej z warstwą przyścienną przy zastosowaniu generatora wirów ..... | 104 |
| 6.2. Przepływ w kanale z zakrzywioną ścianą .....   | 111 |
| 6.2.1. Geometria kanału i charakterystyka modelu obliczeniowego .....                                 | 111 |
| 6.2.2. Oddziaływanie fali uderzeniowej z warstwą przyścienną bez zastosowania generatora wirów .....  | 113 |
| 6.2.3. Oddziaływanie fali uderzeniowej z warstwą przyścienną przy zastosowaniu generatora wirów ..... | 117 |
| 6.3. Generator wirów wzdluznych na łopatkę turbiny .....  | 121 |
| 6.3.1. Analiza przepływu na stanowisku do badań podstawowych .....                                    | 121 |
| 6.3.2. Zastosowanie generatora wirów na łopatkę turbiny gazowej .....                                 | 131 |
| 7. ODDZIAŁYWANIE WIRU WZDŁUŻNEGO NA WIR PODKOWIASTY .....   | 141 |
| 8. PODSUMOWANIE .....   | 152 |
| 8.1. Struktura przepływu w obszarze generowanego wiru .....   | 152 |
| 8.2. Wpływ parametrów generatora wiru .....   | 153 |
| 8.3. Zastosowanie wirów wzdluznych do oddziaływania na strukturę przepływu .....                      | 154 |
| 8.4. Perspektywa kontynuacji badań .....  | 155 |
| 8.5. Podziękowania .....  | 156 |

|  |     |
|--|-----|
| BIBLIOGRAFIA .....                     | 157 |
| Streszczenie w języku polskim .....    | 163 |
| Streszczenie w języku angielskim ..... | 164 |