



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

ROBERT PIOTROWSKI

ZAAWANSOWANE  
ALGORYTMY STEROWANIA  
I OPTYMALIZACJI  
W BIOLOGICZNEJ  
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW  
TYPU WSADOWEGO

*Dla moich kochanych dzieci, Adama i Mai*

GDAŃSK 2018

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Janusz T. Cieśliński*

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

*Michał Szydłowski*

REDAKTOR SERII

*Zbigniew Krzemiński*

RECENZENCI

*Zbigniew Lubośny*

*Mieczysław Metzger*

REDAKCJA JĘZYKOWA

*Agnieszka Frankiewicz*

PROJEKT OKŁADKI

*Jolanta Cieślawska*

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem

[www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog](http://www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog)

zamówienia prosimy kierować na adres [wydaw@pg.edu.pl](mailto:wydaw@pg.edu.pl)

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

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej,  
Gdańsk 2018

ISBN 978-83-7348-728-4

# SPIS TREŚCI

WYKAZ OZNACZEŃ I SKRÓTÓW .....	5
1. WSTĘP .....	9
1.1. Wprowadzenie .....	9
1.2. Przegląd stanu wiedzy .....	12
1.3. Struktura monografii .....	15
2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU STEROWANIA .....	17
2.1. Informacje ogólne .....	17
2.1.1. Rodzaje oczyszczalni ścieków .....	17
2.1.2. Podstawowe procesy w oczyszczalni ścieków .....	19
2.1.3. Napowietrzanie ścieków .....	21
2.2. Oczyszczalnia ścieków w Swarzewie .....	22
2.3. Instalacja napowietrzająca w Swarzewie .....	27
2.4. Sterowanie w oczyszczalni ścieków w Swarzewie – stan aktualny .....	30
3. MODELOWANIE MATEMATYCZNE SYSTEMU STEROWANIA .....	32
3.1. Reaktor SBR .....	32
3.2. Instalacja napowietrzająca .....	36
3.2.1. Model ogólny .....	36
3.2.2. Model szczegółowy – wariant A .....	41
3.2.3. Model szczegółowy – wariant B .....	46
4. ALGORYTM STEROWANIA STĘŻENIEM TLENU .....	52
4.1. Projektowanie systemu sterowania .....	52
4.2. Badania symulacyjne i analiza wyników .....	60
5. ALGORYTMY STEROWANIA STĘŻENIEM TLENU I WYZNACZANIA TRAJEKTORII ZADANEJ STĘŻENIA TLENU .....	67
5.1. Adaptacyjny układ sterowania z nadrzędnym regulatorem regulowym .....	67
5.1.1. Projektowanie systemu sterowania .....	67
5.1.2. Badania symulacyjne i analiza wyników .....	74
5.2. Adaptacyjny układ sterowania z nadrzędnym regulatorem heurystycznym .....	90
5.2.1. Projektowanie systemu sterowania .....	90
5.2.2. Badania symulacyjne i analiza wyników .....	101
6. OPTIMALIZACJA PRACY REAKTORA SBR .....	108
6.1. Sformułowanie zadania optymalizacji .....	108
6.1.1. Zmienne decyzyjne .....	108
6.1.2. Ograniczenia .....	109
6.1.3. Funkcja kryterialna .....	109
6.2. Niedeterministyczne metody optymalizacji .....	110
6.2.1. Algorytmy ewolucyjne .....	110
6.2.2. Algorytm symulowanego wyzarcia .....	114
6.3. Deterministyczne metody optymalizacji .....	116
6.3.1. Metoda gradientowa .....	117
6.3.2. Metoda Direct .....	117
6.3.3. Metoda podziału i ograniczeń .....	117

---

6.4. Wyniki optymalizacji .....	117
6.4.1. Przegląd zupełny .....	118
6.4.2. Algorytmy ewolucyjne .....	119
6.4.3. Algorytm symulowanego wyżarzania .....	123
6.4.4. Metoda gradientowa .....	125
6.4.5. Metoda Direct .....	126
6.4.6. Metoda podziału i ograniczeń .....	128
6.4.7. Analiza porównawcza .....	130
6.5. Optymalizacja pracy oczyszczalni ścieków w Swarzewie .....	131
7. IMPLEMENTACJA SPRZĘTOWO-PROGRAMOWA .....	138
7.1. Ogólna struktura .....	138
7.2. Charakterystyka warstw systemu sterowania .....	140
7.3. Warstwowy system sterowania w oczyszczalni ścieków .....	142
7.4. Analiza stanu obecnego .....	143
7.5. Propozycja modernizacji .....	145
ZAKOŃCZENIE .....	148
BIBLIOGRAFIA .....	150
Streszczenie w języku polskim .....	160
Streszczenie w języku angielskim .....	160